XXIV
COPINAVAL
CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERÍA NAVAL,
TRANSPORTE MARÍTIMO E INGENIERÍA PORTUARIA.

MARINEXPO
EXPOSICIÓN COMERCIAL Y RONDA DE NEGOCIOS.

Libro de Conferencias Magistrales y Trabajos Libres

INSTITUTO PANAMERICANO DE INGENIERIA NAVAL
IPIN
1966

Copyright ©Copinaval 2015 - Todos los derechos reservados

XXIV COPINAVAL es un Congreso organizado por el Instituto Panamericano de Ingeniería Naval (IPIN).

Editores: José Ángel Fraguela Formoso; Luis Carral Couce; Jorge Freiria

ISBN: 978-9974-91-047-8
Depósito Legal: 358853

Todos los derechos reservados, incluido el de traducción. A excepción de la copia autorizada, ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en sistema de recuperación o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia u otro, sin el permiso previo por escrito de la editorial IPIN.
Este libro se publica entendiendo que los autores son los únicos responsables de las declaraciones y opiniones expresado en el mismo y que su publicación no implica necesariamente que tales declaraciones y/u opiniones son o reflejan las opiniones o dictámenes de los organizadores o los editores.

All rights, including translation reserved. Except for fair copying, no part of this publication may be reproduced, stored in retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying or otherwise, without the prior written permission of the publisher IPIN.
This book is published on the understanding that the authors are solely responsible for the statements made and opinions expressed in it and that its publication does not necessarily imply that such statements and/or opinions are or reflect the views or opinions of the organisers or publishers.

AUTORIDADES DEL IPIN

Ing. Julio Cóppola
Presidente

Ing. Adan Vega
Vicepresidente 1ro.

CA Ing. Jorge Carreño
Vicepresidente 2do.

COMITÉ ORGANIZADOR

Dr. Ing. Jorge Freiria
Presidente

Ing. Germán Aguirrezabala
Secretario

Cap. Sergio Chertkoff
Tesorero

Sr. Enrique de Souza
Vocal

Cn. Carlos González
Vocal

Cn. Ruisdael Ramallo
Vocal

TN. Fernando Saret
Vocal

Ing. Néstor Pérez
Vocal

Dr. Ing. Fernando Puntigliano
Vocal

Sr. Yuri Gramajo
Coordinador ejecutivo

COMITÉ CIENTÍFICO

Ing. Mario Tedesco
Responsable Académico

Eng. John Robinson
Responsable Académico

Dr. Ing. José Ángel Fraguela
Editor

Dr. Ing. Luis Carral
Editor

Dr. Ing. Jorge Freiria
Editor

SECRETARÍA

CONGRESOS ELIS es una empresa dedicada al gerenciamiento de reuniones en nuestro país y el exterior. Asesoramos, planificamos y gestionamos de forma profesional su próximo evento.

"Congresos a su medida" es más que nuestro lema, es nuestra forma particular de gestionar y desarrollar su proyecto, cuidando cada detalle para lograr de cada evento un éxito único e irrepetible.

Más de 20 años organizando eventos, más de 200 congresos realizados, más de 130 clientes nacionales e internacionales, avalan nuestra trayectoria.

AUSPICIAN

PRESIDENCIA
REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

MTOP
MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS

MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES
REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

UruguayNatural
Ministerio de Turismo y Deporte

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL
REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

Armada
Nuestro futuro está en el mar

FACULTAD DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

Intendencia deMontevideo

CLUB NAVAL
Montevideo
R. O. del Uruguay

PATROCINAN


ANP
ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE PUERTOS
República Oriental del Uruguay


UMS
URUGUAYAN MARINE SAFETY
we serve to save lives


MIEM
MINISTERIO DE INDUSTRIA,
ENERGÍA Y MINERÍA


COTECMAR
15 AÑOS
INNOVANDO
POR COLOMBIA


BUREAU VERITAS
1828
BUREAU
VERITAS


Gas Sayago S.A.
UTE
ANCAP


TSAKOS


ANII


Liga Marítima Uruguaya


T&T SALVAGE, LLC
www.ttsalvage.com


GRUPO ALAS


Roxtec


Armada
Nuestro futuro está en el mar


GHENOVA


epe
Engineered to Respond


PNV
USP
Universidade de São Paulo


coloniaexpress
coloniaexpress.com
ENCONTRANOS EN: /COLONIAEXPRESS

MENSAJE DE BIENVENIDA

Estimados amigos:

Quizás, mientras leen estas líneas, se encuentran a bordo. O, por diversas circunstancias, hoy, vuestras oficinas, talleres o aulas no tienen vista al mar. Sea cual sea el lugar desde donde desarrollan su labor, hay por lo menos un buque, una actividad marítima, académica o naval que no sería lo que es, para bien, sin Ustedes.

Por esa misma razón, y para que cientos de personas clave conozcan ese esfuerzo, le dedicarán un tiempo (entre planos, órdenes de compra, exámenes, muelles y maniobras) a decidir de qué manera participar en este XXIV Congreso Panamericano de Ingeniería Naval que se realizará en Montevideo, Uruguay, entre el 18 y 22 de octubre de 2015.

Y son múltiples las formas de hacerlo; tan variadas e interesantes como las personas con las cuales conversarán durante las sabrosas "pausas para el café" del Hotel Radisson.

Los estudiantes podrán alternar entre los máximos exponentes de la teoría y de la práctica. A su vez, los candidatos a un título de post-grado podrán presentar sus trabajos en el marco de un Congreso que se realiza en forma periódica, por una institución reconocida a nivel internacional y con el correspondiente ISBN para la publicación final. En ese sentido, la revisión por pares contará con la colaboración de profesionales de primer nivel.

Sólo para quienes ofrecen los mejores equipos o servicios, y quienes los necesitan, estarán disponibles los stands de Marinexpo 2015. Por su parte, durante las rondas de negocios se cerrarán tratos largamente esperados o sorprendentes. En este marco, no pasará desapercibida la particular situación de Uruguay, que construye su primera planta de regasificación flotante, además de desarrollar con fuerza creciente su industria off-shore y su infraestructura portuaria.

Astilleros, sociedades de clasificación, agencias gubernamentales, proveedores e investigadores cruzarán sus miradas sobre una misma realidad para enriquecerla y apreciarla de una manera integral. También estarán presentes la camaradería y el intercambio de experiencias entre las Armadas de los distintos países miembros.

En suma, esta tradicional y siempre renovada actividad del Instituto Panamericano de Ingeniería Naval tampoco será la misma sin vuestra particular presencia. Los esperamos.

Cordiales saludos,



Ing. Naval Julio Cóppola
Presidente del IPIN



Dr. Ing. Naval Jorge Freiría
Presidente del Comité Organizador



Ing. Naval Germán Aguirrezabala
Secretario del Comité Organizador

ÍNDICE.

1. CONFERENCIAS MAGISTRALES.

El gran desafío para los puertos: la hora de pensar una nueva gobernanza portuaria ha llegado. *Sanchez, Ricardo J; Pinto, Francisca* 16

Experimental research and dem applications on the interaction between ice floes and ship hulls during icebreaking. *Puntigliano, Fernando* 32

The developing hull form for the intermediate-froude range of speeds. *Van Oossanen, Peter*. 53

Executing ship detailed design, planning, and manufacturing across multiple sites. A detailed case study of a danish (OMT) and canadian (ISI) project. *Jeva, Marcelo; Guzzi, Davide* 124

Tendencias en diseño y construcción de buques tipo OPV (desde la experiencia de Colombia). *Carreño Moreno, Jorge Enrrique* 126

2. BUQUES MILITARES.

Estado del arte y futuro de los sistemas de supresión de firma IR en buques de guerra mediante la refrigeración de gases de exhaustación. *Villa Caro, Raúl; Carral Couce, Luis Manuel; Fraguela Formoso, José Ángel; Pernas Urutia, Julio Manuel* 142

Installed electric power estimation and analysis of diesel generator set alternatives during the concept exploration phase for next generation of Colombian Navy combat ships. *Morales Vásquez, C. A.; Salas Berrocal, G. G.* 151

Implementación de herramientas de apoyo a la gestión de operaciones en sistemas de enlace de datos tácticos, para mejorar la conducción de operaciones navales en tiempo de paz. *Pérez Valdes, G.; Marrugo Llorente, S.; Gómez Torres, J.M.* 171

Estudio de firmas de buques para el uso de minas multi-influencia. *Sánchez, Antonio; Días, Juan Jesús;Riola, José María; Niño Pinilla, Eliberto* 188

3. CONSTRUCCIÓN Y REPARACIÓN.

Considerações sobre os fatores críticos de sucesso para a produtividade e competitividade dos estaleiros do Vale do Itajaí. *João Luiz Francisco; Quinhões Pinto, Ricardo Aurélio; Gomes Lopes, Francisco Jorge; Botter, Rui Carlos* 214

Análise da implementação de um shipbreaker sustentável na América do Sul. *Kramel, D.; Garcia, J.R* 229

Dificultades en el desarrollo e implementación de la ingeniería de detalle. *Saret, Fernando* 245

Reparaciones navales: cómo corregir, prevenir y predecir la improvisación. *Aguirrezabala, G.* 262

4. DISEÑO DE BUQUES.

Lancha Escolar Fluvial para Transporte de Estudantes com Segurança. *Mesquita, André; Vinicius Araújo, André; Pacha, Roberto; Rodrigues de Souza, José Maria; Tachibana, Toshi-ichi* 272

Programa informático para el diseño y análisis de buques. *Polimeno, Fernando* 296

Modelo estatístico para o projeto de embarcações militares. *Ribas de Amaral, Janaina; Souza, Hendrick; Pontin Tancredi, Thiago* 309

Buques para navegacion polar y en zonas de hielos. *Guerrero Gómez, Luis* 324

Las particularidades del diseño de embarcaciones pesqueras de pequeño porte. *Galiano Ortíz, A. F.* 339

SWATH. A new concept for the safety and security at sea. *Grannemann, Fritz* 350

Proyecto Antartica I. Diseño conceptual de un rompehielos para Chile. *Diaz Ibieta, S.* 369

Desarrollo de vehículo submarino autónomo para exploración oceanográfica. *Zilic de Arcos, F.; Tampier Brockhaus, G.; Luco Salman, R.* 388

Desarrollo de la ingeniería naval nacional: diseño y construcción de una draga arenera. *Freiria, Jorge; Romano, Emmanuel* 412

5. EDUCACIÓN Y FORMACIÓN NAVAL.

Aprovechamiento de las TICs en cursos universitarios. *Doisenbant, G. J.* 431

La formación de la Prevención de Riesgos Laborales, en el ámbito naval. *Fraguela Formoso, José Ángel; Carral Couce, Luis Manuel; Villa Caro, Raúl; Álvarez Feal, J. C.; Rodríguez Guerreiro, M.J.* 444

6. ESTRUCTURAS MARINAS.

Correções na teoria clássica de análise estrutural de navios utilizando estudo de caso. *Silveira de Magalhães Martins, Rodrigo; Pontin Tancredi, Thiago* 461

7. HIDRODINÁMICA.

Mecanismo de propulsión de cuerpos flexibles con movimiento peristáltica. *Doisenbant, G. J.* 482

Análise da influência dos parâmetros geométricos de uma semissubmersível no movimento de heave. *Silva de Paula Lopes, Pedro Paludetto; Pontin Tancredi, Thiago* 498

Estudo paramétrico de resistência ao avanço de uma lancha de 26 pés: comparação entre método Savitsky e CFD. *Marin, Guilherme; Arrigone Iervolino, Lucas; Pontin Tancredi, Thiago* 515

Definición de parámetros geométricos del casco de un navío minimizando la resistencia al avance usando programación no lineal. *Queizan, A.; Arrospide, J.; Colombo, P.; Guzmán, D.; Herskovits, J; Marchetti, I.* 537

Reducción del consumo de combustible mediante velas rígidas y paneles solares. *Cachaza Vázquez, Lucía; Pérez López, Gabriel; Villa Caro, Raúl; Fraguela Formoso, José Ángel* 549

Identificación de coeficientes hidrodinámicos de maniobrabilidad de buques en aguas poco profundas. *Carrillo Castellanos, Sandra; Cárdenas Gastelbondo, Luís; Contreras Montes, Juan* 565

Puesta en Marcha Tunel de Cavitacion Fiuba. *Ledesma, Efraín D. C.; Lazzarini Behrmann, Alejandro; Benítez, Norberto; Paz, Enrique* 579

8. INFRAESTRUCTURAS E INSTALACIONES PORTUARIAS.

9. LOGÍSTICA E INFRAESTRUCTURA PORTUARIA.

Gerenciamento do sistema de produção do terminal portuário de Ponta da Madeira da Vale: estudo de caso da dimensão manutenção. *Ferreira, M. MF.; Cutrim, S. S.; Botter, R. C.; Pereira, N.N.* 594

Panorama do financiamento público de projetos portuários no Brasil. *Sampaio, C. R.; Cutrim, S. S.; Botter, R. C.; Pereira, N. N.* 610

Análise da capacidade associada ao nível de serviço para terminais portuários utilizando enfoque sistêmico e simulação. *Ferreira Netto, João; Botter, Rui Carlos; Medina, Afonso Celso* 625

Alternativas para aumento de capacidade de um terminal portuário de minério de ferro com alta taxa de ocupação. *Milanez Zampirolli, Joyce; Botter, Rui Carlos; Medina. Afonso Celso* 643

10. MEDIO AMBIENTE.

Gestão da água de lastro no Terminal de Uso Privado do consórcio Alumar em São Luis-Ma. *Chahini, C. R. R.; Cutrim, S.S.; Pereira, N.; Botter, RC*. 661

Recomendaciones para el control y proteccion biologica en las instalaciones de varada y puesta a flote. *González Suárez, Roberto Luís* 677

Aproveitamento energético do biogás produzido a partir de resíduos e esgoto em navios de passageiros. *da Silva Lima, Herald Murilo; Galardo Quintanilha, Leonardo; Luz, Edelson; Hugo, Victor* 693

11 OIL & GAS/OFFSHORE.

Diseño/analisis estructural de una plataforma semisumergible de producción de hidrocarburos para aguas profundas en el Golfo de México. *Salazar Pascual, N.A.* 708

Seleção de um conceito de plataforma offshore para atuação na Bacia de Santos, baseada na frequência natural de heave. *Neves, Cheyenne; Pontin Tancredi, Thiago* 725

Prediction of delays in supply chain logistics of offshore platforms. *Fun-sang Cepeda, Maricruz A.; da Silva, Rafael Basilio; Caprace, Jean-David* 763

Planta de regasificación de GNL en el interior de una ría gallega. El difícil equilibrio entre las requisitos de seguridad para la navegación y la conservación del medio ambiente frente a los beneficios del mercado energético. *Alvarez Feal, J.C.; Rodriguez Guerreiro, M.J.; Fraguela Formoso, J.A.; Carral Couce, L.; Villa Caro, R.* 779

12. PERFORMANCE.

Análisis de riesgos durante las operaciones de amarre y fondeo en los buques. *Villa Caro, Raúl; Carral Couce, Luis Manuel; Fraguela Formoso, José Ángel* 796

Normativa referente al amarre de buques: comparativa de las normas ISO, los reglamentos de las Sociedades de Clasificación y la normativa IMO. *Villa Caro, Raúl; Carral Couce, Luis Manuel; Fraguela Formoso, José Ángel; Álvarez Feal, José Carlos Juan; Rodríguez Guerreiro, María Jesús* 809

Contaminación Interna por agua de mar de equipos frigorificos existentes en los buques. *Ramos Cavaliere, Reinaldo* 821

Chigres para fines científicos en buques oceanográficos. *Carral Couce, L.; Fraguela Formoso, J. A.; Alvarez Feal, C.; Villa Caro, R.; Costal Millán M.; Rodríguez Guerreiro M. J.;Carral Couce J. C.* 833

Análise e redução da cavitação em válvulas de controle. *Moreira Pinto Cunha, Davi; Cruz Luz, Edelson da; Chaves de Lemos, Victor Hugo* 870

Predição dos níveis de pressão sonora gerada por empurradores/rebocadores. *Marcião Vieira, Ayna Caroline; Kuwahara, Nelson; Teixeira Araújo Neto Santos, José* 884

Análise e modelagem do separador centrífugo com o inversor de frequência para partida em rampa. *Pontes da Silva Filho, José Antonio; Moreira Pinto Cunha, Davi; Cruz Luz, Edelson da; Chaves de Lemos, Victor Hugo* 901

Sonda para monitoramento e indicação de vazamento em tubulações. *Pasquale Rosa, Luís Carlos; da Silveira Rosa, Beatriz Vidigal Xavier; Tachibana, Toshi-chi* 916

Software para el cálculo y comparación del equipo de amarre y fondeo exigido en buques civiles y buques de guerra. *Villa Caro, Raúl; Carral Couce, Luis Manuel; Fraguela Formoso, José Ángel; González Martínez, Antón* 924

Transformación de sistema propulsivo tradicional en azimutal. *Philippi, E.; Freiria, J.* 941

Experiencias en la aplicación de la norma de rendimientos de los revestimientos protectores de los tanques dedicados a lastre. *Martínez Villa, Pedro* 971

Tecnología en altas profundidades, buceo con equipos recicladores de circuito cerrado. *Tessada Lüscher, J.P.* 987

13. TRANSPORTE MARÍTIMO Y FLUVIAL.

A cabotagem como meio de implantação de um sistema de Green Corridor para o Brasil. *Alves de Moura, Delmo; Botter, Rui Carlos* 1005

Analise comportamental dos tripulantes das embarcações da Hidrovia Tiete – Paraná, em diversas situações (inicio, durante e termino da viagem, os pontos críticos), para promover a segurança das pessoas e da hidrovia através de conscientização. *Padroni, Rosa Maria; Almeida Prado, Alex; Banhos Navarro Rezende, Suely Aparecida; De Biazi, Lilian Gabriela; Silva do Rio, Dorival; Furtado, Estevão* 1022

Proposições para o transporte fluvial de passageiros no Amazonas. *Miranda Lins, Nadja Vanessa* 1043

Transporte fluvial sustentable, la experiencia en Chile. *Luco Salman, R.; Fuentes Montaña, D.; Zilic de Arcos, F.* 1058

Análise de sistemas integrados de transporte rodo-fluvial marítimo sob a influência de regimes sazonais. *Novaes Mathias, Tiago; Botter, Rui Carlo* 1071

1. CONFERENCIAS MAGISTRALES

EL GRAN DESAFÍO PARA LOS PUERTOS: LA HORA DE PENSAR UNA NUEVA GOBERNANZA PORTUARIA HA LLEGADO[1]

SANCHEZ, Ricardo J[1]; PINTO, Francisca[2]

[1]Oficial a Cargo, División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL, Naciones Unidas.
[2]Consultora de la Unidad de Servicios de Infraestructura, División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL, Naciones Unidas.

Desde la más remota antigüedad los puertos han sido centros de intercambio entre culturas, del comercio y de las finanzas; en general, eran el punto de ingreso de las mercancías que necesitaba cada país o ciudad, según correspondiera, y de la salida del comercio de los excedentes que generaban. Debido a ello, tratar la gobernanza de los puertos es una cuestión compleja que remite a diferentes etapas de la historia, de las culturas, y de la geografía; y a las distintas formas de organización política, económica y administrativa que reinaban en cada uno de aquellos, en diferentes combinaciones de espacio y tiempo. En consecuencia, es preciso fijar el tiempo y el ámbito del análisis.

Las relaciones entre los puertos, las sociedades y los gobiernos han cambiado notoriamente en los últimos 25 años, en general en la mayoría del mundo y en particular en América Latina y en el Caribe. La actividad portuaria, en aquel inicio, venía de ser regida por ciertas características que pueden ser resumidas de la siguiente manera. Desde el siglo XX, los puertos pasaron por distintos roles dentro del sistema comercial, de transporte y de logística, asociándose con diferentes modelos de gobernanza para su gestión y administración, dentro de los cuáles se han observado típicamente los siguientes: (1) puertos completamente administrados por el sector público (también llamados *´service´*); (2) los intermedios, híbridos, en los cuales se agregaban –a la situación anterior– servicios provistos por empresas

[1]Working paper de la División de Recursos Naturales e Infraestructura, Unidad de Servicios de Infraestructura, CEPAL, Naciones Unidas, 2014.
[2]Brooks, Mary R. and Kevin Cullinane eds. (2007): Devolution, Port Performance and Port Governance. Oxford: Elsevier.

privadas, especialmente de estiba (también llamados ´tool´); y (3) terminales operados por privados, especializados o polivalentes, concesionados manteniendo la propiedad pública, bajo el modelo conocido como *landlord*.

En general, durante ese tiempo, diversos gobiernos de todo el mundo decidieron salirse del manejo directo de las operaciones y del negocio portuario, iniciando una serie de reformas en tal sentido, de igual manera que ocurrió en muchos países de América Latina y el Caribe. Desde el punto de vista teórico, varios autores han coincidido en denominar a este proceso como "devolución", descriptor general del cambio de la preminencia de régimen entre los sectores públicos y privados que ha ocurrido a lo largo de la historia. Una noción precisa de "gobernanza" se ha correspondido con cada uno de esos cambios, como por ejemplo los descriptos anteriormente entre puertos tipo *service*, *tool* y *landlord*: cada uno de ellos contiene instrumentos diferentes en cuanto a los mecanismos de devolución, reformas regulatorias, instrumentos de control y esquemas de gobernanza, que señalan formas asociativas diferentes.

Con el objeto de aclarar el alcance del concepto de "gobernanza", Brooks & Cullinane (2007)[2] refieren al conjunto de los sistemas, estructuras y procesos que organizan grupos de individuos en un propósito común, las que pueden percibirse como constituyentes de la estructura de su gobernanza, en conjunto con la normativa y regulaciones que enmarcan la acción de la política pública que el gobierno impone en los correspondientes negocios públicos y privados. Las estructuras y procesos implementados a través de leyes nacionales, tales como los requisitos para procesos de adjudicación abierta, control, seguimiento, objetivos, restricciones, etc., integran la gobernanza de un gobierno. De manera similar, aunque más sintética, Fernando Gonzalez Laxe estructura la gobernanza en tres ejes fundamentales: instituciones, mecanismos y procesos.

Al inicio del actual ciclo de gobernanza, los puertos públicos en la región estaban atravesando una etapa de muchos problemas de gestión, que generaban un importante costo fiscal que, en los años 90s, los Estados no estaban siendo capaces de sostener. Asimismo, atravesaban problemas con la dotación y la gestión laboral y ofrecían unos servicios que no eran compatibles con las expectativas de expansión del comercio que muchos países mantenían. La situación que vivían los puertos a finales de los años 80 y comienzos de los 90, era vista de la siguiente manera: "Los puertos del sector público de América Latina y el Caribe se enfrentan a una crisis en casi todos los aspectos de sus actividades, desde las inversiones y la

planificación hasta los trabajadores, la administración, los costos y la productividad. Ello puede percibirse en las quejas de los usuarios de los puertos, así como en las medidas que los gobiernos adoptan para reducir las inversiones de capital, y los presupuestos para el mantenimiento de los equipos y los programas de capacitación del personal. Muchos factores exógenos han contribuido a la crisis, como el endeudamiento externo, las transformaciones ocurridas en las metas económicas nacionales y los déficit fiscales, pero los propios gobiernos en gran medida han desencadenado la crisis con políticas que han dado un fuerte respaldo a las demandas de los grupos portuarios preponderantes. La sensibilidad de los gobiernos a dichos grupos se ha traducido en el establecimiento de instituciones portuarias basadas en leyes, reglamentos, acuerdos, políticas y obligaciones sociopolíticas que carecen de coherencia y persiguen objetivos contrapuestos"[3].

En tal contexto, se iniciaron una serie de reformas para cambiar los sistemas de gestión desde tool o service a landlord, es decir, puertos donde el Estado se reserva los activos, mientras que da en concesión la operación de las mismas, configurando terminales especializadas o multipropósito. Este nuevo proceso se llevó a cabo con el objetivo de rescatar a los puertos de la ineficiencia en sus prestaciones, disminuir el alto costo fiscal y mejorar la calidad de los servicios, la que en aquel momento era baja y poco competitiva. Algunos autores[4] han emplazado aquellas reformas bajo el título de "devolución". En tal sentido, definen la devolución como "la transferencia de funciones o responsabilidades en el reparto de programas y servicios del gobierno nacional a otras entidades", las que pueden ser "otro orden gubernamental u organizaciones no gubernamentales, grupos comunitarios, asociaciones de clientes, el mercado o la industria" (Rodal & Mulder, 1993). Sin embargo, la principal definición vigente se basa en "la reducción del peso fiscal y administrativo de parte del gobierno, junto con un incremento simultáneo en los compromisos y responsabilidades de los otros actores" (Brooks & Cullinane, 2007).

Por definición, tal tipo de "devolución" implica claramente una descentralización de las responsabilidades y el accountability (es decir, desde los controles centrales y nacionales hacia las capacidades locales).

[3]CEPAL (1992): "La reestructuración de empresas públicas: el caso de los puertos de América Latina y el Caribe"; CEPAL LC/G. 1691-P, Santiago, Chile, octubre.
[4]Rodal & Mulder (1993), Brooks & Cullinane (2007).

En suma, la descentralización involucra una serie de objetivos que difiere entre las distintas formas de devolución. A los fines de este documento, en la realidad de América Latina y el Caribe, adonde la "devolución" fue principalmente la

concesión bajo el modelo landlord, la descentralización procuraba asegurar la capacidad de respuestas de parte del gobierno portuario respecto de la provisión de servicios para llevar las operaciones y la administración de activos a una plataforma de carácter más comercial basada en (a) el deseo de obtener mayores ingresos de los activos administrados o (b) limitar el impacto –sobre las finanzas gubernamentales– de los activos que generaban pérdidas. La distribución de los beneficios originados en dichos procesos comprende un asunto aparte respecto de la extracción de beneficios. La descentralización es una parte incuestionable de las reformas portuarias, que tiene los efectos mencionados, pero que al mismo tiempo en su versión más extrema, refleja la ausencia de políticas públicas, planes y estrategias de desarrollo portuario con visión de país, limita la correcta toma de decisiones de inversión y desdibuja la acción concertada del Estado sobre la actividad portuaria a nivel general en beneficio del agregado de la economía.

El modelo de puertos landlord, implementado en la última década del siglo XX, se llevó a cabo incorporando capital privado para aumentar la competencia de los puertos, reduciendo así el peso fiscal. Además, en general, buena parte de las decisiones fueron descentralizadas a cada puerto, acercando el gobierno portuario a las demandas de los clientes y buscando el aumento de la competencia, con todo lo cual se buscaba mejorar la competitividad del comercio exterior.

Por otra parte, aunque no fuera explícito en la mayoría de las legislaciones, las reformas tendieron a mejorar la eficiencia de los antiguos puertos públicos con especial enfoque en el movimiento de contenedores, con lo que se dio paso a la inversión y aparición de muchos terminales especializados con buenos resultados, pero al mismo tiempo con menor acción sobre otros tipos de terminales y cargas.

Finalmente, cabe destacar que la reforma llevada a cabo para transformar los antiguos puertos públicos fue desde una visión principalmente modal, en la que el puerto está enfocado sólo al transporte marítimo pero sin tener una visión sistémica, y se halla separado del desarrollo de los ferrocarriles, del transporte carretero y otros modos. En tal visión, los puertos iban por un lado y el resto de los componentes del sistema logístico, cada uno por el suyo. Con ello se ha

logrado mejorar notoriamente la eficiencia del terminal marítimo propiamente tal, pero con esfuerzos más limitados en el trabajo conjunto con los otros medios de transporte que tienen relación con el comercio y principalmente con la logística. Actualmente, el sistema globalizado y las nuevas condiciones a las que se enfrenta el sistema económico mundial han dejado en evidencia la necesidad de cambio en distintas áreas de la actividad económica, entre ellas la logística y el transporte, y así mejorar la competitividad y la productividad de los factores. Para ello, se requiere repensar el rol que cumple un puerto en la cadena de suministro de un país en función de su economía, su relación con los otros modos de transporte de carga, y con la ciudad en la que se encuentra inmerso.

Hasta ahora, una buena parte de los objetivos del último cambio de gobernanza en puertos se ha cumplido, pues se intentaba llegar al punto máximo de eficiencia de éstos, meta a la que, si bien no se ha llegado plenamente, se ha logrado una mejora sustantiva en la calidad y cantidad de prestaciones. Ello ocurrió gracias a la reforma, la acción pública, la inyección de capital del sector privado, a la vez que la inserción de la competencia interportuaria, obligando a los operadores privados a invertir en grúas y otros medios requeridos para entregar un servicio de calidad y eficiente. Sin embargo, la gobernanza de un cuarto de siglo está limitada para afrontar los desafíos futuros —y en algunos casos también los presentes—, pues sus objetivos y mecanismos de acción estaban ligados a una realidad que ha cambiado de manera muy importante. Ello se relaciona con el aprovechamiento de los espacios, la cercanía a los máximos de capacidad y ocupación del territorio, en muchos casos. En consecuencia, es preciso pensar en planes estratégicos para hacer más eficiente el uso del territorio existente y ampliar el mismo según las necesidades finales de cada puerto.

Para enfrentar los desafíos que encara la industria portuaria se debe redefinir el puerto y su rol en la actividad económica final, ya que un puerto combina aspectos referidos a las infraestructuras, a los equipamientos, a los servicios avanzados y a la logística (González Laxe, 2013)[5].

Es por ello que los puertos requieren un cambio desde una visión unimodal a una integrada y sistémica, que incluya la integración con el hinterland, la logística, la producción, y los demás modos de transporte.

[5]Working Paper CEPAL 2013, "Experiencias internacionales sobre el rol del estado para el desarrollo de sistemas portuarios en ambientes de competencias", Fernando González Laxe, Coruña, España.

En ello es importante considerar a la situación de la industria naviera, la que está en un proceso de grandes cambios, entre ellos: a) los buques que son cada vez más grandes y b) la tendencia observada a hacer alianzas entre las navieras, que se traduce en mayor poder negociador frente a los terminales portuarios, reacondicionamiento de redes, y menores llamadas a puerto. Frente a ello, la expansión portuaria producto de la generalización de un modelo de gestión que buscaba mayor eficiencia y competencia, ha multiplicado, en toda la región, la cantidad de facilidades gestionadas por los grandes operadores mundiales de TEC[6].

La expansión de la actividad económica y del comercio más las exigencias enumeradas previamente se traducen en una necesidad de espacio adicional para mejorar los servicios a la carga, a los buques y a los importadores y exportadores, además de incorporar el movimiento de otro tipo de cargas. Sin embargo, la mayoría de los puertos tradicionales que eran el objeto principal de acción de las reformas portuarias de los años 90, se encuentran en medio de ciudades, o adyacentes a terrenos que han sido utilizados para otros fines, diferentes de la actividad portuaria. Es por ello que se ha venido observando en los últimos años la construcción de nuevos puertos tipo *greenfield*[7], en áreas no portuarias adonde se dispone de espacio suficiente para responder a los requerimientos de los puertos modernos.

Al pensar en la creación de nuevos puertos, la remodelación de antiguos o la ampliación de los ya existentes, las administraciones portuarias se ven enfrentadas a distintos problemas, como las regulaciones de las ciudades y la ocupación de terrenos alrededor de los puertos, al mismo tiempo que las reacciones protectoras que suele tener la sociedad civil respecto al uso de terrenos urbanos para ser refaccionados como facilidades portuarias.

Frente a todos los puntos esgrimidos previamente, los modelos de gobernanza actuales, orientados a suplir necesidades de productividad y eficiencia portuaria y las necesidades básicas de mercado a través de los cambios y mejoras en los puertos tradicionales de origen público, se ven alcanzados por los nuevos requerimientos y por un marco de gobernanza que fue pensado para otro tipo de fines.

[6]TEC: terminal especializada en contenedores. Según datos de la CEPAL, desde la década de los 90s, la cantidad de terminales portuarias operadas por grandes firmas internacionales creció, en América Latina y el Caribe, desde 11 en 1995 a 67 en 2014, que llegan a casi 90 al considerar las firmas especializadas de capitales de origen regional.

[7]Puertos desarrollados en terrenos completamente nuevos para este tipo de actividad, la mayoría de las veces descentrados de las ciudades.

Para atender estas necesidades es preciso lograr un mayor involucramiento entre la sociedad civil, el Estado y el sector privado, siendo aquellas: (1) avanzar hacia visión integrada y sistémica, (2) racionalizar las inversiones basados en criterios de eficiencia social, (3) combinar el capital privado con las inversiones públicas, (4) solucionar problemas de índole social y laboral, como así también de la convivencia territorial, (5) tener como objetivo la mejora de la competitividad de la economía pero también de la productividad de los factores, (6) promover la integración de las partes, (7) Repensar el proceso de descentralización–centralización, para recuperar el equilibrio perdido, (8) atender las necesidades de todas las cargas y no solamente la de los contenedores y (9) asumir a la integralidad y objetivos de sostenibilidad como principios rectores.

Para generar esta nueva gobernanza, se necesita una definición clara de las responsabilidades y de los niveles de decisión, que asegure que los distintos actores sean capaces de definir y consensuar entre todos una solución viable que otorgue beneficios a todos los interesados que –debe ser contundentemente dicho— refieren al conjunto de la economía y la Sociedad, y no solamente a los stakeholders directos.

Para ello es preciso repensar las relaciones entre Sociedad, Mercado y Estado, y muy especialmente a la gestión pública para los puertos. La CEPAL señalaba, casi un cuarto de siglo atrás:"Como piezas de rompecabezas diferentes que no encajan unas con otras, la gran variedad de organismos gubernamentales que tienen que ver con los puertos parecen carecer de la agilidad necesaria para planificar, organizar y ejecutar las mejoras institucionales y de infraestructura"[8].

Para la nueva gobernanza se debe lograr un clima de cooperación institucional entre los actores públicos, privados y la Sociedad civil, en un marco global de referencia que contribuya a establecer políticas, definir estrategias de transformación y concretar acciones e intervenciones para cumplir los objetivos frente a los nuevos desafíos presentados para los puertos.

[8](CEPAL, 1990): "Cambios estructurales en los puertos y la competitividad del comercio exterior de América Latina y el Caribe"; CEPAL LC/G. 1633-P, Santiago, Chile, octubre

Reflexiones sobre la gobernanza portuaria, de la 1.0 a la 2.0: ha llegado la hora!

Los rápidos e importantes cambios observados en la economía mundial en los últimos cinco años, con impactos en los niveles de producción e intercambio, en el ciclo marítimo y en toda

la industria del shipping y la logística, han afectado de distinta manera los puertos en América Latina y el Caribe. Esa afectación no es solamente para sobrellevar la volatilidad o los momentos de menor actividad, sino también para enfrentar los nuevos escenarios, tanto del comercio mundial como del movimiento marítimo y las líneas navieras, y la situación emergente de sus propias realidades, como por ejemplo aquellos que están cercanos al límite de sus posibilidades de expansión. Es por ello que es preciso reflexionar y conducir la situación de las distintas entidades de la región para repensar la forma en que los puertos y sus instituciones atenderán los próximos desafíos. Ello requiere analizar la gobernanza portuaria en la región, la que debe generar nuevas condiciones para responder acabadamente a los retos venideros, para los que probablemente la actual gobernanza no sea suficiente.

En América Latina y el Caribe, la gobernanza portuaria, definida como el conjunto de sistemas, estructuras y procesos como así también la legislación, acción regulatoria y objetivos de política pública, está aún caracterizada por objetivos definidos casi un cuarto de siglo atrás, los que en líneas generales pueden resumirse de la siguiente manera:

1. Recuperar los tradicionales puertos públicos, que estaban colapsados;

2. Reducir el peso fiscal de los puertos[9];

3. Incorporar capital y la gestión comercial privada, creando una industria de servicios portuarios con énfasis en las demandas del mercado[10] y la defensa de la competencia[11];

4. Mejorar la competitividad del comercio exterior[12];

5. Solucionar los problemas laborales, la baja productividad y costos elevados que existían en casi todos los puertos de la región.[13]

La reforma llevada a cabo para cumplir los objetivos mencionados, se basó en instrumentos específicos como nuevas leyes portuarias, las que se multiplicaron en la región, y en la búsqueda de proceder a la descentralización de las autoridades portuarias. La utilización de estos instrumentos muestra una clara orientación modal en las políticas públicas, con visiones aisladas de cada una de las partes intervinientes en los procesos de logística y movilidad. En la práctica, un aspecto adicional muy importante, aunque no claramente delineado en los

instrumentos legales de aquella época, fue una marcada preponderancia en la acción sobre los puertos de contenedores, tal como se ha señalado anteriormente.

Los objetivos de aquella ola de reformas fueron parcialmente cumplidos, en algunos aspectos con mucho éxito; la competencia, la incorporación del capital privado y la descentralización de las decisiones impulsaron una fase de grandes avances en la modernización de las prestaciones portuarias, con aumentos muy destacados en la productividad. Otros aspectos, sin embargo, quedaron sin soluciones plenas, como por ejemplo ciertas cuestiones laborales, los mecanismos de expansión del sistema en su conjunto, más allá de las instalaciones individuales, como así también algunas cuestiones ligadas a la gobernanza jurídica o regulatoria de las concesiones y la competencia. En particular, preocupan las situaciones

[9] "Durante muchos años se dio mínima importancia a los déficit portuarios, a los que se consideró un asunto que podía corregirse con asignaciones presupuestarias mayores o simplemente aumentando las tarifas. Sin embargo, esos aumentos, en el caso de los países que han adoptado políticas macroeconómicas orientadas a las exportaciones, en última instancia afectarán al precio de las exportaciones y de las importaciones." CEPAL, 1992.

[10] "Con el fin de promover la participación del sector privado en las instalaciones y servicios portuarios el gobierno debe adoptar un marco institucional conforme al cual se haga una nueva asignación de las funciones operacionales, administrativas y de planificación entre los organismos del sector público y las empresas privadas como parte de una estructura institucional orientada al mercado, para así asegurar que los grupos portuarios preponderantes no distorsionen el ambiente comercial en el que se desenvuelven las relaciones comerciales." CEPAL, 1992.

[11] "Los elementos principales de dicha estructura comprenden la facultad legal para determinar la participación privada, la desreglamentación, la descentralización, un régimen antimonopolios y la creación de un organismo del sector público que equilibre los intereses en competencia con el objeto de asegurar que no haya un grupo que pueda utilizar los mecanismos del mercado para lograr una situación de monopolio. Mediante dicha facultad legal deben formularse claramente normas para la aprobación de las propuestas del sector privado y establecerse una firme presunción en el sentido de que una participación más activa beneficiará al país gracias a una mayor competencia, con el fin de evitar los interminables problemas y demoras que produce tratar de satisfacer exigencias reglamentarias imprecisas." Con ello se proponía la adopción de "regímenes antimonopolios para asegurar que ninguno de los grupos que componen el ámbito portuario pueda aislarse de las fuerzas del mercado y exigir rentas de monopolio." CEPAL, 1992.

[12] Así lo señalaba CEPAL (1990): "En este último decenio del siglo XX, los gobiernos se ven enfrentados a un dilema fundamental: o bien identifican y definen las funciones que corresponden a los sectores público y privado en lo relativo a puertos, habida cuenta del comercio internacional, o aceptan una disminución de la competitividad de sus exportaciones en los mercados mundiales, una reducción de los ingresos en divisas, una baja de la inversión interna y un aumento del desempleo nacional."

[13] "Todas las opciones de combinación de los sectores público y privado deben estar respaldadas por políticas económicas cuyo fin sea promover el comercio, un marco institucional que permita a las fuerzas del mercado regir las actividades portuarias, una fuerza de trabajo productiva cuyo acuerdo colectivo permita la consecución de metas comerciales y un ambiente atractivo para las inversiones del sector privado, o el riesgo de traspasar un monopolio del sector público al privado podría hacerse realidad." CEPAL, 1992.

vividas cuando se ha generado exceso de competencia afectando la eficiencia agregada y los mecanismos de renovación de los contratos de concesión y de asignación de nuevos derechos de explotación. La competencia sigue siendo un objetivo válido y necesario de ser sostenido.

Sin embargo, es preciso analizar la diferencia entre promover la prestación de servicios "en un ambiente de competencia" que impida la creación y captura de las rentas monopólicas por operadores portuarios, y la de una competencia exacerbada[14] que atente contra la debida eficiencia social del mercado.

Uno de los problemas presentados por la gobernanza actual, es que hasta la fecha no se han podido resolver algunos problemas en la relación con los trabajadores, lo que queda demostrado en la gran cantidad de huelgas que ha habido en la región en los últimos años. En los últimos cuatro años se ha registrado un total de 312 días de huelga dentro de los 12 países que fueron revisados en un estudio de CEPAL (Sánchez & Dornier, 2014)[15], y cuyo motivo principal fueron demandas salariales o mejoras en las condiciones laborales de los trabajadores portuarios, detallados en el gráfico a continuación.

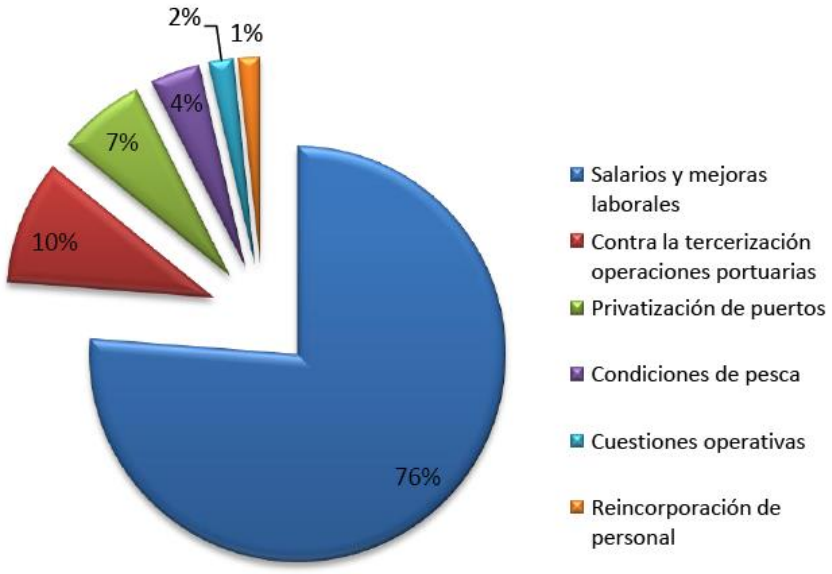


Gráfico 1: Razones de huelga en puertos de América Latina y El Caribe 2010-2014.

Fuente: División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL, 2014

[14] Gillen & Morrison (2004): Airline Strategies, Competition and Network Evolution: How Important are Slots?; Journal of Air Transport Management, Vol. 11, No. 1.

[15] Estudio publicado en "Boletín Marítimo y Logístico N° 54" de la Unidad de Servicios de Infraestructura, División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL, 2014, con la colaboración de Camille Dornier.

En el siguiente gráfico se puede observar la cantidad de días de huelga portuaria entre 2010 y 2014 para cada uno de los países analizados.

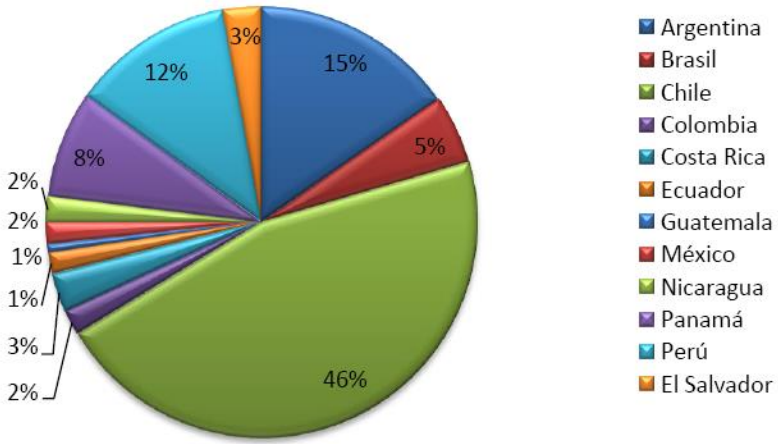


Gráfico 2: Días de huelgas portuarias por país. Fuente: División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL, 2014

No obstante, la gobernanza actual (que llamaremos 1.0) ha sido un mecanismo válido para los objetivos de los últimos 25 años. Como ha señalado reiteradamente Octavio Doerr, de la CEPAL: "el modelo de crecimiento portuario en la mayor parte de América Latina y el Caribe se ha basado principalmente en el aumento de la productividad, con centro en la inversión y administración al interior de los terminales, especial aunque no únicamente, de contenedores." Se basa, para dicha afirmación, en los datos del cuadro posterior, que muestra una relativamente baja expansión física de los puertos (crecieron aproximadamente un 76% entre 2000 y 2013) frente a un mucho más fuerte aumento de la producción del 460% -relación que se explica por los aumentos de la productividad-, mientras que si se considera el período 1995-2013, el aumento fue del 689%.

Sin embargo, la gobernanza enfocada en la modernización de terminales va tornándose insuficiente y obsoleta, al no atender una multiplicidad de aspectos de la vida moderna de los puertos. En primer lugar porque los antiguos puertos públicos tienen estrechos márgenes para crecer físicamente, por encontrarse enclavados en ciudades populosas y con problemas de convivencia por el uso sostenible del territorio y con la población. Esto no era un problema un cuarto de siglo atrás, ya que había margen de expansión y, especialmente, capacidad de expansión basada en inversión en tecnología y organización que expandían la productividad y la eficiencia de las terminales, con lo cual se hacía rendir mucho más al mismo espacio físico.

Sin embargo, al comenzar a agotarse esa forma de expansión empezaron a observarse una gran cantidad de proyectos y desarrollos brownfield y greenfield. Esta es una realidad a lo largo de la región, ante la evidencia de que los tradicionales puertos públicos están cercanos al límite.

	1995	2000	2005	2007	2009	2011	2013	% 2000 - 2013
Millones de TEU (muestra de 30 puertos, equivalentes al 60% del throughput regional)	-	4,4	11,9	15,4	16,0	22,7	24,6	460%
Millones de TEU (LAC)	6,7	16,7	27,0	34,6	33,9	44,0	46,3	177%
Longitud de muelles ('000 m)		13,0	15,0	16,7	19,3	22,3	22,9	76%
Cantidad de STS Crane		60	92	119	161	187	204	238%
Productividad de muelle (TEU/m)		338	792	923	829	1019	1077	218%

CUADRO 1: Expansión y productividad en puertos de contenedores de América Latina y el Caribe. Fuente: Octavio Doerr, sobre la base de encuestas y el Perfil Marítimo y Logístico de la CEPAL

El gráfico de flujos a continuación, modificado sobre la base de Brooks & Cullinane (2007), muestra los motivos a partir de los cuales un modelo de gobernanza requiere cambios. Los autores basan el modelo a partir de una nueva filosofía de acción gubernamental. Ello ocurre, por ejemplo, cuando se decide avanzar desde la mera operación y la acción normativa hacia el diseño y acción de la política pública centrados en la satisfacción de los intereses comunes de la Sociedad. Dicho cambio en la orientación de las políticas públicas en conjunto con el impulso al comercio que trae aparejada la globalización, y el cambio tecnológico, configuran un conjunto de oportunidades de cambio en los procesos y las estrategias que desembocan en un programa de reformas y el cambio a una nueva gobernanza. Los autores, incluso, mencionan originalmente que la propia dinámica del desarrollo portuario puede conducir a nuevas oportunidades de mejora por parte de los gobiernos. Sin embargo, es importante destacar que otros elementos también pueden realimentar el proceso e impulsar nuevamente un programa de reformas hacia una nueva gobernanza. Entre aquellos, se destacan los siguientes, entre otros:

- La interacción entre el avance del comercio y la globalización con el cambio tecnológico, provoca una retroalimentación que puede llevar al límite la capacidad de expansión de los puertos tradicionales.

- El cumplimiento parcial de los objetivos originarios, puede plantear la necesidad de señalar nuevos objetivos, aprovechando las lecciones aprendidas y los nuevos instrumentos que no estaban presentes en el diseño original;

- Los cambios en el mercado —además de los tecnológicos—, la falta o el exceso de competencia, las alteraciones de la capacidad de negociación entre los actores del mercado que puedan configurar monopsonios u oligopsonios (recordando que dentro de los objetivos originales estaba la prevención antimonopolio pero no una antimonopsonio).

Con el paso del tiempo, un modelo de gobernanza puede ser cuestionado en sí mismo, o por los resultados alcanzados, a partir de varios elementos. Uno de ellos, bastante habitual, es la existencia de múltiples objetivos estratégicos y la amplia forma que estos pueden ser manejados y controlados[16]. Posiblemente, esta sea una cuestión común en la experiencia latinoamericana.

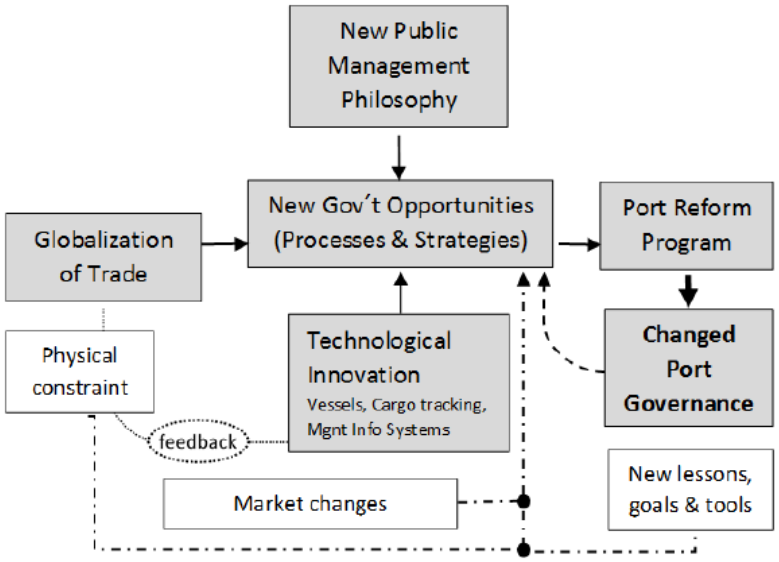


GRÁFICO 3: Flujo de decisiones para la gobernanza portuaria. Fuente: Ricardo J. Sánchez, adaptado de Brooks & Cullinane, 2007. Nota: las partes grisadas están en el gráfico original.

[16] Brooks & Cullinane, op. cit.

La conjunción de varios de los elementos antes descriptos, a lo largo de este documento, dan indicios ciertos de que ha llegado la hora de avanzar desde la gobernanza 1.0 a una nueva, 2.0.

El gráfico a continuación resume —sobre una imaginaria línea de tiempo— las diferencias principales entre las orientaciones de la gobernanza 1.0 y la necesaria 2.0. Como puede observarse en el mismo, con cada uno de los aspectos principales de la primera, se alinean sus equivalentes en la segunda, concluyendo que se necesita una nueva institucionalidad y nuevas o más profundas formas asociativas entre el sector público y el privado, en definitiva un nuevo conjunto de sistemas, estructuras y procesos en consonancia con normas y regulaciones que determinen la acción de la política pública.

Vale decir, una nueva gobernanza portuaria es requerida. También se lo podría ver como la necesidad de una política portuaria integral y sostenible, con una visión más completa del desarrollo y la operación de los puertos, que incluyan tanto inversiones en expansión como en mejoras de productividad como en conectividad, comunidad portuaria e integración logística, entre otras, resulta urgente para ganar en eficiencia en toda la cadena logística. Esta nueva política no podría, como en el pasado, instituirse como una parte aislada de la política logística nacional.

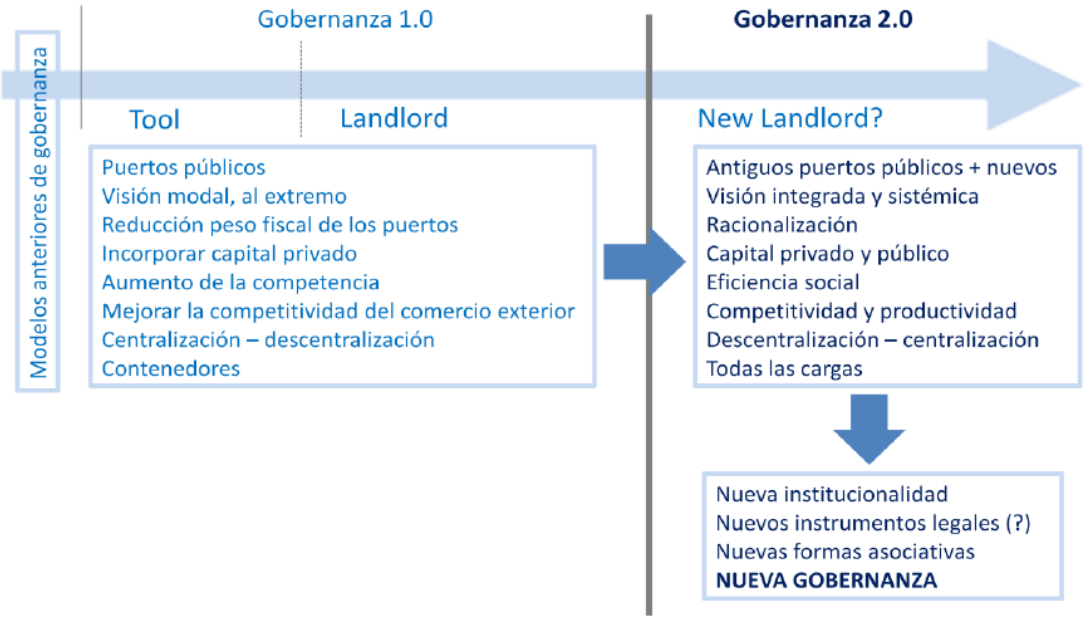


GRÁFICO 4: Evolución de los modelos de gobernanza portuaria en América Latina y el Caribe. Fuente: Ricardo J. Sánchez

Una nueva gobernanza es necesaria, para atender a la nueva realidad pero sin desatender el desenvolvimiento de los puertos tradicionales, como así también para enfrentar los cambios notables que han tenido la industria marítima y logística en los últimos años. Más aún, una nueva gobernanza es precisa para la integración de la cadena logística al amparo de una política pública comprensiva y sostenible, basada en una visión integrada y sistémica, que posiblemente requiera el diseño de nuevos instrumentos de política. Los puertos modernos requieren de una más sofisticada y compleja gobernanza para estar en condiciones de conducir al sistema portuario a objetivos de clara utilidad para el desarrollo económico de los países, como mayores niveles de prestaciones, eficiencia, productividad y competitividad.

Los objetivos tienen que ser consistentes con el modelo de gobernanza. Cada uno de estos tiene sus propios objetivos e incentivos implícitos de tal modo que en el caso contrario –si los gobiernos imponen modelos internamente inconsistentes en los puertos— el rendimiento simplemente no será óptimo, independientemente de los resultados y el rendimiento que se proponga alcanzar[17]. Ello es requerido no solamente entre las autoridades, sino que exige el despliegue de visiones y liderazgos que conduzcan tanto a mayores grados de productividad y eficiencia como a niveles de coordinación entre todos los actores.

En cada realidad particular, mientras tanto, deberá ser analizada la conveniencia y grado de adaptación del gobierno portuario, las políticas, estrategias, modelos, herramientas, incluyendo las leyes específicas, a esta nueva realidad. En algunos casos, es probable que un cambio legislativo sea requerido, mientras que en otros será posible atenderla con la misma normativa o con ajustes a la existente.

Los modelos portuarios también deben ser revisados. Un estudio sobre 42 puertos del mundo ha confirmado varias conclusiones interesantes. La primera es que la tradicional clasificación (de Baird, 2000, y del Banco Mundial, conocidas como service, tool y landlord) es en exceso simplista y no responde a la infinita variedad de formas adoptadas en la práctica en un mundo portuario competitivo. La segunda es que los modelos de gobernanza apropiados para cada conjunto de objetivos de política pública (para los puertos, o la logística en general) no siempre han funcionado tal como estaba previsto. Dentro de las razones posibles para ello, se

[17] Brooks & Cullinane, 2007, page 655

destacan: (1) Que los gobiernos carezcan de una política portuaria activa; (2) Que los gobiernos tengan más de un objetivo y hayan fallado, aunque solo fuera parcialmente, en qué era lo que buscaban con las reformas; (3) Que el modelo de gobernanza dispuesto haya quedado comprometido por intervenciones políticas subalternas; (4) Que simplemente haya habido una suma de errores en la implementación práctica de las reformas.

El régimen de las inversiones, en una nueva gobernanza caracterizada por fuertes expansiones hacia puertos de nueva generación, en la mayoría de los casos supone una participación importante de la inversión pública en nueva infraestructura, además del mantenimiento de la anterior.

Las inversiones habitualmente realizadas por el sector privado mantendrán un alto nivel de importancia, pero ya no será suficiente; es preciso expandir la inversión pública en los puertos. Ligado a ello, los criterios de eficiencia y rentabilidad deben ser sociales y no solamente privados, como en parte de las reformas iniciadas durante los años 90.

La nueva gobernanza debe estar clara y contundentemente ligada a objetivos de desarrollo nacional y regional, de manejo territorial, cambios en los modelos de desarrollo con inclusión y mejoras en la productividad de los factores de la economía, fuente única para aquella transformación. En consecuencia, la visión sobre los puertos no debe centrarse en las mejoras de la inserción internacional de las economías de la región, lo cual nos deja nuevamente en la necesidad de abandonar las visiones parciales o modales y pasar a una nueva, integrada y sostenible.

Para ello, posiblemente se requiera un reequilibrio entre centralización y descentralización, con el regreso a la centralización de cierto tipo de decisiones, en particular relacionadas con el planeamiento y desarrollo territorial, el uso de las herramientas regulatorias y la defensa de la competencia, y las estrategias productivas. Ello supone pensar en las necesidades de todas las cargas y sus cadenas logísticas, más allá de solamente los contenedores.

En resumen, una nueva gobernanza es requerida para los puertos, en consonancia con una nueva gobernanza para los servicios de infraestructura.

EXPERIMENTAL RESEARCH AND DEM APPLICATIONS ON THE INTERACTION BETWEEN ICE FLOES AND SHIP HULLS DURING ICEBREAKING

Prof.-Dr. Fernando Puntigliano

School of Business and Economics. Universidad Católica del Uruguay

SUMMARY.

The research presented in this article results from studies performed between 1992 and 2003. The article is mainly based on a publication presented in 2003 at the Schiffbau Technische Gesellschaft Conference in Berlin. In between Discrete Element Methods (DEM) has become more frequent and is largely applied in various fields such as astronomy. Model tests were performed with segmented icebreakers to measure the distribution of forces. Pressure transducers were built into the model's shape to measure the pressure field between ice and hull. These tests demonstrate the existence of the low pressure phenomenon, which explains the unexpected high percentage of resistance caused below the waterline. Measurements were performed in full-scale to confirm the existence of the phenomenon in real icebreakers. A DEM model was developed to predict the motion of floes sliding along the hull. The results are compared with model tests showing good agreement.

INTRODUCTION.

The resistance of ships during icebreaking was considered to be generated to 90% percent at or slightly below the waterline. Only in the last three decades it became clear that the contribution to the icebreaking resistance below the ice sheet was underestimated.

The icebreaking resistance generated below the waterline is caused by the friction forces of the floes sliding along the hull. All other components of the resistance generated below the waterline, *e.g.* the viscous resistance are negligible.

Scope of the Work.

The aim of this work is:

1. To demonstrate the existence of the low pressure phenomenon in model and full-scale.
2. To elaboration of a mathematical model to predict the motion of floes sliding along the hull.
3. To predict the floe trajectories.
4. To validate the numerical model by comparing with experimental results.

Phases of the Icebreaking Cycle.

The icebreaking process is assumed to be a sequence of four subprocesses (in time domain) following the motion of the ice floes as shown in Figure 1. The following phases are considered:

1. Breaking phase,
2. Rotative phase,
3. Sliding phase and
4. Final phase.

The breaking phase starts when the ship makes contact with the intact ice sheet, and it ends when a crack occurs in the intact ice sheet and a new floe is generated.

The rotative phase starts when the breaking phase ends, and it ends when the floe is aligned tangentially to the hull.

The sliding phase starts when the rotative phase ends, and it ends when the floe leaves the hull.

The final phase starts when the sliding phase ends, and it ends in one of the following three possibilities:

1. The floe moves freely to the sides beneath the lateral intact ice sheet.
2. The floe moves freely into the open canal behind the ship.
3. The floe interacts with the propeller.

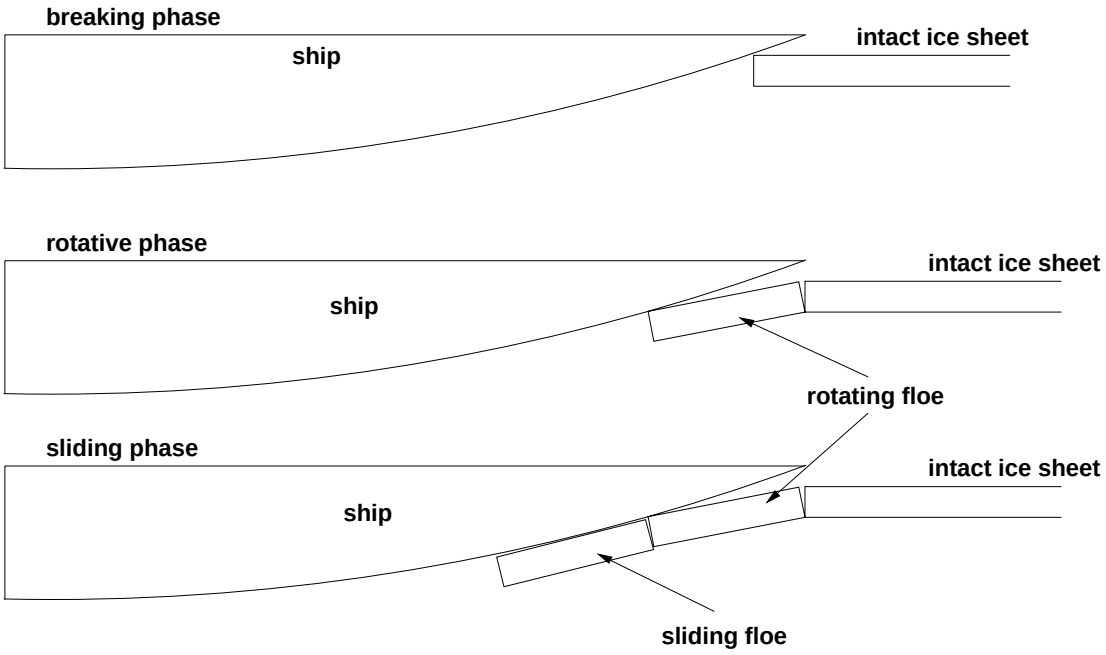


Figure 1. First Three Phases of the Icebreaking Process

Physical modelling.

Model tests were performed at the Hamburg Ship Model Basin (HSVA) to measure

1. The distribution of forces at the hull and
2. The pressure field at the bow during icebreaking.

The force distribution at the hull was measured using segmented models. For this, models with two different typical icebreaking bows were used

1. A Simplified Waas Bow (SWB) and
2. A Cylindrical Bow (CB).

The segmentation for the SWB model is shown Figure 2. The CB model has a similar segmentation.

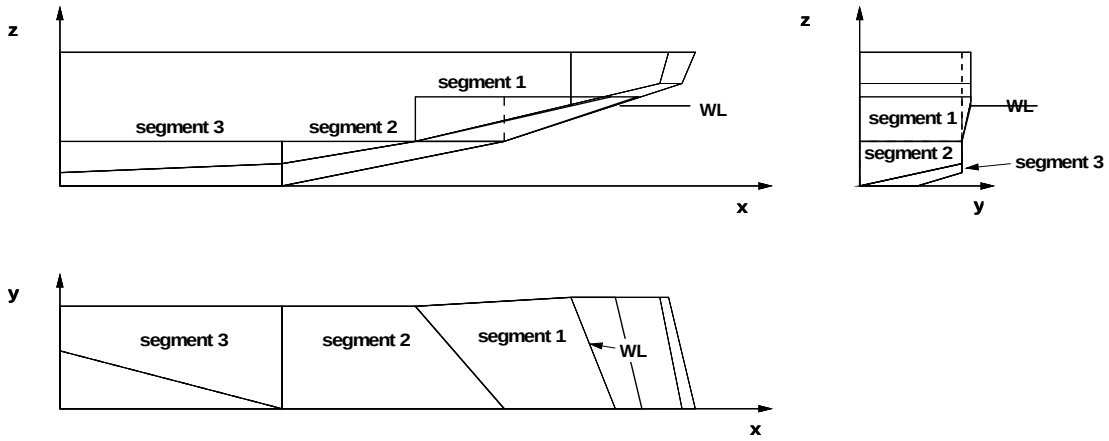


Figure 2. Simplified Waas Bow Model Segmentation

The results of the measurements at Segment 2 of the SWB model are shown in Figure 3 and Figure 4. The figures show the time-averaged values of the force components in x- and z-direction measured at the SWB model for different combinations of speed and ice thickness. The crossing of the regression lines for h=39mm and h=53mm on Segment 2 is due to the scatter of measured data. This scatter is usually large in ice model tests.

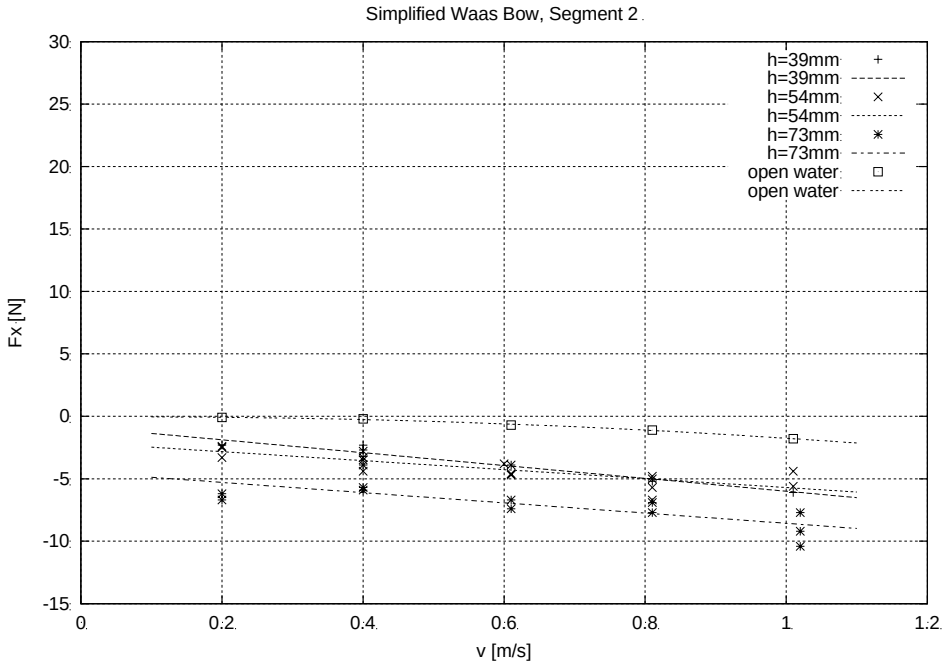


Figure 3. x-Force Measured at Segment 2 at the SWB Model

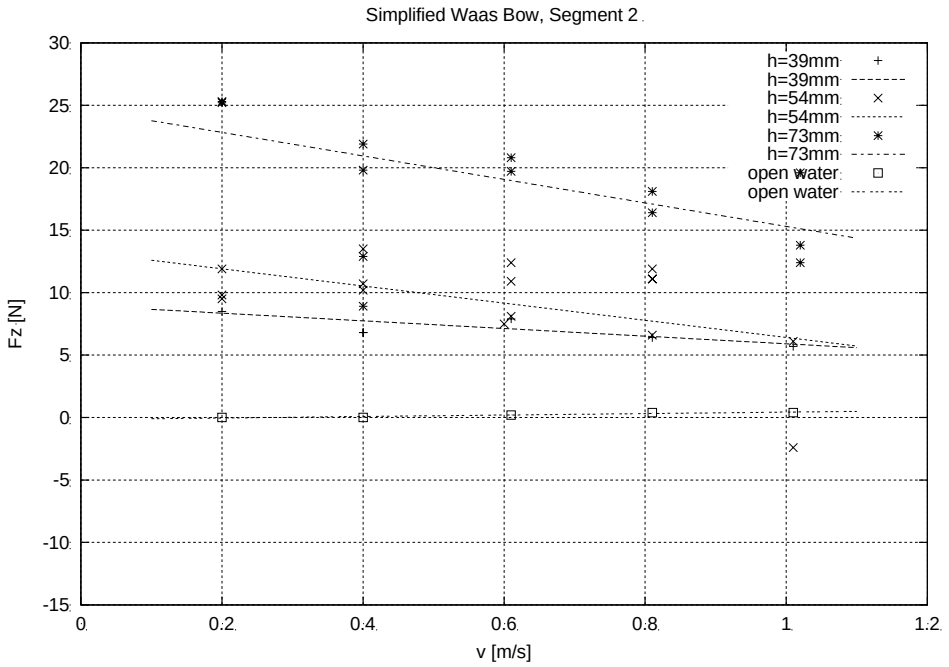


Figure 4. z-Force Measured at Segment 2 at the SWB Model

The measurements show that:

1. The resistance (*i.e.* the negative longitudinal force) at Segment 2 increases by velocity in open water,

2. The resistance increases by increasing ice thickness,

3. The resistance increases by increasing ship speed in ice,

4. The vertical force F_z does not substantially vary by increasing ship speed in open water,

5. The vertical force F_z increases by increasing ice thickness,

6. The vertical force F_z decreases by increasing speed.

These observations are valid for Segments 2 and 3 of both segmented models.

Figure 5 shows an idealised simplified segment with a plane horizontal bottom. The segment is fixed to the model, which advances on level ice to the right hand side. On the left and the right hand side the figure shows the forces acting on the segment at low and high speed respectively. As in the measurements the size of the horizontal force F_x is larger, meanwhile

the size of the vertical force F_z is smaller at higher speeds.

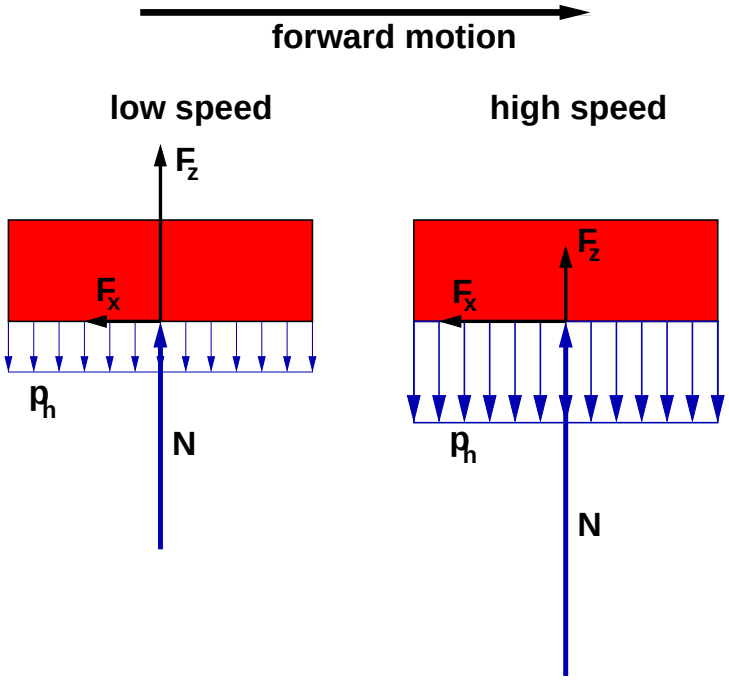


Figure 5. Forces Acting at Segments 2 and 3 of the SWB and CB Models

It is known from various experiments that the dynamic friction coefficient is independent from the ship speed. The normal force N results from the contact force between ice and hull. Because the viscous forces on the segment bottom are negligible, the vertical force can be calculated as follows:

$$N = \frac{F_x}{\mu}$$

where μ is the coefficient of friction (μ=0.1 in the experiments). The measured vertical force F_z results from the sum of the normal contact force N and the force caused by the hydrodynamic pressure field p_{hyd} at the bottom of the segment. Since the coefficient of friction is known and the tangential force varies between 0N and 10N (see Figure 3), the normal contact force N should vary between 0N and 100N (see Figure 4), which is larger than the measured force Fz. Thus, the hydrodynamic pressure field p_{hyd} sucks the segment as shown in Figure 5.

At higher speed the tangential force increases but the vertical force decreases. If $|F_x|$ increases, N must increase accordingly. The reduction of F_z can only be explained by an even lower

hydrodynamic pressure at the segment bottom as shown in the right hand side of Figure 5. Thus, the hydrodynamic pressure decreases by increasing speed.

Further, the pressure at the hull was measured directly using three different techniques during three sets of model tests with three different hulls:

1. A SWB hull,
2. A CB hull and
3. The model of the Multi Purpose Vessel (MPV) Neuwerk.

This article focuses only on the SWB, whereas the other measurements at the CB and the MPV Neuwerk confirm the findings related to the low pressure phenomenon.

The buoyancy coefficient c_b introduced by Puntigliano (2003) is used here to quantify the low pressure phenomenon and is defined as follows:

$$c_b = 1 + \frac{p_{bot} - p_{top}}{(\rho_w - \rho_i)gh}$$

p_{bot} and p_{top} are the hydrodynamic pressure at the top and bottom of the floes respectively, ρ_w and ρ_i are the water and ice density, g is the acceleration of gravity and h is the ice thickness.

The buoyancy coefficient expresses the ratio between:

1. The total force given by the sum of:
    a. Weight,
    b. Buoyancy and
    c. Force due to the dynamic pressure on the floe top and bottom and
2. The force given by the sum of:
    a. Weight and
    b. Buoyancy.

p_{top} is directly measured by the pressure transducers, p_{bot} is approximated and obtained from open water test performed with the same models, ρ_w, ρ_i and h are measured along the experiments.

Figure 6 shows the buoyancy coefficients obtained in the model tests. The largest values of c_b were measured at the bow. The c_b values increase with increasing velocity. But while the

dominant reason for the additional buoyancy of the ice at low velocities is the low pressure phe- nomenon, at higher velocities the high pressure below the floes (similar to the bow wave) is dominant and contributes most to c_b.

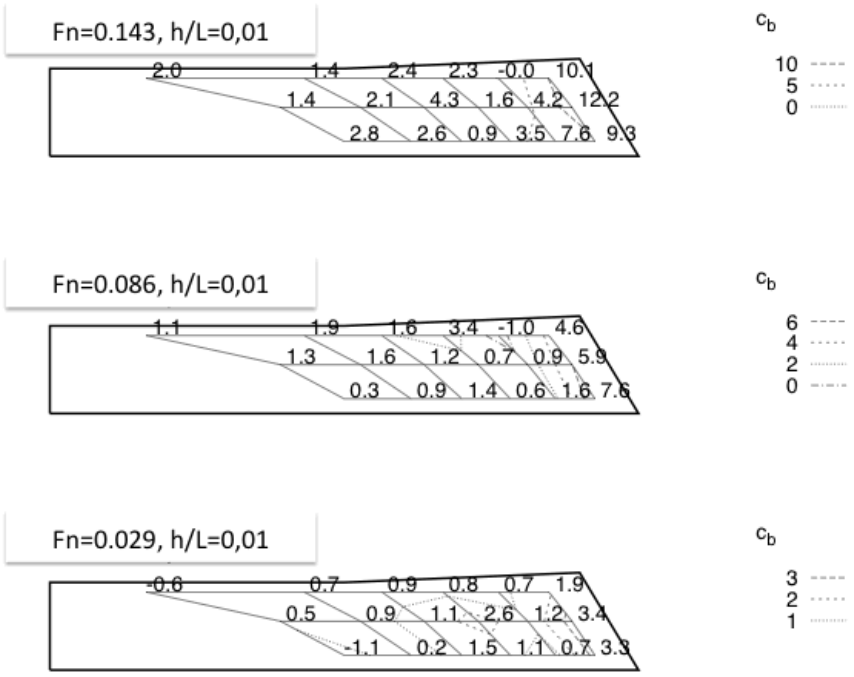


Figure 6. c_b Values Obtained from Model Tests

The model tests demonstrate that the additional force on the floes caused by the proximity of the ship (which presses the floe against the hull) can be until twelve folds the force, which acts on the isolated and submerged floe in the water.

Full-Scale Trials.

Full-scale trials were performed to measure in full-scale the low pressure phenomenon in the Gulf of Bothnia in March 1999 with the support of the Bundeministerium für Wirtschaft und Arbeit (BAW) and the Bundeministerium für Bildung und Forschung (BMBF). These measurements are worldwide unique.

The full-scale trials were performed to find answer to the following questions:

1. Does the low pressure phenomenon exist in full-scale?

2. If the low pressure phenomenon exists:
    a. Is it affected by scale effects?
    b. How does snow influence the phenomenon?

Seven pressure transducers were used and placed as shown in Figure 7:

1. In the forepeak (1 to 4),
2. In the bow-jet room (5 and 6) and
3. In a cofferdam on the port side of the engine room (7).

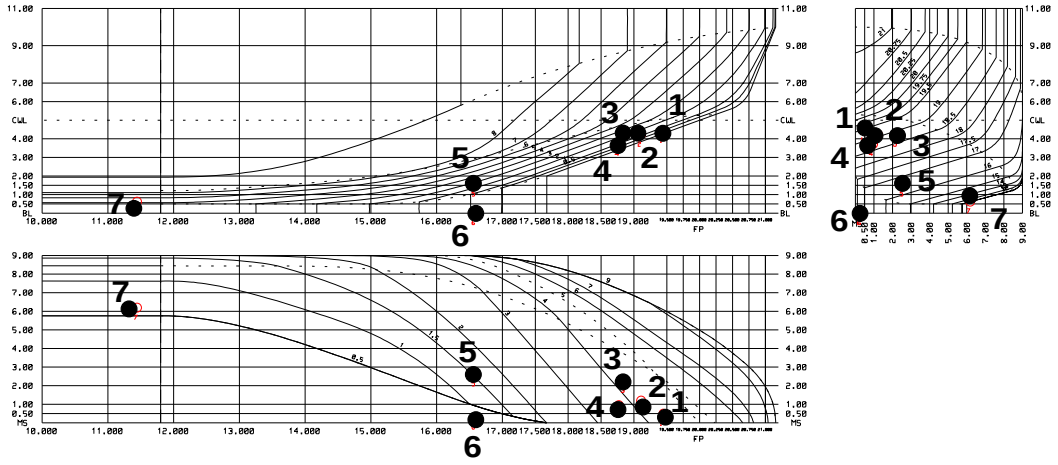


Figure 7. Pressure Transducers fitted on the MPV Neuwerk

Six of the seven transducers (No. 1, 2, 3, 4, 5 and 7) were used to measure the low pressure phenomenon be- tween ice and hull. Pressure Transducer 6 was set below the wedge to verify CFD calculations.

Twenty two runs were performed in level ice in the Gulf of Bothnia. In all cases the ice was covered by snow. The snow influences the low pressure phenomenon by blocking the access of fluid to the top side of the floes.

Figure 8 shows the time history of the first successful measurement of the low pressure phenomenon in full-scale. The measured pressure dropped by about 11kPa (approximately 1.10m water column) when the ship entered level ice. Simultaneously the ship speed dropped to approximately 1.7 kn. Consider the time interval between 4400s and 4475s. Approximate mean values of the pressure and the velocity are -5kPa and 2kn respectively. This would correspond to a pressure coefficient of c_p=-9!

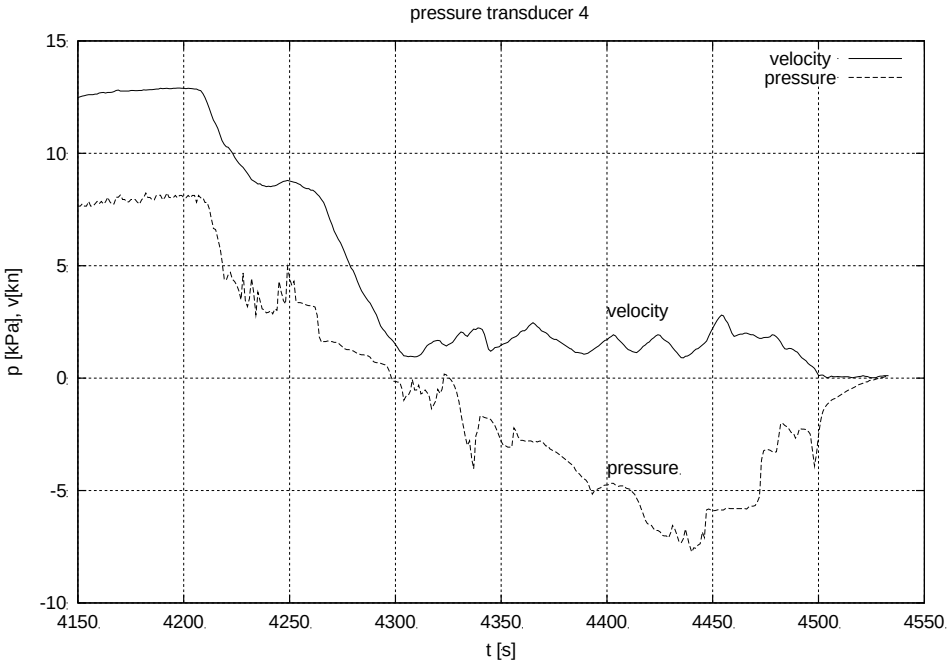


Figure 8. Historical First Time Measurement of the Low Pressure Phenomenon in Full-Scale

The measured data comprise ship speed v, ice thickness h_i, snow thickness h_s and dynamic pressure p. A detailed report of all the full-scale tests with the NPV Neuwerk was published by Puntigliano (2000).

Table 1 shows a representative set of results of buoyancy coefficients obtained from the full-scale trials.

The buoyancy coefficients obtained show impressive values such as 22, i.e. the floes are pushed against the hull with a force, which is 22 times stronger than its natural buoyancy.

The following significant conclusions could be achieved:

1. The existence of the low pressure phenomenon in full-scale could be demonstrated.
2. The order of magnitude of the phenomenon is similar to the one at the model tests.
3. Snow apparently impedes the access of water onto the top of the floe and strengths the phenomenon.

Table 1. c_b Measurements performed with h_i=318mm and h_s=352mm

Fn	c_{b1}	c_{b2}	c_{b3}	c_{b4}	c_{b5}	c_{b7}
0.014	17.5	22.4	16.9	15.9	3.1	2.4
0.027	13.3	20.9	15.3	15.0	3.7	2.3
0.042	3.1	10.4	8.3	9.5	5.5	2.7
0.087	11.4	10.1	6.9	13.6	11.3	3.1
0.132	12.8	13.5	8.7	18.8	6.0	2.2
0.147	17.0	18.3	14.0	21.1	11.9	2.5

Mathematical Modelling.

Following geometrical and kinematical assumptions are done:

1. The ship advances in level ice with constant forward velocity.
2. Each floe is defined by a prism with a parallelogram as base (see Figure 9).
    a. The height of the prism is the ice thickness,
    b. The length of the prism base (the floe length) depends mainly on the ship velocity and the ice thickness and is known,
    c. The width of the base of the prism depends mainly on the bow geometry and is known.
3. The oblique edge of the top side (a parallelogram) of the prism is tangent to the hull surface at the water line when the breaking phase starts (see Figure 9).
4. The floe motion during the rotative phase is known. It can be either given as an input or can be calculated based on different schemes for the rotative phase.

The prediction of motion of the ice floes sliding along the hull is done by using a combination of:

1. The Equations (of Variation) of Linear and Angular Momentum with
2. The Impulsive Equations of Linear and Angular Momentum.

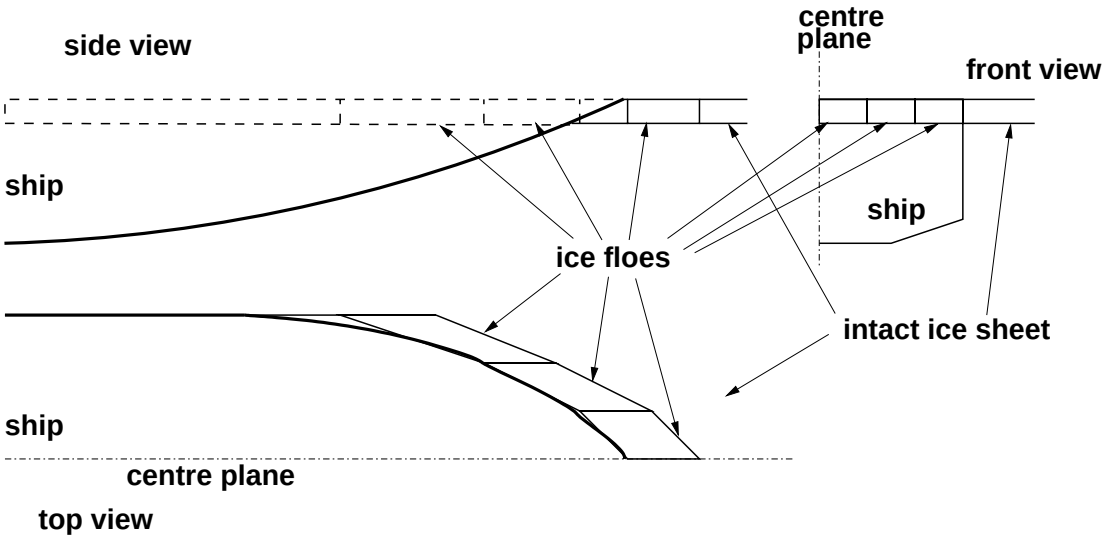


Figure 9 Idealised Position of the Floes when the Breaking Phase ends and the Rotative Phase starts

The main advantage of the method presented here is the short computational time required to solve the collision process. The application of the Impulsive Equations of Linear and Angular Momentum allows the calculation of the state of velocities of the floe after the collisions at a time point (not within a time interval).

All considered bodies are divided into two groups:

1. Bodies with a predefined motion, called undisturbed bodies:
    a. The ship,
    b. The intact ice sheet,
    c. The floes during the rotative phase.
2. Bodies, the motion of which, is the result of the forces and impulses acting on them:
    a. All other floes. These are called free floes.

The free floes do not slide all the time. They are free to leave the hull and to enter into contact with it again. Floes leaving the hull and moving beneath the intact ice sheet on the ship side are also called free floes.

The developed technique calculates the floe motion in time domain. The procedure is the following (see Figure 10):

1. Calculation of the sudden change of the velocities of the free floes: It results from the

application of the Impulsive Equations of Linear and Angular Momentum at the beginning of each time step. This implies the detection of intersections (contacts) between floes where impulse exchange can take place, and the calculation of the exchanged impulses. The result is the new set of velocities of all free floes at the beginning of the next time step.

2. Calculation of the floe motion within a time step: It results from the application of the Equations of Linear and Angular Momentum used to determine the linear and angular acceleration. These are integrated twice in time to determine the motion of all floes. Possible contacts between the floes are ignored during the time step. The results are the new position and orientation as well as the linear and angular velocities of all free floes at the end of the time step.

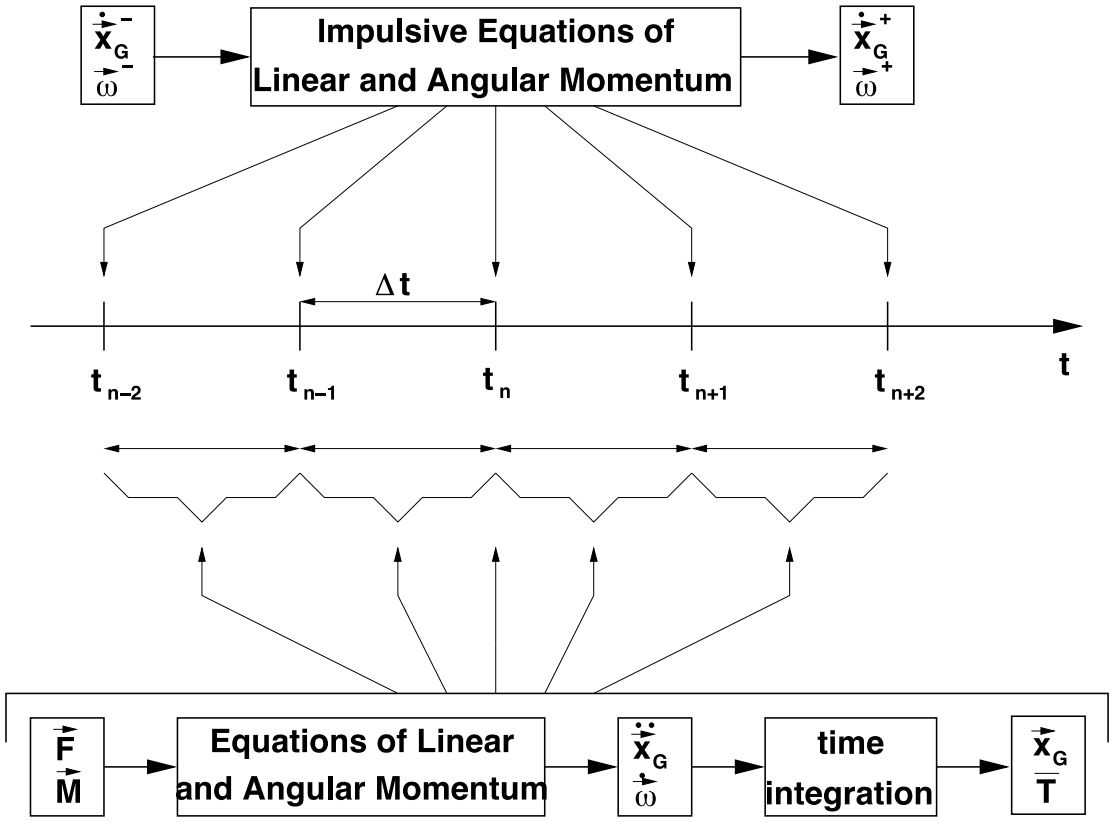


Figure 10. Technique used to Predict Floe Motion along the Hull

The application of the Impulsive Equations of Linear and Angular Momentum requires especial attention of friction (see Puntigliano, 2003) and hydrodynamic impacts (see Lamb, 1932 and Puntigliano, 1999).

The forces considered in the Equations of Linear and Angular Momentum are:

1. If there is a contact with the hull,
    a. The normal contact force and
    b. The frictional force (Coulomb),
2. The hydrodynamic force which includes all hydrodynamic effects except the low pressure phenomenon,
3. The buoyancy force including the low pressure phenomenon and
4. The weight.

The hydrodynamic forces include added mass effects in restricted waters impacted also by the relative motion of the neighbouring bodies and drag effects.

Numerical modelling.

Efforts were focused in analysing the influence of various parameter on the floes trajectories. These are:

1. Ship speed,
2. Ice thickness,
3. Ship geometry and
4. Ice density.

The predictions were compared with experimental data.

Figure 11 shows the influence of ice thickness and ship speed on the floes trajectory predicted for a SWB. It results from the simulations that while ice thickness does not have a significant influence on the floes trajectory, ship speed does clearly influence the trajectories and consequently the clearing ability of the vessel.

Floes trajectories were compared for a SWB and a CB model, both with the same main dimensions, i.e. length, beam, draught. The comparison was focused on:

1. Mean trajectories of the floes,
2. Clearing ability and
3. Amount of ice drifting into the propeller domain.

The Clearing Ability Factor f_{ca} and the Propeller Ice Interaction Factor f_{pii} were defined by Puntigliano (2003).

Comparisons of the floes trajectories for a SWB and CB are shown in Figure 12. It clearly results that SWB has the better Clearing Ability and the less Propeller-Ice Interaction. In the figure the Length, Breadth and Draft of the models are 5m, 1m and 0,35 m respectively (z=0,35m represents the waterline).

Table 2. Clearing Ability and Propeller-Ice Interaction of SWB and CB

model	SWB	CB
f_{ca}	98%	80%
f_{pii}	1%	4%

Jones, Abdelnour, Hardiman and Ritch (1990) performed model tests at IMD to study the effect of density on the floe trajectories. The tests were performed with a 1:20 scale model of the R-Class icebreaker (IB Franklin). The used densities are ρ_i=800kg/m^3, ρ_i=840kg/m^3 and ρ_i=920kg/m^3. These three cases have been simulated.

Figure 13 shows a comparison between the measured (continuous) and predicted (dashed lines) trajectories of the floes. The prediction shows good agreement with the experiments.

CONCLUSIONS.

On the resistance components below the waterline.

All tests preformed with segmented models showed that the, so called, Sliding Resistance, i.e. the resistance caused during the Sliding Phase varies between 35% and 65%. This is in franc contradiction with the original understanding of the icebreaking process from Runneberg (1988) to Enkvist (1972). They assumed that 90% of the icebreaking resistance was concentrated at the waterline. The percentage of sliding resistance increases by increasing speed and decreases by increasing thickness.

Modern icebreaking design should consider the recently acquired knowledge of forces distribution at the hull. This aspect should be essential when optimising and dimensioning of the propulsion system.

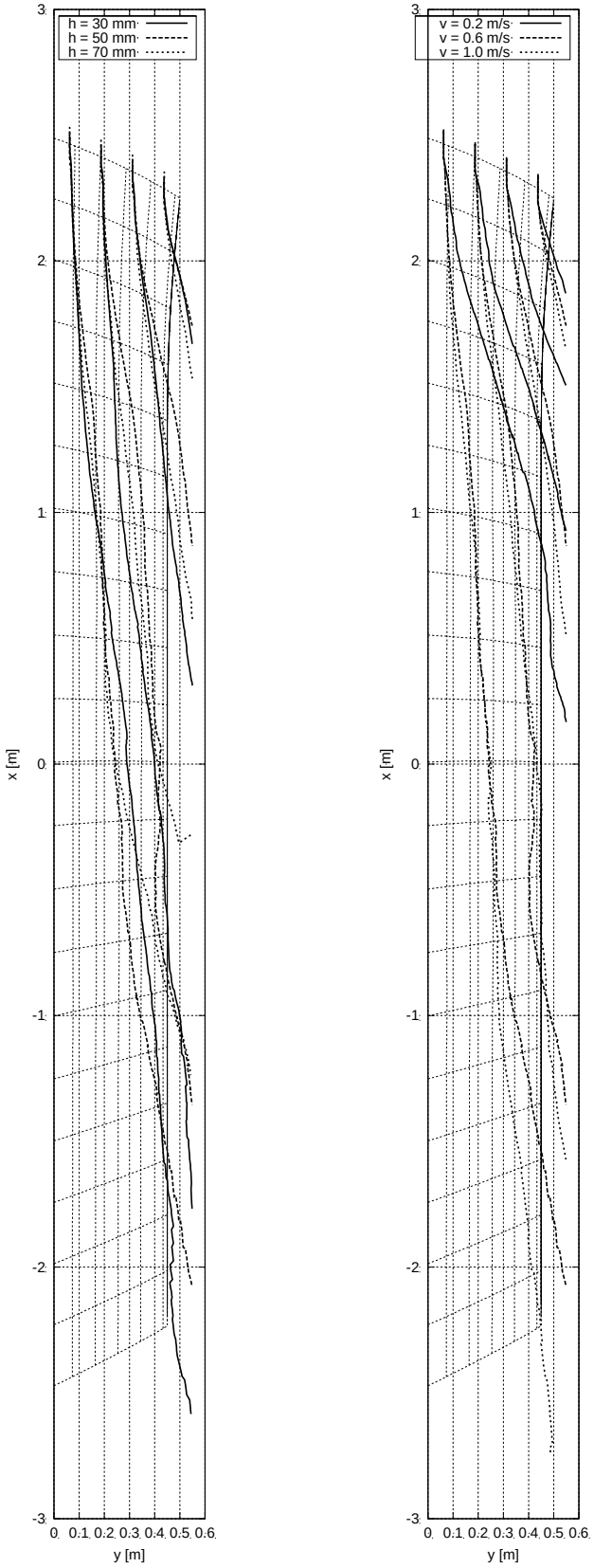


Figure 11. Influence of Ice Thickness and Ship Speed on the Floes Trajectories according to Numerical Predictions (Model Scale 1:20)

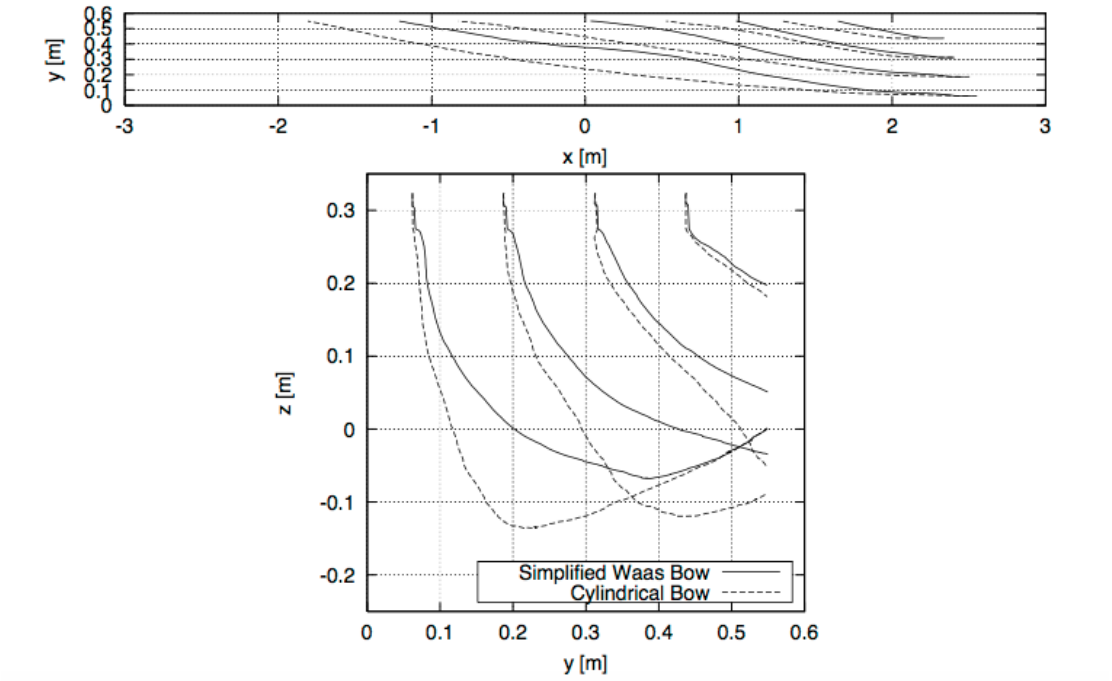


Figure 12. Comparison of Floe Trajectories for a SWB and a CB model with identical Main Dimensions

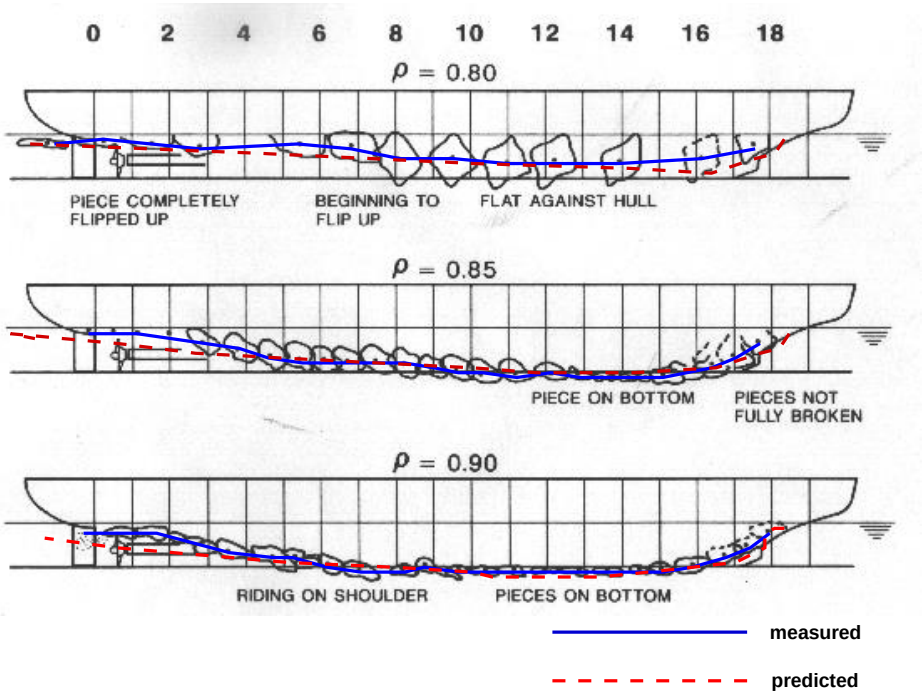


Figure 13. Comparisson between Measured and Predicted Floe Trajectories

On the low pressure phenomenon.

The phenomenon was first indirectly deducted from experimental data, described and published by Kämäräinen (1993). In 1993, simultaneously with Kämäräinen publication model tests were performed and reported by Puntigliano (1995). He achieved to measure for the first time the phenomenon. The idea of measuring such a phenomenon was suggested by Valanto to Puntigliano. Valanto and Lindqvist attempted to observe through a built-in window on a model the decrease of the water level between ice and hull (Valanto, 1993). Puntigliano also achieved to demonstrate the existence of the phenomenon in full-scale (Puntigliano, 2000). Scale effects were presumed, but the full-scale tests demonstrated that the phenomenon is unexpectedly stronger in full-scale than in model tests. Puntigliano provided all details of model and full-scale tests to Kämäräinen, who developed a detail theory for the low pressure phenomenon (Kämäräinen, 2007).

From the industrial point of view, several shipyards developed inventions to “reduce friction”, like small perpendicular water-jets at the bow (Thyssen and others). In fact the real effect of these devices is the reduction of the low pressure phenomenon. Even if the low pressure phenomenon can explain today why at high speed ships have such an unexpected high resistance, there is no industrial conscience of the phenomenon.

On the prediction of the floe motion

A model to predict the motion of the floes sliding along the hull has been developed. The theory is based on a combination of:

1. The Equations of Sudden Variation of Linear and Angular Momentum and
2. The Equations of Continuous Variation of Linear and Angular Momentum.

While all contact problems between the floes are solved by means of the Equations of Sudden Variation of Momentum, the continuous motion in the time between the collisions is solved using the Equations of Continuous Variation of Momentum.

Special efforts have been focused on hydrodynamic problems. The floes are surrounded by neighbouring floes and move near the ship’s hull. In this environment the hydrodynamic forces acting on the floe are very much larger than in the case of an single submerged body. The following hydrodynamic forces required special attention:

1. Added mass forces: The added mass of the floe depends on the distance to the neighbouring floes and on the distance to the hull. The value of the added mass is calculated in the model in every time step.
2. Forces caused by the time variation of the added mass: These forces are calculated in every time step based on the previous values of the added mass.
3. Drag forces in restricted domain: The drag forces on the floe when the floe moves perpendicularly to the hull can be very high (tracking during simulations showed values 40 times larger than drag forces in unrestricted domain).
4. The force caused by the low pressure phenomenon using an empirical formula.

   The technique presented in this work is robust. Calculations have been done with five different hulls (three of them presented in this work), various usual ice thicknesses and ship speeds without any type of restrictions. The influence of the most relevant parameters on the trajectories is correctly simulated by the numerical model. Comparisons with model tests to predict floe motion show that the ability to predict trajectories of floes at the forebody is very good (see Figure 14). While the prediction of the floe motion in the afterbody is satisfactory for ships provided with Waas bows and Cylindrical bows, the simulations done for an R-Class icebreaker show an underestimation of the amount of ice drifting into the propeller domain.

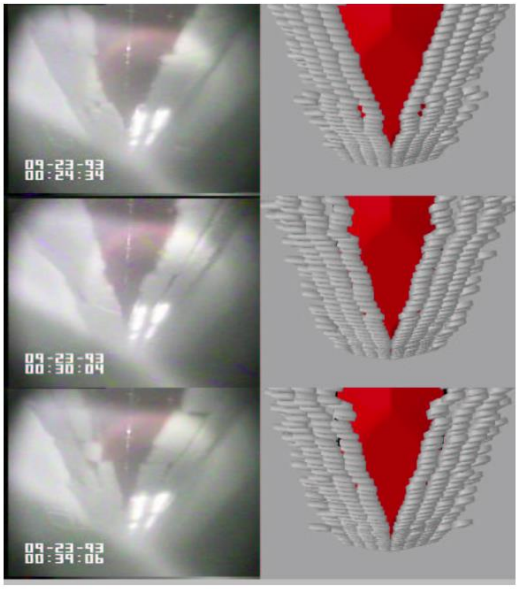


Figure 14. Comparison between Model Tests and Numerical Simulations for a SWB

The actual new demand on ice technology studies led to new funding in research.

The improvement on development of Discrete Element Methods (DEM) allows new approaches on this type of numerical models.

REFERENCES

Enkvist, E., 1972, On the Resistance Encountered by Ships Operating in the Continuous Mode of Icebreaking. *The Swedish Academy of Engineering Sciences in Finland, Helsinki, Report No. 24, pp. 181, Finland.*

Jones, S.J., Abdelnour, R., Hardiman, K.C., and Ritch, R., The Effect of Density on the Trajectory of Ice Pieces around a Ship's Hull. *IAHR 90, Proceedings of the Tenth International Symposium on Ice*, 1990, Espoo, Finland.

Kämäräinen, J., On the Ship Speed Dependence of the Ice Submerging Resistance of Ship Ice Resistance in Level Ice. *HUT, Computational Dynamics Report No. 38, ISBN 951-22-1595-0, pp. 21*, 1993, Helsinki, Finland.

Kämäräinen, J., Theoretical Investigation on the Effect of Fluid Flow Between the Hull of a Ship and Ice Floes on Ice Resistance in Level Ice, Department of Mechanical Engineering, ISBN 978-951-228861-8, Helsinki, Finland.

Puntigliano, F., On the Resistance Components Below the Waterline in the Continuous Mode of Icebreaking. *HSVA Report No. E253/95 - 3 Volumes*, 1995, Hamburg, Germany.

Puntigliano, F. 1999 Theory of Hydrodynamic Impacts Applied on Time Domain Ice Floe Motion Sim- ulations. *Proceedings of the HYDRALAB-Workshop on Experimental Research and Synergy Effects with Mathematical Models, ISBN-3-00-004942-8, p. 129-138.* Hannover, Germany.

Puntigliano, F., Performance of the MPV Neuwerk, Part B: On the Low Pressure Phenomenon between Ice and Hull - Full-Scale Trials, Physical and Mathematical Modelling. *HSVA Report 1640 Part B, pp. 77*, 2000, Hamburg, Germany.

Puntigliano, F., Experimental and Numerical Research on the Interaction Between Ice Floes and a Ship's Hull During Icebreaking. *Schriftenreihe Schiffbau TU Hamburg-Harburg, Bericht 622, pp. 89, ISBN 3-89220-622-8*, 2003, Hamburg, Ger- many.

Runeberg, R., Steamers for Winter Navigation and Icebreaking. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 97, Session 1888- 1889, p.227-301.*

Valanto, P., Personal Communication at HSVA. 1993, Hamburg, Germany.

THE DEVELOPING HULL FORM FOR THE INTERMEDIATE-FROUDE RANGE OF SPEEDS

Dr. Peter van Oossanen
Van Oossanen Naval Architects, Wageningen, The Netherlands
(p.vanoossanen@oossanen.nl)

SUMMARY.

This paper traces the development of hull forms required to operate in the speed range between that in which all vessels are dependent on buoyancy for their sustention, and the speed range in which hulls are able to plane - when given the necessary geometrical characteristics to do so. This is the domain of the intermediate-Froude range of speeds in which hull forms may either utilize the possibility afforded by sufficient speed to develop meaningful lift, by which at least part of the weight of the vessel may be balanced or, alternatively, to not utilize this lift and to keep the hull immersed and at even keel. The geometry of the different hull forms, their performance in terms of resistance, an their specific problems, are addressed.

1. INTRODUCTION.

The design of hull forms for operation in the speed range between that in which all vessels are dependent on buoyancy for their sustention, and the speed range in which hulls are able to plane, is today one of the remaining difficulties in naval architecture. Although most naval architects involved in the design of boats, yachts and ships that operate at the subject speeds will have developed an understanding, if not a methodology, for making the required choices, it is for many by no means clear, for example, when to adopt a round-bilge form and when to adopt a hard-chine form. Existing books and papers on this subject offer little in the way of design guidance and sometimes the recommendations that are given on the best hull for a particular application and speed are misleading, advocating a particular form of hull when it can be shown that another type of hull is clearly superior. Having had the benefit of some 40 years of experience in the design of various types of boats, yachts and ships for the subject speed regime, the author has in this paper traced the development of hull forms that are

adopted for speeds that are (inappropriately) termed semi-displacement or semi-planing speeds, providing resistance data on each of the class of hulls that can be discerned. A review of this topic must necessarily include the control of running trim since the subject hull forms are prone to display unwanted behaviour otherwise and this topic is addressed in detail.

2. DEFINITION OF THE INTERMEDIATE-FROUDE RANGE OF SPEEDS.

The speed regime of interest is best defined by means of specific values for the Froude number, defined as:

$$Fr = \frac{V_S}{\sqrt{gL_{WL}}} \qquad (1)$$

in which: Fr = Froude number;

V_S = Ship speed (m/s);

g = Acceleration due to gravity (9.81 m/s^2);

L_{WL} = Length of the hull on the waterline (m).

Up to speeds corresponding with a Froude number of about 0.4 traditional hull forms, including those adopted for sailing craft, are unable to develop significant amounts of lift. This is also true of any horizontal-oriented foil for the purpose of developing a vertical force to support a meaningful part of the weight of the craft – when the sizing of such a foil is based on attaining a high lift-to-drag ratio. In this speed regime hull forms rely on buoyancy for their sustention. The speeds in this regime are therefore aptly referred to as displacement speeds – thereby referring to the fact that the buoyancy provided by the displaced volume of the hull supports the weight of the craft. As speed increases past this Froude number, the lift the hull is able to develop becomes more significant in the case of hull forms that adopt some measure of bow-up trim and possess a relatively flat bottom, with little transverse and longitudinal curvature. On such hulls the lift attains a level such that only some 40 to 50% of the weight of the craft is supported by buoyancy at a Froude number of 1.0, and only some 10% at a Froude number of 1.8. The speed regime in excess of a Froude number of 1.0 is that in which the planing phenomenon takes precedence over that of buoyancy – for hulls suitably

designed so as to enhance the development of lift. The corresponding speeds are referred to as planing speeds and the associated hulls as planing hulls.

The three speed regimes that are specified on setting the Froude numbers of 0.4 and 1.0 as, respectively, the speed limit at which all hulls are in displacement mode and the speed at which the planing regime commences, in the case of hulls suitably designed, are defined in Figure 1. We will refer to the speeds between these two Froude numbers as "intermediate-Froude" speeds, and the collective set of different types of hulls designed to specifically operate in this range of speeds as "intermediate-Froude hulls. Naval architects often refer to the subject hull forms as "semi-displacement" or "semi-planing". This is technically incorrect since we thereby do not recognize those hull forms that are specifically designed to not develop lift in this range of speeds, which are nearly entirely dependent on buoyancy for their sustention and which, because of their other properties, are as efficient and in some cases more efficient than their semi-displacement or semi-planing counterparts.

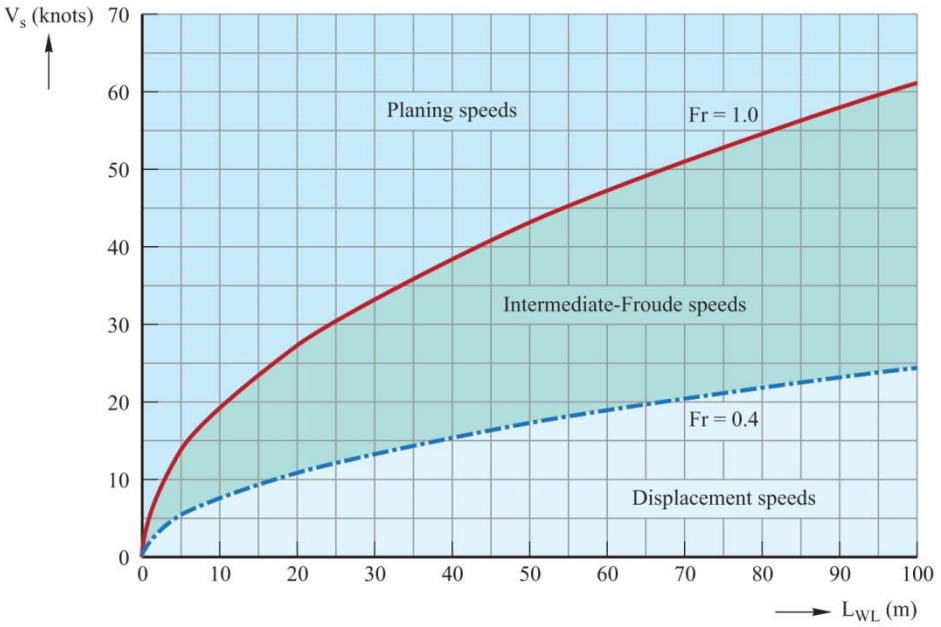


Figure 1: Definition of the three speed regimes in which boats, yachts and ships operate in terms of Froude number. The intermediate-Froude range of speeds is that between a Froude number of 0.4 and 1.0, which comprises nearly all of the main hump of the wave resistance curve

3. THE SPECIAL CIRCUMSTANCES OF THE INTERMEDIATE-FROUDE SPEED RANGE.

The intermediate-Froude range of speeds comprises nearly all of the main hump of the wave resistance curve. This hump extends approximately from a Froude number of 0.37 to between 0.9 and 1.1. Its centre, defined as the Froude number at which the additional resistance associated with the hump is maximum, occurs at a Froude number of around 0.52 (particularly in the case of sailing yachts), but for some classes of hulls it actually occurs at a Froude number as high as 0.57. The increase in wave resistance associated with this hump is largely attributable to the bow-up trim adopted by the hull when the transverse wave crest present at the stern at a Froude number of 0.4 moves aft with increasing speed. The hull then begins to "climb" its own bow wave. The additional resistance incurred thereby can be considered to be the result of the fact that the force of buoyancy no longer acts vertically upwards but perpendicular to the slope of the free surface in way of the hull. The horizontal component thereof, referred to as horizontal buoyancy, constitutes additional resistance. Alternatively, when analysing the main hump from the point of view of pressure resistance, the additional resistance incurred can be traced back to the change in the angle between the orientation of the pressure force on the hull, acting normal to the free surface, and the horizontal.

The increase in resistance incurred between a Froude number of 0.40 and 0.55 varies strongly with the degree of slenderness of the hull. The concept of slenderness is well represented by the length-displacement ratio $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ in which ∇ is the volume of the hull. It is a non-dimensional measure of the amount of volume distributed over the length of the design waterline. It was first used for this purpose by R. E. Froude. For a value of the length-displacement ratio of $\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}} = 7.75$, the residual resistance of a typical round-bilge hull, as a fraction of the weight of displaced water, increases from about 0.013 at $Fr = 0.40$ to about 0.033 at $Fr = 0.55$ while, when $\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}} = 5.50$, this fraction increases from about 0.018 to about 0.075 for the same two Froude numbers. Residual resistance is the resistance remaining after subtraction of the friction resistance. It is thus not surprising that naval architects experimenting with mechanical propulsion in the 2nd half of the 19th century, not aware of the intricacies of designing for this speed range, experienced this significant increase in resistance as a physical barrier. It would need the development of the slender hull in combination with

the application of the screw propeller and the marinized reciprocating steam engine by Thornycroft in 1863, to set the scene for Sir Charles Parsons and his application of the steam turbine to achieve the convincing display of speed of 34.5 knots with his 32 m "Turbinia" in 1897, fitted with 3 propellers on each of 3 shafts, and some 1600 kW of total propulsion power. It was only then that it was broadly acknowledged that high ship speeds can be reached, albeit at the cost of considerable additional power

At speeds beyond a Froude number of 0.60, up to the end of the main hump, the increase in resistance - by comparison - is moderate. It is this speed range, in the case of mechanically-driven boats and ships, that offers some compensation for having to install the necessary power to overcome the sharp increase in resistance between the Froude numbers of 0.40 and 0.55. The issue of what speed and what corresponding propulsion power to adopt for a new design is one in which consideration needs to be given to the possibility of avoiding the range in Froude number between 0.45 and 0.55 as the maximum speed to attain and, instead, to either select a speed below 0.45 or above 0.55. In the case of particular high values of the length-displacement ratio (above 7.5) this is less of a problem. For sailing craft such considerations are unimportant except perhaps in the sense that when wanting to achieve the speed performance requiring operation in the intermediate-Froude speed range it is of vital importance to ensure that weight is reduced to an all-out minimum, and to consider restricting heel by means other than by lead ballast.

4. THE GABRIELLI-VON KÁRMÁN TRANSPORT FACTOR.

The significance of the steep resistance curve for the speed-power performance of mechanically-driven boats and ships when the Froude number exceeds 0.40 comes to the fore when plotting the non-dimensional Gabrielli-von Kármán Transport Factor for different modes of vehicle transport. This factor is defined as:

$$\mathrm{GvK} = \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{WV}} = \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{g}\Delta\mathrm{V}} \qquad (2)$$

in which: P = Propulsion power (kW);

W = Weight (kN);

g = Acceleration due to gravity (m/s^2);

Δ = Mass (tonne);

V = Maximum speed (m/s).

This factor is often used to compare the merits, in terms of the required power to transport one unit of weight at maximum speed, of different modes of transport, or different versions of a particular mode of transport. In plotting all types of marine-, terrestrial- and aerial vehicles Gabrielli-and von Kármán (1950) found that on a logarithmic scale the most efficient vehicles in terms of requiring the least power lie approximately on a straight line. This line has since become known as the Gabrielli - von Kármán Limit Line of Vehicle Performance. The original plot, on a base of speed in m/s, is reproduced in Figure 2.

Since 1950 various modes of transport have become more efficient requiring an update of the Gabrielli-von Kármán plot. Different updates have been presented in recent years revealing that the original limit line needs adjustment for very large merchant ships. The most useful of these updates with respect to marine vehicle performance is that by Neu (2013). His data has been reproduced in Figure 3. The update data herein are given as singular points while the continuous curves are those of the original plot. The data added by Neu for VLCC's and ULCC's (Very Large Crude Carriers and Ultra Large Crude carriers, respectively), and for a host of miscellaneous ships and advanced marine vehicles such as SWATH and SES, uncovers the fact that the limit line for marine vehicles differs to that of other vehicles. Whereas the curve for merchant ships in the original diagram seemed to suggest that this was not so, this new data provides proof that water, as the resisting medium to forward speed, causes a much steeper increase in required power with an increase in speed, per unit of vehicle weight, than that of air – the resisting medium in the case of all other vehicular modes of transport (on discounting the friction between the wheels and the road, or rails, in the case of terrestrial vehicles). It is fair to conclude that the slope of a limit line in the Gabrielli-von Kármán diagram is a function of the density of the resisting medium such that this line is horizontal when the density is zero, and steeper for vehicle transport in water than in air.

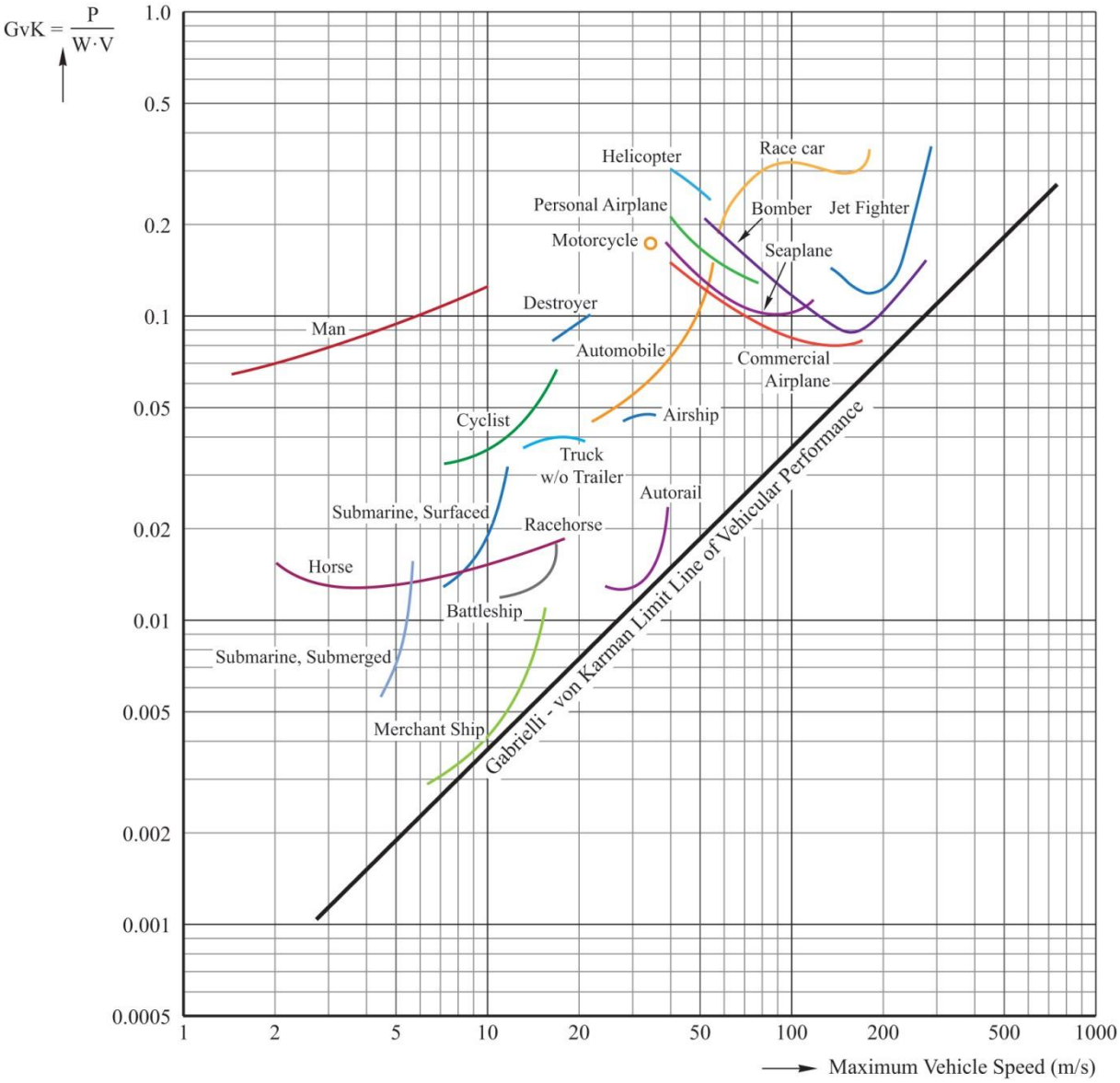


Figure 2: In 1950 Gabrielli and von Kármán presented a diagram in which the required power to transport one unit of weight at maximum speed of different modes of transport is plotted on a logarithmic scale, revealing that the data for the modes of transport requiring minimum power approximately lie on a straight line – which line has since become known as the Gabrielli - von Kármán Limit Line of Vehicular Performance. This diagram is here reproduced adopting the non-dimensional value of the Gabrielli - von Kármán Transport Factor (GvK), equal to the required propulsion power P (kW) divided by the product of vehicle weight (kN) and speed (m/s)

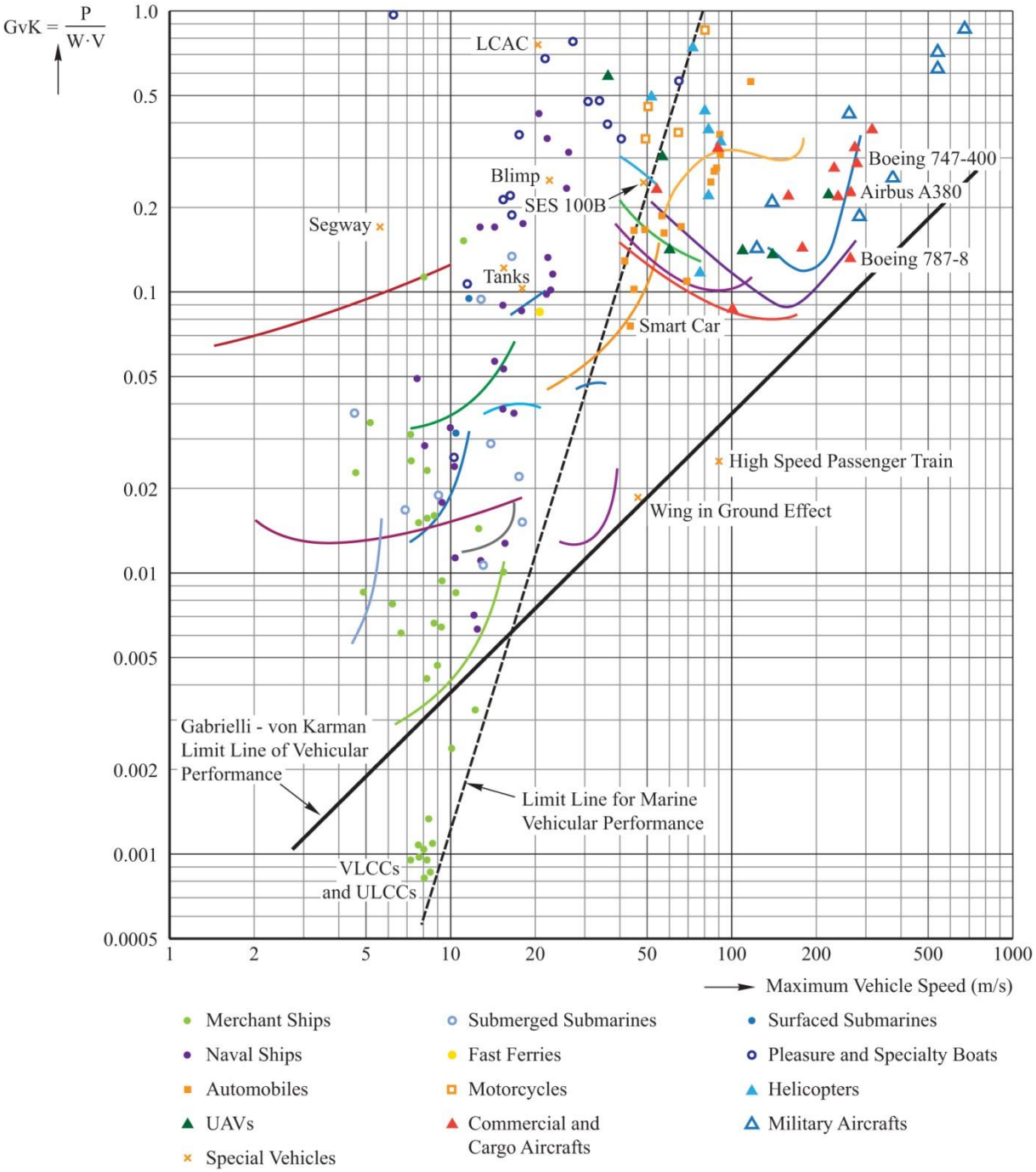


Figure 3: Updated Gabrielli and von Kármán diagram adapted from the recent data provided by Neu (2013) from which it has become apparent that the limit line for marine vehicle performance does not follow the original Limit Line of Vehicle Performance. The singular points in this diagram are those presented by Neu, for the most part comprising data for VLCC's and ULCC's (Very Large Crude Carriers and Ultra Large Crude carriers, respectively), and for a host of miscellaneous ships and advanced marine vehicles such as SWATH and SES.

5. THE TELFER CTL FACTOR.

A more specific non-dimensional representation of the merit of different hull forms - and of marine vehicle performance in general, is the non-dimensional CTL factor, proposed by Telfer (1963). His merit coefficient is based on resistance instead of on propulsion power and is defined by:

$$C_{TL} = \frac{R_T L_{WL}}{\Delta {V_S}^2} \tag{3}$$

in which: R_T = Total resistance (kN);

L_{WL} = Length on waterline (m);

Δ = Mass of vessel (tonne);

V_S = Ship speed (m/s).

When the value of C_{TL} is plotted against Froude number the significance of the main hump in the resistance curve is clearly displayed. This is shown in Figure 4 in which the value of C_{TL} is plotted to a base of Fr for some 50 round bilge hulls with a length-displacement ratio $\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}}$ between 5.0 and 6.0. The subject resistance values are all derived from model tests and scaled up to a length on the waterline of 50 m, using the ITTC 1957 friction resistance formulation. No allowance has been made for roughness of the hull surface so that the resulting value of the resistance is in effect that of "models" with a length of 50 m with a perfectly smooth surface. In this extrapolation of friction resistance, the form factor has been set to zero in accordance with the finding by the author that when the true wetted area of the hull is accounted for the friction resistance of the model, in absence of flow separation, is modelled by that of the flat plate alone with reasonable accuracy. This procedure has been adopted in the derivation of all CTL curves in this paper.

The tangent curve to a large collection of CTL curves for a particular set of geometric hull parameters (such as a specific interval in the length-displacement ratio) defines an attainable level of total resistance per unit of weight as a function of speed for a particular length of hull, for that set of geometric parameters. The tangent curve as defined from Figure 4 is the curve for $L_{WL} = 50$ m in Figure 5. All further CTL plots presented in this paper represent such

tangent curves and are directly comparable. Representations only involving the residual or pressure resistance, while possessing the advantage of being independent of length, and thus independent of scale, do not allow for the identification of attainable levels of total resistance.

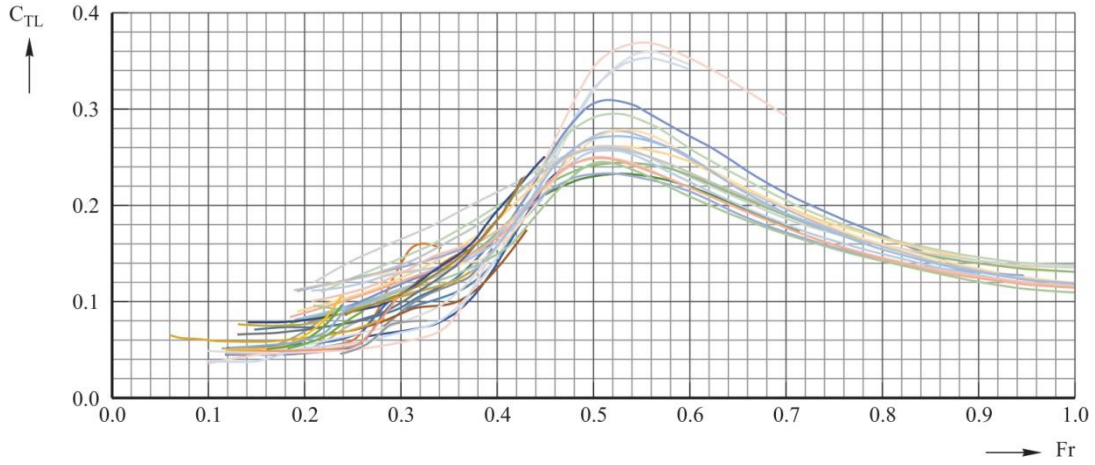


Figure 4: The impact of the main hump on the resistance curve comes to the fore when plotting the non-dimensional Telfer CTL Factor against Froude number, as is done here for some 50 different round bilge hulls with a length-displacement ratio between 5.0 and 6.0, for a hull length (on the waterline) of 50 m. The tangent curve to the lowest curves herein defines an attainable level of total resistance per unit of weight as a function of speed for a particular length of hull, for hulls within the range of the considered geometric parameters

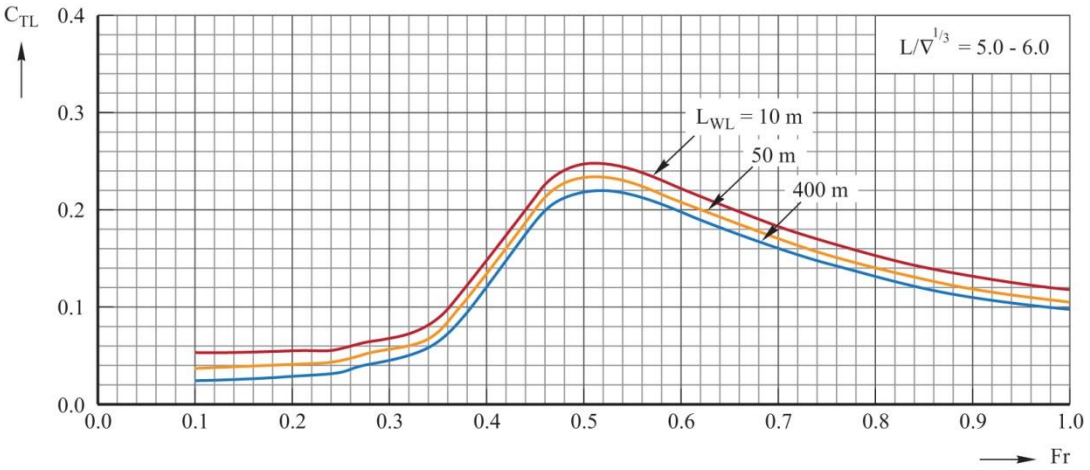


Figure 5: The tangent curves to the collection of individual CTL curves such as displayed in Figure 4, for hull lengths of 10 m, 50 m, and 400 m, are shown here revealing the effect of the decrease in specific friction resistance with increasing length

The value of C_{TL} is appreciably affected by hull length due to the decreasing influence of fluid viscosity on resistance with increasing Reynolds number – i.e. with increasing length. The decrease in specific friction resistance with increasing length of the hull, leads to a reduction in C_{TL} with increasing length. This influence on the tangent curve can be deduced from the plots shown in Figure 5, in which the attainable level of C_{TL} is shown for hull lengths of 10 m, 50 m and 400 m.

The value of C_{TL} associated with friction resistance alone, is defined as:

$$C_{TL_{(F)}} = \frac{R_F L_{WL}}{\Delta {V_S}^2} \quad (4)$$

The friction resistance R_F can be expressed in terms of the friction resistance of an equivalent flat plate, with a length equal to the length of the submerged hull, and an area equal to the wetted area of the hull, expressed as:

$$R_F = \tfrac{1}{2}\rho {V_S}^2 C_{R_{F_0}} A_W \quad (5)$$

in which: $C_{R_{F_0}}$ = Friction resistance coefficient of a flat plate with length L_{WL};

A_W = Wetted surface area.

The friction resistance coefficient, according to the ITTC 1957 formulation, is:

$$C_{R_{F_0}} = \frac{0.075}{[\log(Re) - 2]^2} \quad (6)$$

In which Re is the Reynolds number, defined by:

$$Re = \frac{V_S\, L_{WL}}{\nu} \quad (7)$$

with: ν = Kinematic viscosity (1.1892×10^{-6} m^2/sec for sea water at 15°C with a salinity of 35 g/kg).

The wetted area can be expressed as:

$$A_W = C_{A_W} \sqrt{\nabla\, L_{WL}} \quad (8)$$

in which: C_{A_W} = Coefficient depending on the form of the hull;

∇ = Volume of displacement.

Substitution of (5) and (8) in (4) leads to:

$$C_{TL_{(F)}} = \frac{C_{A_W}}{2} C_{R_{F_0}} \left(\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}}\right)^{3/2} = \frac{C_{A_W}}{2} \frac{0.075}{[\log(Re) - 2]^2} \left(\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}}\right)^{3/2} \quad (9)$$

For many moderate to slender round-bilge hulls, the coefficient C_{A_W} varies approximately between 2.6 and 3.2. On adopting a value of 2.75, the variation of $C_{TL_{(F)}}$ with Froude number, for lengths of 10 m, 50 m and 400 m, is as shown in Figure 6.

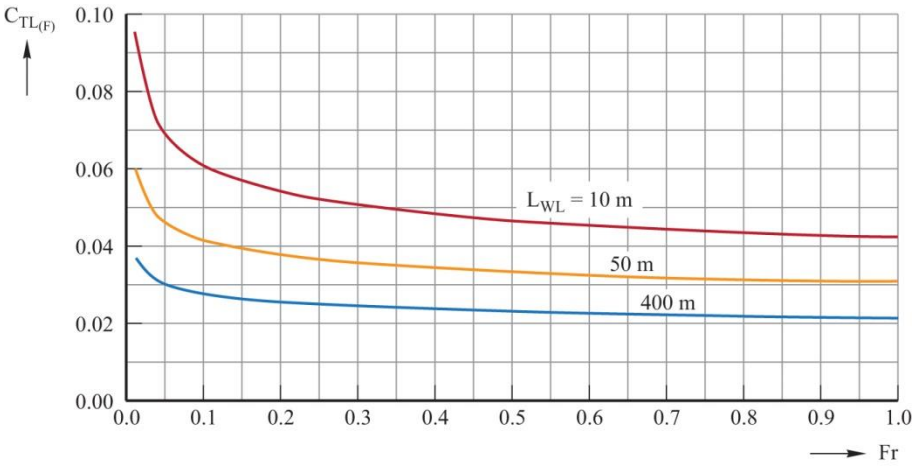


Figure 6: Value of the Telfer CTL factor associated with friction resistance alone, for waterline lengths of 10 m, 50 m, and 400 m, and for a length-displacement ratio between 5.0 and 6.0

This variation of friction resistance with hull length has hindered the systematic presentation of resistance data for boats, yachts and ships in the past. For that reason the results of systematic model tests were often extrapolated to a somewhat arbitrary length of 300 or 400 ft in Britain (Telfer, 1963) and, in the USA for smaller hulls, to a displacement of 10,000 or 100,000 lbs (Blount, 2014). Both types of comparisons, on the basis of either constant length or constant displacement, have merit, but we have preference for comparisons on the basis of equal length to allow the importance of minimizing the weight of the vessel to come to the fore. Plots showing the value of C_{TL} for different length-displacement ratio's, for equal

displacements, are basically plots showing the effect of varying length. The length of the hull however is usually decided on by considerations not involving hydrodynamic performance while displacement often is.

The relationship between the Telfer C_{TL} factor and the GvK transport factor is given by:

$$GvK = \frac{Fr^2}{\eta_T} C_{TL} \tag{10}$$

In which η_T is the total efficiency of the propulsion system, defined by:

$$\eta_T = \frac{P_E}{P_B} = \frac{R_T V_S}{P_B} \tag{11}$$

in which: P_E = Effective power;

P_B = Combined brake power of the installed propulsion engines.

Naval architects use the term effective power to denote the power required to tow a ship (without its propulsor fitted), defined as the rate of work done by the force that balances the resistance force, at a particular velocity (at maximum velocity when in connection with the calculation of GvK), viz.:

$$P_E = R_T V_S \tag{12}$$

The relationship with the often adopted resistance-to-weight ratio (also referred to as the drag-to-lift ratio when the lift is that of buoyancy or that of the dynamic lift required to support the weight of the vessel) is:

$$\frac{R_T}{W} = \frac{R_T}{g\Delta} = \frac{R_T}{g\Delta} \frac{gL_{WL}}{{V_S}^2} Fr^2 = C_{TL} Fr^2 \tag{13}$$

This shows that for a specific value of the Froude number the value of C_{TL} is directly proportional to the resistance-to-weight ratio. Tangent curves such as defined in Figure 5 are thus not curves of absolute minimum resistance but curves of minimum resistance per unit of weight. This distinction is important because we are ultimately interested in how to define a shape with minimum resistance, that offers a certain volume within a certain length, for the

transport of some commodity or of passengers. The shape having minimum resistance without regard to its volume is a flat plate with zero volume.

6. HULL CONCEPTS SUITABLE FOR INTERMEDIATE-FROUDE SPEEDS.

The significant increase in wave resistance, particularly in the Froude number range between 0.40 and 0.55, requires modification of the conventional hull form in some way so as to attain acceptable levels of resistance. In addition, some method by which the running trim of the hull can be controlled needs to be adopted to reduce the relatively high values of bow-up trim that occur in this speed range –particularly in the case of less slender hulls. In this paragraph we will describe the hull form concepts that have been developed for operating at intermediate-Froude speeds.

We have already commented on the effect of increasing hull slenderness, as expressed by the length-displacement ratio, on the significance of the main hump of the resistance curve. This had not gone unnoticed by Parsons during his experimentation with small models on a pond. So when the design for “Turbinia” was drawn up in 1893 he chose a length of some 100 ft, a beam of 9 ft and a draught of 3 ft. The displacement was a bare 45 tonne, resulting in a length-displacement ratio of approximately 9.0. This approach to the problem of attaining an acceptable level of resistance throughout the intermediate-Froude speed range is most effective and, notwithstanding the development of attractive alternative concepts, is still adhered to today.

Various other hull concepts exist for operation in the intermediate-Froude speed range. Most of these are based on at least partially supporting the weight of the vessel by either hydrodynamic lift or aerostatic lift – or a combination thereof. We have already referred to the possibility of developing hydrodynamic lift on either the hull (when suitably designed) or on foils fitted to the hull in some way. Aerostatic lift is derived from an air cushion below the hull or between the two hulls of a catamaran-type vessel. Flexible skirts or seals are required around the air cushion to prevent significant leakage of air. The pressure in the air cushion is built up and maintained by means of powered fans. The various concepts that can be defined by allowing mixes of buoyance, hydrodynamic lift and aerostatic lift, to support the weight of the vessel, are often presented in the form of the sustention triangle shown in Figure 7. Each apex of this triangle represents one of the three main methods of supporting the weight of the vessel. Vessels totally supported by buoyancy are located on the upper apex, and those totally

supported by hydrodynamic lift on the lower apex on the right. Vessels totally supported by (powered) aerostatic lift are located on the lower apex on the left. Hybrid vessels, using a combination of buoyancy and hydrodynamic lift are located along the side of the triangle between the top apex and the lower apex on the right. Likewise, vessels utilizing both buoyancy and aerostatic lift are located along the side of the triangle between the top apex and the lower apex on the left. Vessels using all three methods of support to some degree are located inside the triangle.

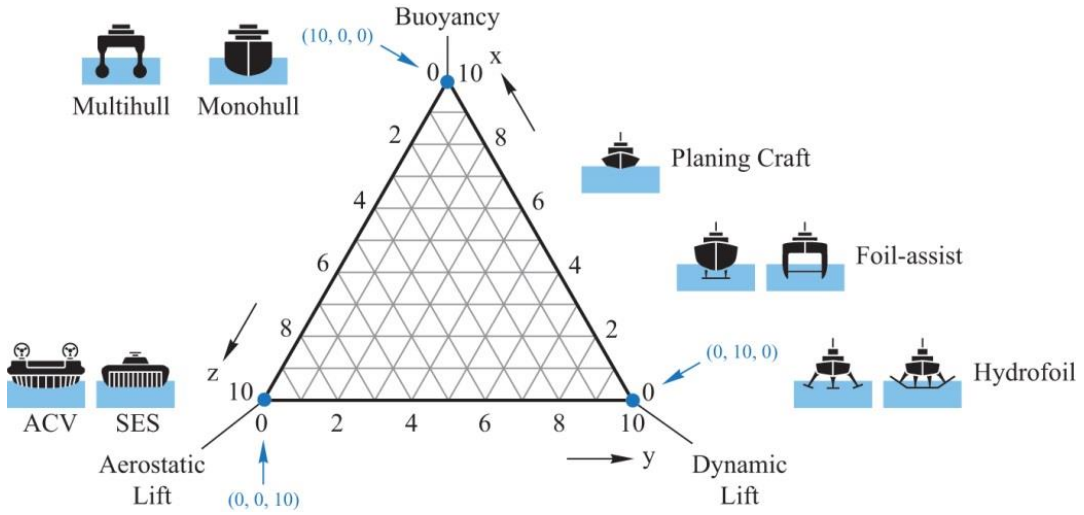


Figure 7: The so-called sustention triangle is a representation of the three methods of supporting the weight of a vessel in the water. Vessels totally supported by buoyancy are located on the upper apex, and those totally supported by hydrodynamic lift on the lower apex on the right. Vessels totally supported by (powered) aerostatic lift are located on the lower apex on the left. Hybrid vessels, using a combination of buoyancy and hydrodynamic lift are located along the side of the triangle between the top apex and the lower apex on the right. Likewise, vessels utilizing both buoyancy and aerostatic lift are located along the side of the triangle between the top apex and the lower apex on the left. Vessels using all three methods of support to some degree are located inside the triangle. This figure is based on that by Clark, Ellsworth & Meyer (2004)

When excluding the option of powered aerostatic lift the sustention triangle reduces to that of the side for which $Z = 0$, along which various degrees of buoyancy and hydrodynamic lift are represented by non-zero values of X and Y. When totally supported by buoyancy $X = 10$ and $Y = 0$, and when totally supported by hydrodynamic lift $X = 0$ and $Y = 10$. This mathematical representation of the degree in which the 3 modes of sustention are present in a particular concept has been used in the past for systematic studies of the merits of combining various forms of sustention. On restricting ourselves here to mono-hulls, the main types that

are arranged along this side of the triangle, in terms of increasing levels of hydrodynamic lift, are:

- Slender round-bilge hulls;
- Hard-chine planing hulls;
- Hulls fitted with foils for the purpose of partially lifting the hull from the water (so-called foil-assisted vessels);
- Hulls totally lifted from the water by either fully-submerged or surface piercing foil arrangements.

Thus, on excluding powered (aerostatic) lift there are basically four concepts for efficiently operating in the intermediate-Froude region. The slender round-bilge hull develops negligible hydrodynamic lift while the fully-submerged and surface piercing hydrofoil requires zero buoyancy - other than at speeds below the so-called "take-off" speed at which the hull rises above the water surface. Hard-chine planing hulls and hulls possessing a foil-assist system are dependent on both buoyancy and hydrodynamic lift for sustention. The sustention provided by hydrodynamic lift increases with increasing speed. At a Froude number of 1.0 an efficient planing hull will have developed sufficient lift to support between 50% to 60% of its weight. The degree to which hydrodynamic lift can provide for supporting the weight of the vessel in the case of hulls fitted with a foil-assist system depends mainly on the plan area of the foils. The outcome thereof also depends on the size of the vessel since vessel weight increases with length-cubed while the plan area of a particular foil system increases with length-squared. To keep providing for the same degree of sustention, the plan area of foil systems therefore needs to increase in size at a greater rate than what the increase in ship size would dictate. Foil systems thus become relatively more efficient as vessel size is reduced.

7. SLENDER ROUND-BILGE DISPLACEMENT HULLS.

7.1 Brief History of the Quest for Higher Speeds and the Development of the Slender Round-Bilge Hull

The first mention in the literature of a vessel to well exceed "hull speed", the speed at which the wave length of the generated transverse wave system is equal to the length of the hull (corresponding to a Froude number of 0.4), is that in connection with the steam launch "Ariel" designed and built by John Isaac Thornycroft and laid down in 1863 (build number 2 in Thornycroft's Register of builds). Her appearance and her speed attracted considerable

attention at various events in 1867-1869, such as a three mile race between various steam yachts and the Henley Royal Regatta. On the waterline the launch was 41 ft in length (45.5 ft overall) and 4.75 ft in beam (5.5 ft overall), and possessed an average draught of 1.67 ft. Her displacement will have been approximately 3.5 tonne and her length-displacement ratio in the vicinity of 8.25. The launch was built from steel, with most of the hull plating being either $\frac{1}{16}$ inch or $\frac{1}{8}$ inch thick (1.6 mm and 3.2 mm). During the three mile race her speed was 12.2 knots – equivalent to a Froude number of 0.57. She was described as "a long, narrow vessel, with a very clean entrance, and very little perceptible stern deliverance". Her general arrangement is shown in Figure 8.

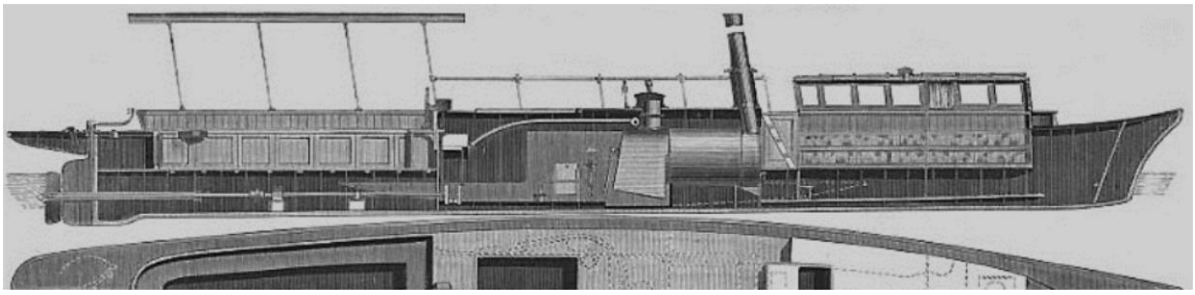


Figure 8: General arrangement of the steam launch "Ariel", designed and built by John Iasaac Thornycroft in 1863. It is probable that this was the first vessel to well exceed "hull speed"

The vessel that John Isaac Thornycroft is particularly remembered for however is the steam launch "Miranda", the 10th build in Thornycroft's Register, laid down in 1871. She was 45.5 ft on the waterline and her displacement was 3.73 tonne. She achieved a speed of 18.5 knots (a Froude number of 0.82). This speed was then considered unattainable and Thornycroft hired Sir Frederick Bramwell, a leading consultant engineer of the day, to carry out independent speed trials. Bramwell (1872) presented a paper to the Institution of Naval Architects on the design and performance of the vessel. Blount (2013) has traced the development of the slender displacement hull. His findings reveal that speed steadily increases from 1872 through to 1905, but it would take nearly 20 years before a higher Froude number was attained. We do not agree with him when he concludes that it was the advent of the reciprocating steam engine and the screw propeller that led to these speeds because the adopted "underwater hull geometry did not encourage hydrodynamic lift". It was the realization of the slender hull (and the associated building techniques) as much as the reciprocating steam engine and the screw propeller that was responsible for this step forward.

A reading of Bramwell's paper, and particularly the recorded discussion afterwards, leaves no other conclusion. Furthermore, at length-displacement ratio's such as that of "Ariel" and "Miranda", hydrodynamic lift is not necessarily advantageous until speeds corresponding to a Froude number of 1.0 are surpassed.

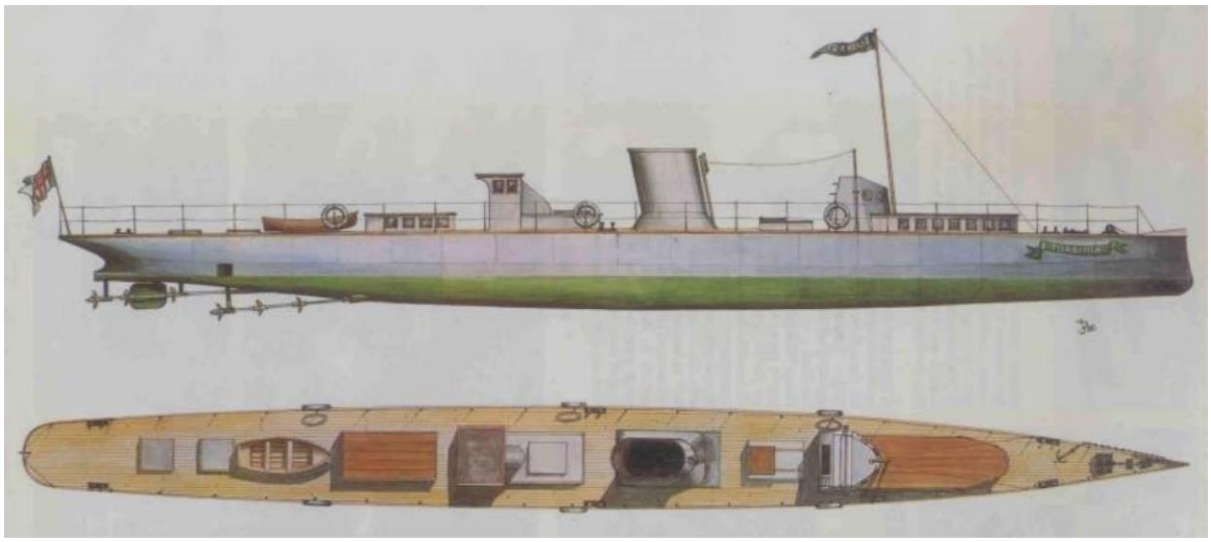


Figure 9: Elevation and plan view of "Turbinia". Her uninvited demonstration of speed at the Spithead Navy Review in 1897, organized to commemorate Queen Victoria's Diamond Jubilee, was the single most prolific event in establishing the attainability of high-speeds in general, and the possibilities of the slender hull and the steam turbine in particular

The pioneering work by Thornycroft led the Royal Navy to order 2 torpedo boat destroyers from the Thornycroft yard in 1892. The lead ship was H.M.S. Daring which reached a speed of 28.2 knots. These vessels were 56 m in overall length and 5.8 m in beam. They displaced 278 tonne (at 50% load) resulting in a length-displacement ratio of approximately 8.5. Other orders followed but when Sir Charles Parson's "Turbinia" showed her pace at the Spithead Navy Review, organized to commemorate Queen Victoria's Diamond Jubilee, in front of the Prince of Wales, the Lords of the Admiralty and invited guests, interest in the reciprocating steam engine was replaced by that for the steam turbine (Smith, 2009). That demonstration of speed by "Turbinia" was the single most prolific event in establishing the attainability of high-speed in general, and the possibilities of the slender hull and the steam turbine in particular, in Britain and in Europe. An elevation and plan view of the vessel is shown in Figure 9 and a photograph of the stern in Figure 10.

Many purpose-built slender ships with steam turbine propulsion were built for the Royal Navy as a sequel to "Turbinia". Other countries were not long in following this example.

These early slender round-bilge hulls possessed counter sterns**.** Parsons broke with this tradition when he discovered that on allowing the waterlines to maintain their breadth, ending in a submerged transom, the hull possessed less of a tendency to squat down by the stern. This also reduced the danger of air being drawn down from the surface by the aft-most propellers. Photographs of "Turbinia" at full speed reveal the vessel to possess considerable stern-down running trim and this would remain a problem with similar vessels such as the destroyers H.M.S. "Viper" and H.M.S. "Cobra" launched in 1899 – then the fastest naval ships in the world.

The fast, slender, round-bilge hull became very popular in the years following "Turbinia's" demonstration of speed in 1897. This type of hull was adopted for small and larger vessels alike. For a while, this hull was even adopted for racing. This would remain the case until the advent of the planing hull. One of the last racing boats employing the slender hull was "Ursula" designed by S. E. Saunders (of Saunders-Roe 'fame') which won the International Cup in 1910 in Monaco, which win was not only ascribed to her speed but to her excellent behaviour in waves. Her length was 14.9 m, her beam 2.0 m, and her displacement 5.35 m^3, resulting in a length-displacement ratio of 8.52. Her lines are shown in Figure 11.



Figure 10: Stern of "Turbinia": Sir Charles Parsons adopted a submerged transom to reduce the stern-down trim of the vessel. Above the waterline the vessel was given a counter stern – the stern type then in fashion. He later indicated that a "built-down" stern would have been as adequate in practice, if not better. That would have resulted in a transom stern such as is employed today on all hulls intended for high speeds

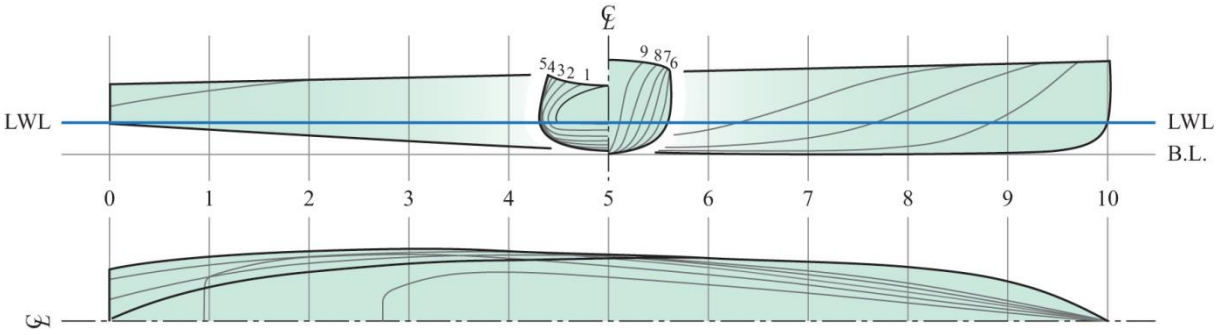


Figure 11: Lines of "Ursula", designed by S. E. Saunders, winner of the International Cup in Monaco in 1910, one of the last of the slender round-bilge boats used for racing

Destroyers and fast minelayers in the Royal Navy up to and including the Second World War were all based on the slender round-bilge hull. The destroyers H.M.S. "Viper" and H.M.S. "Cobra" the design of which was heavily influenced by Parsons, launched in 1899, had a length of 68 m, a displacement of some 410 tonne and a speed of 36.6 knots (in the case of H.M.S. "Cobra"). The length-displacement ratio was thus 9.2 and the Froude number at maximum speed 0.73. The 6 minelayers of the "Manxman" Class, four of which were launched in 1940 and two in 1943, had a length of 122 m, a light-load displacement of 2650 tonne (3415 tonne in the full-load condition) and a speed of 39.75 knots (light-load) and 38.0 knots (full-load). The length-displacement ratio thereof was 8.8 (light-load) and 8.1 (full-load), the Froude number being 0.59 (light load) and 0.57 (full load).

Similar naval ships were built in other countries. Of particular note is the German Schnellboot (referred to as the E-boat by the Royal Navy) of which more than 200 hundred were built. These were well-known for their ability to maintain high speeds in waves. The base design dates back to that of a 34-knot yacht built by the Lürssen yard at Vegesack, north of Bremen, in 1927.

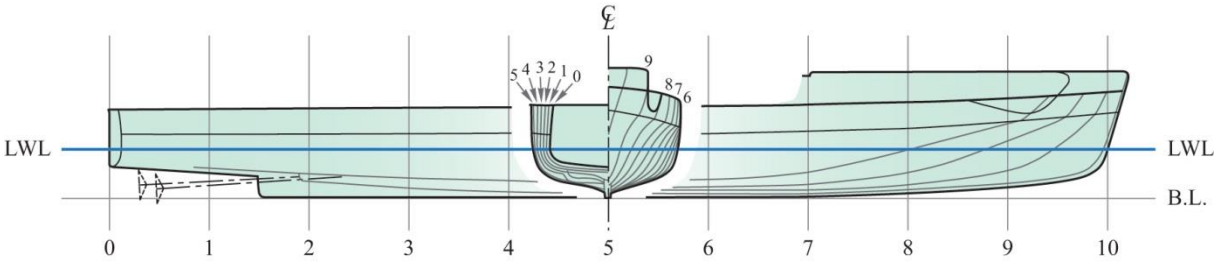


Figure 12: Lines of the German E-boat (S-26 variant) of which more than 200 were built. With a length over-all of 35.0 m and a displacement of 104 tonne (half-load) the maximum speed was nearly 44 knots (Froude number equal to 1.2)

The first of this vast series of boats was ordered in 1929 and delivered in 1930. The S-1 was the basis for all following vessels although the design would undergo a number of significant updates. To provide for a greater capability in high waves these vessels, starting with S-7, were given additional flare and extra buoyancy in the fore-body by adding a knuckle and, to diminish the tendency of the hull to squat down by the stern, Lürssen fitted two smaller rudders aside the main rudder which were oriented such that the outboard sides thereof induced a high pressure region below the hull. Later vessels would also be fitted with a stern wedge. From S-14 onwards, built in 1934, the hull was enlarged, while from S-26 onward (1940) the hull was lengthened to 35 m. The S-100 Class (1943) was lengthened to 36.37 m. These latter modifications were necessary to allow for an increase in armament and the associated change in lay-out. Except for the first few boats, these vessels were all diesel-powered. The displacement of the S-26 Class was 104 tonne at half load, resulting in a length-displacement ratio equal to 7.2. The maximum speed was nearly 44 knots, requiring three 20-cylinder diesel engines each with an output of 1490 kW, driving three shafts. The lines of the S-26 hull are shown in Figure 12 and photographs of the vessel in Figure 13.

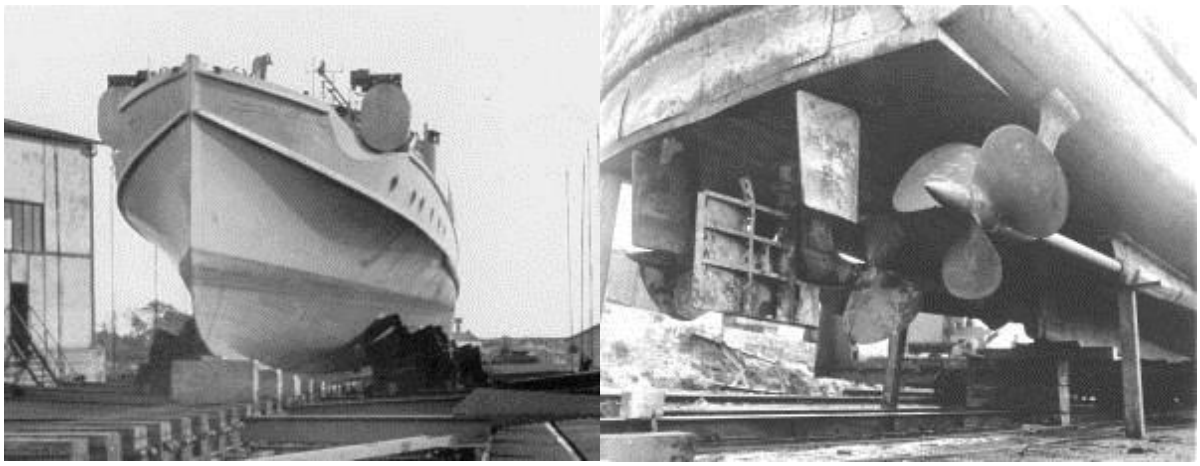


Figure 13: The fore-body of the German E-boat featured a pronounced knuckle fitted with a rub-rail. This was added to S-7 and to all following vessels of the series. This provided additional buoyancy in the topsides and a greater flare – and thereby a better capability in waves. To diminish squat by the stern two smaller rudders were added to S-2 and later vessels, aside the main rudder (here shown without plating on the starboard side), and turned to an initial angle of 30 degrees (and at high speed to some 17 degrees) with the leading edge inboard whereby a high pressure is induced on the outside of the rudder and below the hull. A small wedge near and parallel to the leading edge on the inboard side of these rudders ensured that the flow separated at that location – avoiding the build-up of a low pressure region on the inside of the rudders. Later vessels (starting with S-18 in 1938) were also provided with a wooden stern wedge, as seen in this photograph

7.2 Available Data for the Design of Round-Bilge Hulls for High Speeds

The general lack of design information for slender round-bilge hulls was partly remedied in 1965 when Yeh (1965) published the results of tests at the David Taylor Model Basin in Washington with 27 systematically-varied models. This series of models was designated as Series 64. The length-displacement ratio of these models varied between 8.04 and 12.40, and the length-beam ratio between 8.45 and 18.26. The range in Froude number covered by these tests is from 0.3 to 1.5. The data provided in the relative paper covers the change in vertical bow and stern position, from which the running trim and the rise or sinkage of the centre of buoyancy can be determined, the form of the wave profile along the hull for four discrete speeds, and the residual resistance as obtained on subtracting the estimated friction resistance of the model from the total resistance. The friction resistance of the model is based on the Schoenherr friction resistance formulation using the static wetted surface area of the hull (the wetted area at zero speed). The hull shape of the parent model from which all other models were derived by transformation is no longer representative of that of modern high-speed displacement hulls. Present–day hulls possess a greater transom width, less transom depth, greater flare in the fore-body, and appreciably less bilge radius – for reasons associated with considerations (such as the behaviour in waves) other than resistance. The trends displayed by the resistance data are in fact still representative of that of good hulls. The body plan of the parent hull is shown in Figure 14. The quality of the published test data in the paper by Yeh has recently received criticism from MacPherson (2015).

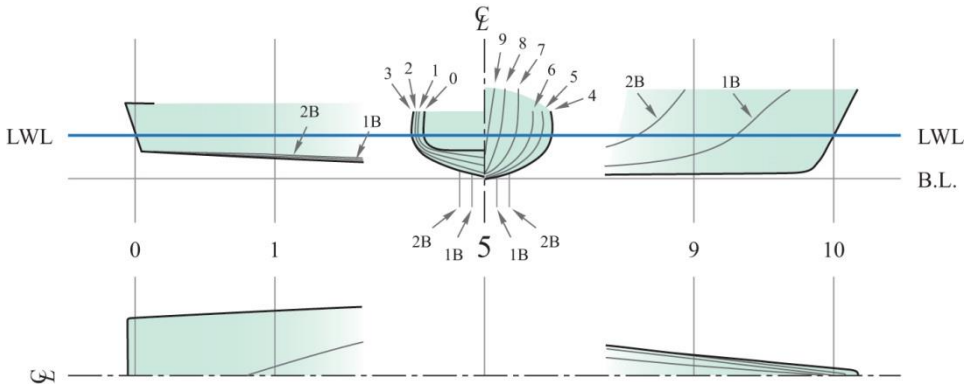


Figure 14: Lines of the parent model of the high-speed round-bilge hulls comprising the Series 64 models, tested at the David Taylor Model Basin, and reported by Yeh(1965)

Further systematic model data for use in designing high-speed displacement hulls were published by Marwoord & Bailey (1969) and Bailey (1976) of the National Physical

Laboratory (NPL). This series has become known as the NPL Series of round-bilge hulls. The application thereof is aimed at smaller vessels than that of Series 64 and, for that reason, incorporates models with lower values of the length-displacement ratio and corresponding lower values of the length-beam ratio. The design of smaller vessels of round-bilge type such as patrol vessels, launches and work boats, is thereby facilitated besides that of smaller naval vessels. The length-displacement ratio of the series ranges from 4.47 to 8.30 and the length-beam ratio between 3.33 and 6.25. These values imply that most of the corresponding models are by no means slender such as that of the Series 64. The lines of the parent model of this series is shown in Figure 15. The speed range covered by the published data corresponds to a range in Froude number, based on displacement, between a minimum of 0.50 and a maximum of between 3.0 and 3.4, depending on length-displacement ratio. The Froude number based on displacement is defined by:

$$\mathrm{Fr}_\nabla = \frac{V}{\sqrt{g\nabla^{1/3}}} = \sqrt{\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}}}\frac{V}{\sqrt{gL_{WL}}} = \sqrt{\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}}}\,\mathrm{Fr} \qquad (14)$$

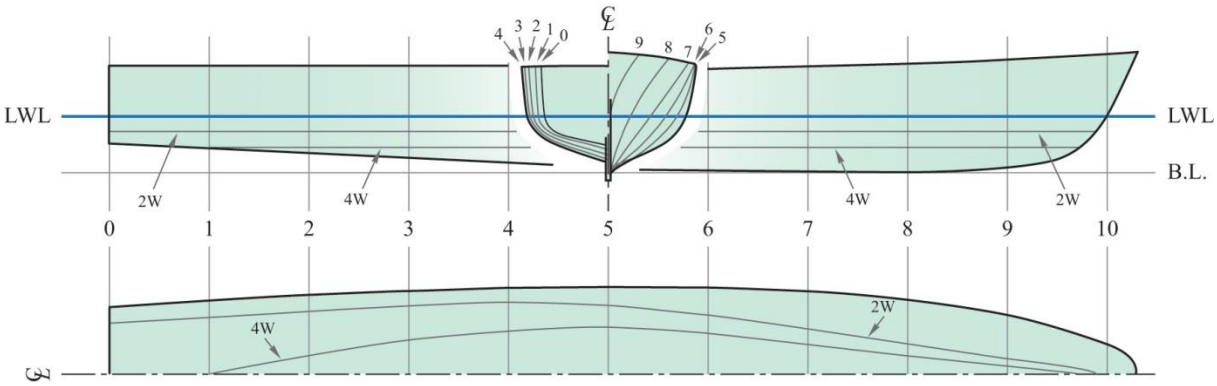


Figure 15: Lines of the parent model of the high-speed round-bilge NPL Series of models tested at the National Physical Laboratory in the UK, reported on by Marwood & Bailey (1969), and Bailey (1976)

The results given in the 1969 report includes photographs of the wave profiles along the hull, curves for the resistance-to-weight ratio of the models, running trim angle, estimated value of the actual wetted surface area divided by $\nabla^{2/3}$, and curves of effective power P_E for hull lengths of 15 ft, 25 ft, 50 ft, 75 ft, 100 ft, 150 ft, 200 ft, 250 ft and 300 ft. These results are provided for a grid of values for the length-displacement ratio (the used symbol for which is circular M

– as proposed by R. E. Froude), the length-beam ratio, and Fr_{∇}. The format of the presentation of the resistance-to-weight ratio curves is unusual as these are specifically for the models and thus not applicable for other hull lengths. The curves for effective power need to be used for predicting the resistance of other hull sizes. These curves are given in terms of displacement in tonne and speed in knots, for discrete length-beam ratio's and the hull lengths noted above. Non-dimensional resistance values are presented in the 1976 report however, in terms of the residual resistance divided by the weight of the hull. Here, the static wetted surface area is used to calculate the friction resistance of the hull, for which the ITTC 1957 formula is used. Rise or sinkage (fall) plots of the hull at the longitudinal centre of buoyancy are also given.

The basic series reported in 1969 comprised 22 models. Ten further models were added to the series to study the effect of varying the position of the longitudinal centre of buoyancy. The results thereof are included in the 1976 report. On some models spray rails were added to reduce the side wetting of the hull by spray and the thin sheet of water along the hull thrown up by the bow wave. On some of the models a further programme of tests was carried out comprising self-propulsion tests (for which a full set of appendages were added to the otherwise naked models), manoeuvring tests, and tests in irregular waves. To decrease the bow-up running trim on some models stern wedges were added and, finally, so-called loll experiments were carried out to study the variation in the angle of loll with varying speed for those models that adopted an angle of heel underway. The results of the self-propulsion tests of this series, published in the 1976 paper, were included in a wider study of the propulsion efficiency of fast round-bilge hulls, reported on separately by Bailey (1982), providing data on wake- and thrust-deduction factors, relative rotative efficiency, and the overall quasi-propulsion coefficient.

The hull form of the NPL Series is closer to that employed today than the hull form of Series 64. The fore-body has the necessary flare but the transom width is narrower and the transom deeper in comparison to the successful hulls of fast round-bilge vessels that have appeared in recent years. There is a small overlap between the Series 64 data and the NPL Series in terms of length-displacement ratio and length-beam ratio. This overlap occurs for the interval in length-displacement ratio between 8.0 and 8.4 and a length-beam ratio of 7.5. The residual resistance of the NPL Series of hulls in that range is some 10% higher than that of the Series 64, over a range of speeds.

The final series of models we wish to refer to in the context of available systematic data providing design information for high-speed round-bilge hulls is the experimental study performed at the Maritime Research Institute in The Netherlands (MARIN) in the period 1978 – 1990 on such hull forms. The motivation for this study was primarily to gain more insight in the way hull form geometry influences both resistance and seakeeping behaviour – with a view to determine how to obtain the best possible compromise between low resistance and minimum motions in waves. The experimental part of the project consisted of testing 6 models to determine the best parent model for the series, followed by the testing of a further 25 models in the main test series, varying in length-beam ratio, beam-draft ratio, and in block coefficient. A further 2 models, with varying prismatic coefficient, were tested to re-affirm that the prismatic coefficient of the parent model had been chosen correctly. The series was later expanded to include 5 more models to test the effect of a higher block coefficient. Finally, two hard-chine variants of the parent model were added to the series to determine if a hard-chine hull form constituted an option. In all, a total of 40 models were tested in calm water and in waves. The length-displacement ratio varied between 4.3 and 13.1, the length-beam ratio between 4.0 and 12.0, the beam-draught ratio between 2.5 and 5.5, the block coefficient between 0.35 and 0.55.

The models themselves varied in length between 3m and 6m on the waterline. The non-dimensional freeboard along the length was strictly adhered to - this being $.06L_{WL}$ at the forward perpendicular. The longitudinal gyradius of the models was kept constant at $0.25L_{WL}$, and the vertical centre of gravity was taken to be 60 percent of the model depth amidships.

To verify that wake and thrust-deduction factors and the overall propulsion efficiency were at the expected level the parent model was fitted with a series of systematic appendages to allow self-propulsion tests to be carried out. The seakeeping research included an investigation of the roll behaviour of some of the models in the series. This was appropriate because of the relatively high beam-to-draught ratio of some of the hull forms, leading to vessels with high transverse stability. This research was carried out with a sub-set of 13 models with which roll-decay measurements were carried out in calm water, with and without forward speed, and with and without bilge keels. In addition, 5 models were submitted to an extensive programme in beam seas.

The parent model and the three models at the extremity of the major axes were further submitted to an investigation of the effect of fitting stern wedges. This decision was a result of the observation that the running trim angle at higher speeds was excessive for the lower length-beam ratio models. Stern wedge geometry was systematically varied to account for wedge length and wedge angle. Besides ascertaining the effect of fitting stern wedges on calm water resistance, tests were also carried out in head seas to determine if the seakeeping behaviour is significantly changed on fitting a stern wedge.

The combined results of this project were recently released for publication. The publication is in the form of a book edited by Kapsenberg et al (2015), and written by the various researchers that participated in the project. Some of the results have already appeared in the public domain, viz.: a paper on the work carried out to select the best possible parent model by Blok & Beukelman (1984), and a paper by Van Oossanen (1988) on the details of the project as a whole and the particular trade-off that was made between the resistance properties of the hull and the vertical motions in waves, in selecting the parent model. A paper on a new analysis of the data was presented by Kapsenberg (2012). The lines of the parent model are shown in Figure 16.

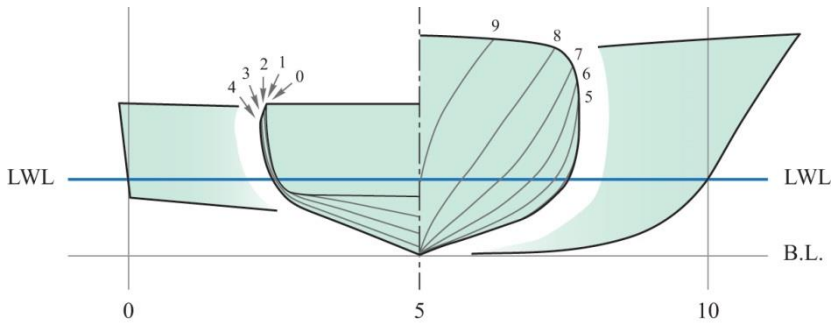


Figure 16: Lines of the parent model of the high speed round-bilge MARIN Series of models tested at the Maritime Research Institute in The Netherlands, reported on by Blok & Beukelman (1984), Van Oossanen (1988) and Kapsenberg et al (2015)

The parent hull form of the MARIN Series was developed to possess not only good resistance properties but also minimum vertical motions in waves. The parent model was furthermore specifically developed for a design speed corresponding to a Froude number of 0.70. This model possessed a length-displacement ratio of 8.62, a length-beam ratio of 8.0, a beam-draught ratio of 4.0, and a block coefficient of 0.40. A specially developed transformation method was used to ensure that the lines of the parent model are systematically varied as the block coefficient is varied. The particular success of the series is the excellent heave and pitch

motion properties that were obtained. The key to this success is the adaptation of what has been described as a "narrow" fore-body and a "wide" aft-body – when considering the submerged part of the hull. This causes a relatively large separation of the centre of longitudinal buoyancy and the centre of longitudinal flotation – one of the driving parameters in the design of hull forms with minimum vertical motions. This is discussed in greater detail in the papers by Blok & Beukelman (1984), and Van Oossanen (1988).

An overview of available resistance data for round-bilge hulls, re-worked into a common method of presentation, has been published by Van Oossanen (1980). This does not include the MARIN Series data since that data was derived some years later. Some of the available data has been re-worked into polynomial-type expressions for prediction purposes by Sahoo et al (2011).

7.3 Attainable CTL values for High-Speed Round-Bilge Hulls

In this sub-paragraph we will present attainable CTL values for round-bilge hulls operating in the intermediate-Froude range of speeds. These CTL values can be derived from an analysis of design data such as described above. The data base available to the author consists of much of the model test data that has been made publicly available, plus the data of some 150 or so hulls that have been the subject of extensive model tests and CFD analyses for design projects carried out by his company. This data base allows for studies of the effect on performance of individual design parameters. It is a relatively simple matter, for example, to identify the hull form leading to a minimum value of CTL at a particular Froude number for a given value of the length-displacement ratio, and a particular length of hull. A pre-requisite for such an approach is that the data base contain a significant amount of data (many hundreds of hull forms and for each hull form resistance data for a range of speeds) and that such data can be extrapolated to any required length of hull. On plotting the value of the CTL factor against Froude number for all hulls in the data base with a length-displacement ratio equal or less than a given value, for a particular length, it is possible to discern the lowest CTL value as a function of the Froude number since this minimum value is simply the tangent curve to the collection of curves for the hulls thereby identified, as described in Paragraph 5. Figure 17 defines such curves for a hull length of 50 m, and for values of the length-displacement ratio of up to 5.0, between 5.0 and 6.0, between 6.0 and 7.0, and between 7.0 and 9.0. This figure

excludes the data for hull forms that have been developed from about 2005 onwards, which data will be considered separately in Paragraph 9.

A study of Figure 17 reveals that the optimum length-displacement ratio, leading to the lowest value of CTL, varies with Froude number. A length-displacement ratio of 5.0 or lower is seen to yield the lowest value of CTL up to a Froude number of approximately 0.35. A closer study of the data reveals that in the interval between a Froude number of about 0.22 and 0.35 the best hulls with a length-displacement ratio between 5.0 and 6.0 possess almost the same value of CTL. Up to a Froude number of 0.22 the respective part of the CTL curve corresponds to the values found for some of the traditional sailing barges used in The Netherlands for racing. In the Froude number range between about 0.22 and 0.35, the hulls with the lowest value of CTL are predominantly sailing yachts. In the range of Froude numbers between 0.35 and about 0.42 different yachts of the International America's Cup Class come to the fore. These possess a length-displacement ratio of between 6.0 and 7.0. Finally, in the speed range corresponding to Froude numbers between about 0.44 and 1.0 the hulls with a length-displacement ratio between 7.0 and 9.0 possess the lowest value of CTL – the given curve being that of one of the MARIN series of high-speed round-bilge models described above.

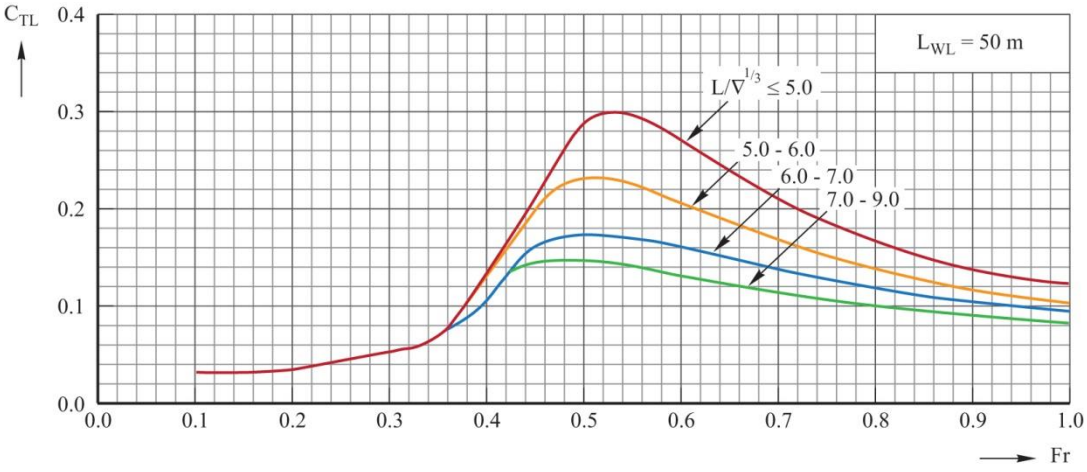


Figure 17: Plots of the minimum value of the non-dimensional Telfer CTL factor against Froude number for 4 discrete ranges of the length-displacement ratio, for hulls with a length of 50 m on the waterline, as found from a data base containing much of the model test results publically available and those of projects carried out by the author and his co-workers up to about 2005. The data for the hull forms that have been designed since 2005 are considered separately in Paragraph 9. This type of plot identifies the attainable value of the total resistance across the range of Froude numbers considered, for the subject length and the different ranges in length-displacement ratio

Higher length-displacement ratio's than 9.0 are seen to have a slightly lower CTL value in the

Froude number range in excess of about 0.44. These hulls are not included in Figure 17 because these length-displacement ratio's are rarely realized in practice. The optimum value of other hull parameters, such as length-beam ratio, beam-draught ratio, prismatic coefficient, longitudinal centre of buoyancy, etc., also vary with Froude number and can be detected using a similar approach.

8. HARD-CHINE HULLS.

8.1 Brief History of the Development of the Hard-Chine Hull

The concept of a flat-bottomed boat "skimming" over the water was first proposed by a clergyman, the Rev. C. M. Ramus in 1872 in England, on the basis of tests he performed with small models. His models possessed a totally flat bottom with one and two transverse steps, thereby forming separate bottom surfaces – in effect the forerunner of the stepped planing hull. Although the British Admiralty had model tests carried out by William Froude at his Torquay towing tank to evaluate the concept, they saw nothing in his ideas and it needed the considerable interest in high speeds that arose in the wake of "Turbinia" for the concept of the planing hull to be adopted and tested again. It was again John Thornycroft who, having lost the attention of many in his fast steam launches to Parsons steam turbine-driven ships, to lead the development of the planing hull and to be the most successful. He had obtained a patent on the concept described by Ramus in 1877, after performing his own tests with small models. However it would need the power-to-weight ratio of the internal combustion engine to produce the necessary power in a compact-enough form to fit into a hull small enough to be able to reach the high Froude numbers at which (fully) planing speeds are attained. In 1909 he launched "Miranda III" which reached a speed in excess of 26 knots on sea trials. The vessel was fitted with a petrol engine with an output of just 41 kW. In 2010 he launched "Miranda IV" and achieved a speed in excess of 30 knots with an 82 kW engine. "Miranda III" was just 6.7 m in over-all length and possessed a beam of 2.1 m. These boats, and their modern counterparts, are referred to as hydroplanes and are used for racing. A photograph of a wooden model of the hull of "Miranda IV" is shown in Figure 18.

In an interview with John Thornycroft (published in "Modern Boating" September 1910, page 17) he comments on the design of the "Miranda" boats as follows: "….She tapers away greatly at the stern. Built of single skin mahogany, she has an almost flat bottom, which begins to run up astern about 3 feet aft of the centre [amidships].



Figure 18: Photograph of a wooden model of "Miranda IV" designed by John Thornycroft and built in 1910. She ultimately reached a speed of some 35 knots (Froude number = 2.1) with an 89 kW 4-cylinder petrol engine. Her over-all length was some 7.6 m and her beam 2.1 m

At this point there is a small 'step', little more than a notch, in fact, it seems, however, to break the adhesive water from the after hull sufficiently well. Under the bows is a vertical web carrying a spade-shaped plate which just touches the surface at skimming speed, the rudder being just abaft of this. From one-third to half the boat's length forward is clear of the water at speed, as of course is the tail, aft of the main plane. This plane at speed gives a supporting surface of some 6 feet fore and aft by say 6 feet transversely, 36 square feet in all, while the fore 'foot' has about 10 square feet. With an 18-inch propeller the boat, loaded with 4 passengers, the total weight being about 1¼ tons, has planed successfully, and I think would do even with a considerably larger weight. The foot has a useful action in steadying the boat in choppy water and preventing the tendency of the hydroplane towards an erratic 'wriggling' motion. I hope to see the type 'skim' down to as low as 16 knots before long, at present 20 knots is about the figure. All this field is so new that there is a lot to be learned, and the speeds shown by the hydroplanes recently defy all the usual calculations…..". These were prophetic words because "Maple Leaf IV", a hydroplane designed by S. E. Saunders in 1912 regained the Harmsworth International Trophy from America and in 1913 defended it against foreign speed boats, reaching an average speed just short of 50 knots.

Although John Thornycroft participated in some of the races between "skimming" boats that were eagerly organized everywhere in those early years of the planing hull, his main (commercial) focus was directed at larger vessels. He built a 40 ft version of "Miranda IV" for evaluation by the Admiralty, leading to an order for 12 so-called Coastal Motor Boats (CMB)

or Motor Torpedo Boats (MTB) able to carry a single torpedo. These boats, all built within months of receiving the order, had an over-all length of 13.7 m and a speed of some 25 knots. In all 39 were built with the latter units capable of speeds in excess of 35 knots due to the fitting of engines with more power.

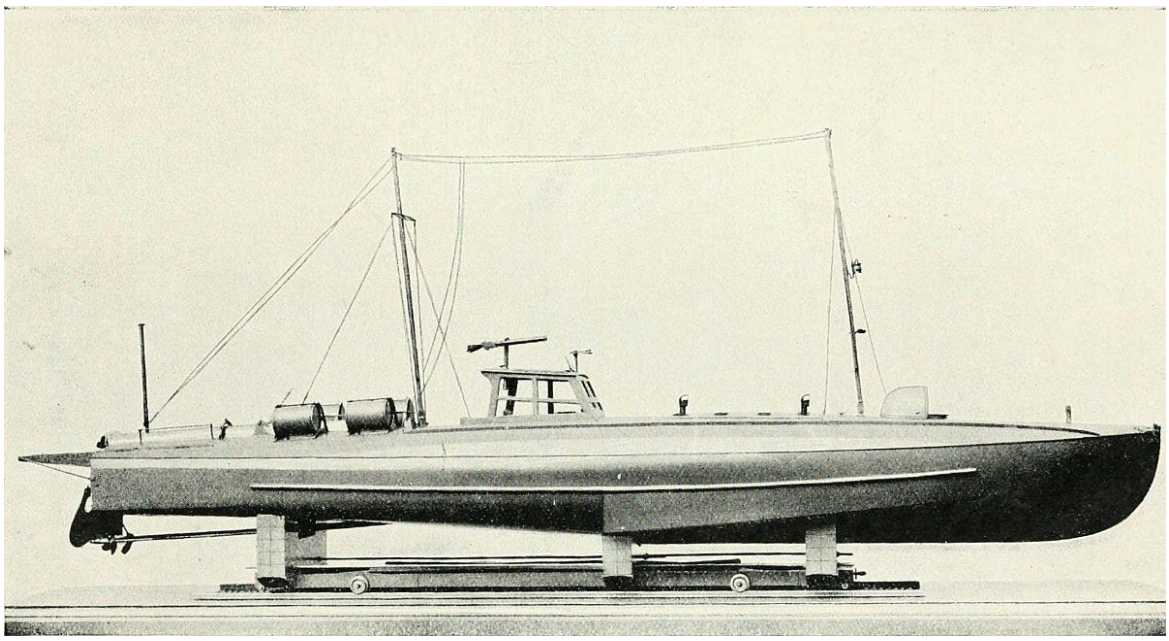


Figure 19: Model of the 55 ft Coastal Motor Boat (CMB) of which some 88 units were built. Originally designed by John Thornycroft, based on his experience with "Miranda III" and "Miranda IV", the first was launched in 1917. These boats had a length of 18.3 m, a beam of 3.4 m, a displacement of 11 tonne, and a speed, depending on the type of engines installed, of between 34 and 42 knots. The power of the fitted petrol engines varied between 560 and 670 kW. Later units differed somewhat in lay-out and displacement but the hull form was always retained. The last versions, used in WWII, were capable of 46 knots and possessed a displacement of 14 tonne, corresponding to a Froude number of 1.78 and a length-displacement ratio equal to 7.5

A very successful larger version of this class of CMB's, capable of carrying 2 torpedo's, was ordered in 1916. This version became known as the 55 ft Coastal Motor Boat of which the first, designed and built by Thornycroft, was launched in 1917 (see Figure 19). These had a length of 60 ft (18.3 m), a beam of 11 ft (3.4 m), a displacement of 11 tonne, and a speed of between 34 and 42 knots, depending on the type of engines installed. The power of the fitted petrol engines varied between 560 and 670 kW. All told, a total of 88 CMB's were built, and although the design was regularly updated the form of the hull was always retained. The last of these vessels were ordered during World War II. These latter versions were capable of 46 knots and possessed a displacement of 14 tonne.

The Royal Navy, and shipyards in Britain generally, persisted in further developing the hard-chine hull for coastal naval vessels, notwithstanding the building and testing of a round-bilge counterpart in 1948 named "Bold Pathfinder" on the basis of the successful German Schnellboot. This vessel and its hard-chine sister "Bold Pioneer" were experimental vessels which, because of problems with the gas turbines with which they were fitted, did not live up to expectations. Further designs of note are the petrol-engined Gay Class (12 boats) launched in 1951 -1953, the diesel-engined Dark Class (18 boats) launched in 1954-1956, and 2 boats of the Brave Class, fitted with gas turbines, launched in 1960. Various vessels according to these design were delivered to other countries.

The US Navy evaluated the British CMB in the period 1922-1930 and when the U.S. Navy needed fast coastal torpedo boats in 1938 it also opted for the hard-chine hull. The Navy requested bids from different builders and designers, leading to the building of 9 different prototypes for evaluation purposes. After a series of extensive tests, including sea trials in heavy seas, three of these were chosen for production. One of two prototypes supplied by the Electric Launch Company (ELCO) was based on a 70 ft hard-chine design by Hubert Scott-Paine, a British designer, well-known for his racing hydroplanes. This design was stretched to a length of 77 ft and later to 80 ft. ELCO was to build nearly 400 of these coastal torpedo boats (referred to as patrol torpedo boats or simply PT-boats) during the war. Higgins Industries had supplied 3 prototypes for evaluation. Two of these had been designed by Sparkman & Stephens and the third by Andrew Higgins. A modification of this latter design, with a length of 78 ft, was adopted by the Navy and Higgins was to build 200 thereof. Finally, Huckins Yacht Corp. built 18 PT boats. This latter design, featuring the Huckins-patented Hydroconic hull, was offered to the Navy after initial testing of all 9 prototypes revealed these prototypes to possess shortcomings, either with respect to their inability to maintain a high speed in waves, or with respect to shortcomings of a structural nature. All of these boats were built from (ply)wood. Lines drawings of the Higgins and Huckins PT boats can be found in Lindsay Lord's classical book on planing hulls (Lord, 1963).

After WWII the U.S. Navy scrapped nearly the entire fleet of remaining PT-boats (some 100 boats were lost during the war). None of note were to be built again with the exception of four 94 ft aluminium PT boats – referred to as PT-809, -810, -811 and -812. When the need for fast coastal naval boats arose for use in south-east Asia in the sixties, a series of 14 boats of the Nasty-class, designed and built in Norway, was purchased by the U.S. Navy, and a further

5 built in the USA. under license. These boats, of the hard-chine type, were diesel-powered and capable of a speed of 40 knots. The realization that the U.S. Navy lacked design capability in this area led to the establishment of the Naval Inshore Warfare Craft Program in the seventies which led to an extensive study of fast coastal and riverine naval craft, particularly focusing on means to improve the behaviour in waves of these vessels, and on reducing the resistance in the pre-planing speed regime. This eventually led to the development of the Experimental Coastal Patrol and Interdiction Craft (CPIC), depicted in Figure 20. No vessels of this type were adopted by the U.S. Navy however and the only units built were for the Republic of Korea Navy. This design has become somewhat of a yardstick for other designers and builders requiring a planing hull with a good behaviour in waves and less of a resistance penalty at pre-planing speeds. Its hull form approximates that of the round bilge hull in many respects. In 2012 the U.S. Navy established the Coastal Riverine Force Unit as a result of the success of riverine forces in Iraq. The MK-VI Patrol Craft, designed and built by Safe Boats International, a wholly U.S. company founded in 1997, constitutes the backbone of the Unit's offensive capabilities. The U.S. Coast Guard have also opted for this platform. This is a diesel-waterjet powered boat capable of speeds of 30 knots featuring a hard-chine hull built from aluminium.

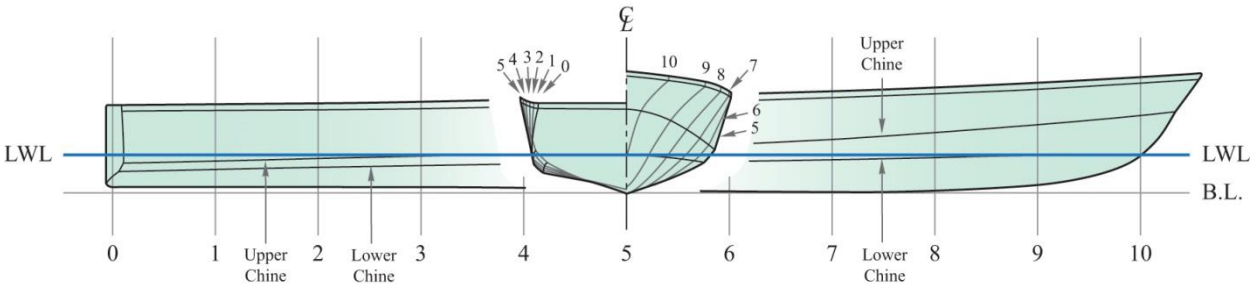


Figure 20: An extensive study of fast coastal and riverine naval craft by the U.S. Navy in the seventies, particularly focusing on means to improve the behaviour in waves of these vessels, and on reducing the resistance in the pre-planing speed regime, led to the development of the Experimental Coastal Patrol and Interdiction Craft (CPIC) featuring a double-chine hull form of the type shown here. These lines were adapted from Savitsky et al (1972)

A diagram showing how small combatant vessels evolved in the countries that tend to design and build their own naval ships is shown in Figure 21. The lineage of the round-bilge vessels developed in Germany, France and Israel may be considered as stemming from "Turbinia", while the hard-chine vessels adopted in Britain, the USA, the Soviet Union, Norway and Sweden may be considered as having their origin in Thornycroft's "Miranda". Thirty-two

ELCO PT boats were made as kits and shipped to the Soviet Union during the war and the subsequent development of the hard-chine small combatant in the Soviet Union may be considered as descending directly from U.S. developments (and subsequently back to the Scott-Paine designed PT-9, built in Britain).

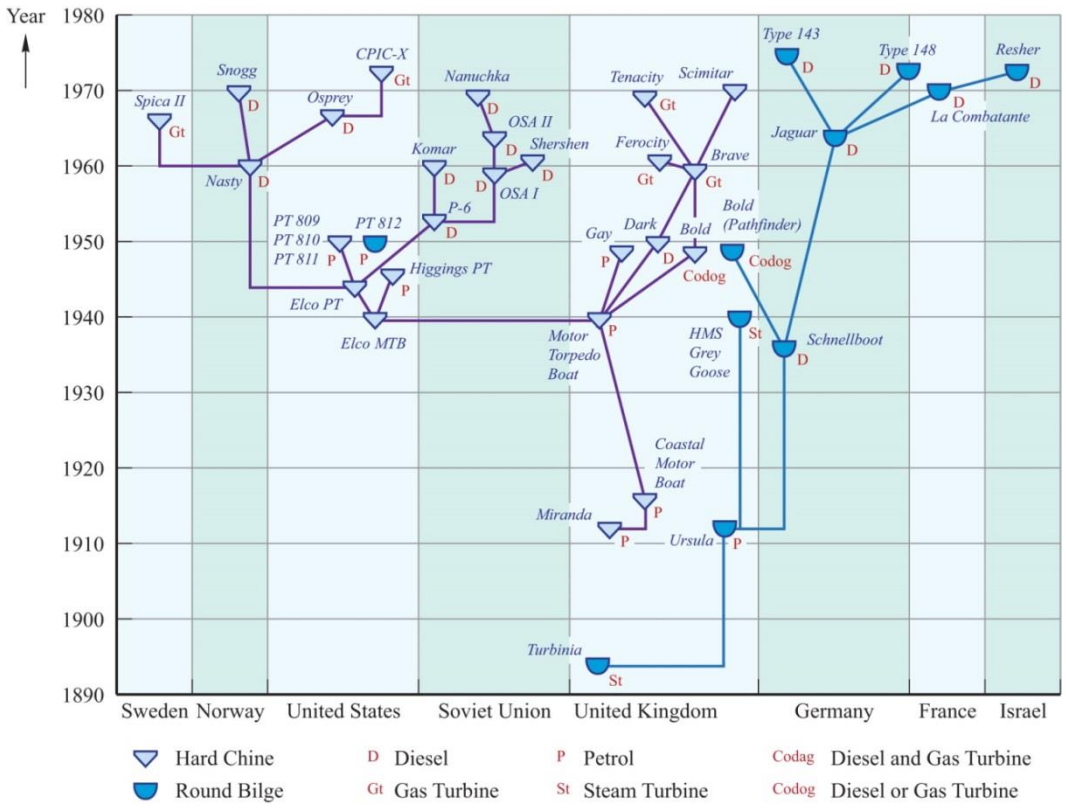


Figure 21: The lineage of small and fast round-bilge combatants developed in Germany, France and Israel may be considered as stemming from Parson's "Turbinia", while their hard-chine counterparts, adopted in Britain, the USA, the Soviet Union, Norway and Sweden, may be considered as having their origin in Thornycroft's "Miranda" - adapted from Savitsky & Gore (1979)

8.2 Available Data for the Design of Hard-Chine Hulls

To support the selection of the best of the 9 prototype PT boats that were evaluated by the U.S. Navy in 1941 the Navy ordered the testing of a systematic series of hard-chine hulls by the Experimental Model Basin (EMB) in Washington (now the David Taylor Model Basin, part of the U.S. Naval Surface Warfare Centre). The building and testing of the 20 models that comprised the series, designated as Series 50, was sub-contracted by the EMB, who designed the models, to the Stevens Institute of Technology in Hoboken, New Jersey. The

results of this work was reported by Davidson & Suarez (1941) in a format similar to that of the well-known series of hull forms that have become known as the Taylor Standard Series (Taylor, 1943). This has rendered the data difficult for application to the design of planing hulls following the methods propagated by Savitsky (1964) and Hadler (1966). The results of these tests were recently re-analysed and re-formatted to today's working methods by Morabito (2013).

The Series 50 is an extensive series of models, covering 4 values of the length-displacement ratio (5.3, 5.8, 6.7 and 8.4), and 5 values of the beam-draught ratio's (4, 6, 8, 11 and 15). Each model was tested at its nominal displacement and displacements of 110% and 120% thereof. The range of speeds covered corresponded to a range of Froude numbers between 0.13 and 2.05. The design value of the block coefficient of all models was 0.407, and the position of the longitudinal centre of gravity (LCG) was at 43.5% of the length of the hull from the transom. However, each model was also tested at a static bow-up trim of 2- and 4-degrees whereby, in effect, LCG was varied considerably. Deadrise of the bottom planing surface decreased with increasing beam-draught ratio. Figure 22 shows the parent model of the series from which all other models were derived. This model possessed a length-beam ratio of 4.5 and a beam-draught ratio equal to 5.3. The length-beam ratio is derived from the block coefficient, the length-displacement ratio, and the beam-draught ratio, from:

$$\left(\frac{L_P}{B_P}\right)^2 = C_B \left(\frac{L_P}{\nabla^{1/3}}\right)^3 \left(\frac{B_P}{T}\right)^{-1} \qquad (15)$$

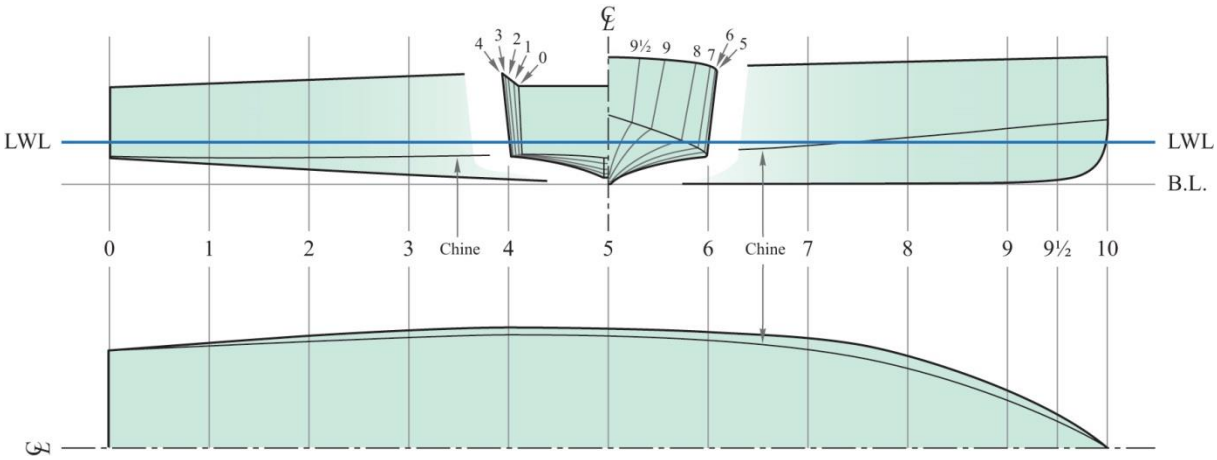


Figure 22: Lines of the parent model of the Series 50 hard-chine hulls tested at the Davidson Laboratory of the Stevens Institute of Technology in 1941 (adapted from Morabito, 2013)

In (15) L_P and B_P are the length and beam of the planing surface - the surface below the chine - respectively. The length-beam ratio of the series, thus derived, ranges from 2.20 to 8.51. The resistance data is presented in tables and graphs in the form of the residual resistance-to-weight ratio. The residual resistance is obtained by subtracting the friction resistance from the total resistance. The friction resistance is calculated by means of the Schoenherr formulation, based on the mean wetted length of the hull and the dynamic wetted area. The data includes curves indicating the demarcation between the region in which stable planing behaviour is possible and the region in which longitudinal instability occurs. Longitudinal instability at planing speeds, known as "porpoising", manifests itself as a perpetual oscillatory motion of the bow in the vertical plane, which does not depend on a disturbance in the running trim of the hull as, for example, caused by waves. The physics of this instability can be traced back to a relatively large movement of the longitudinal position of the centre of pressure on the hull with a relatively small change in running trim angle. Thus, with a decrease in bow-up running trim the location of the centre of pressure moves forward forcing the bow-up trim to increase which, in turn, causes the centre of pressure to shift aft, causing the bow-up trim to decrease. In certain cases this oscillatory behaviour is divergent, leading to catastrophic incidents.

Tests with 5 hard-chine models at the David Taylor Model Basin were published by Clement & Blount (1963). These models were designated as Series 62. The parent model of this series was chosen with considerable care and after comparison of the results of previously-performed tests with hard-chine models. It was concluded that it was necessary to adopt at least 12.5 degrees of deadrise at the transom in lieu of the 0.5 to 2.0 degrees deadrise at the transom of the Series 50 models, for the purpose of obtaining better rough water performance. They also chose to not vary deadrise in the aft-body of the hull, and to adopt a relatively narrow stern. The lines of the parent model are shown in Figure 23. The length- beam ratio of the planing surface of the 5 models varies from 2.2 to 7.0. The results of the tests are again presented in tables and graphs in the form of the residual resistance-to-weight ratio. A well-defined curve for the inception of porpoising is also presented.

Five further models related to the Series 62 were tested by Keuning & Gerritsma (1982) in the towing tank of the Delft University of Technology in The Netherlands. These models feature 25 degrees of deadrise in the aft-body. The method by which the parent model was modified to arrive at the parent model of these 5 models is shown in Figure 24. This change in deadrise increased the resistance of the lowest length-beam ratio model by some 20%, and some 3% to

4% of the highest length-beam ratio model. The motivation for this expansion of the Series was to obtain hull forms with a better performance in waves – particularly with respect to reducing vertical accelerations and pitch amplitudes.

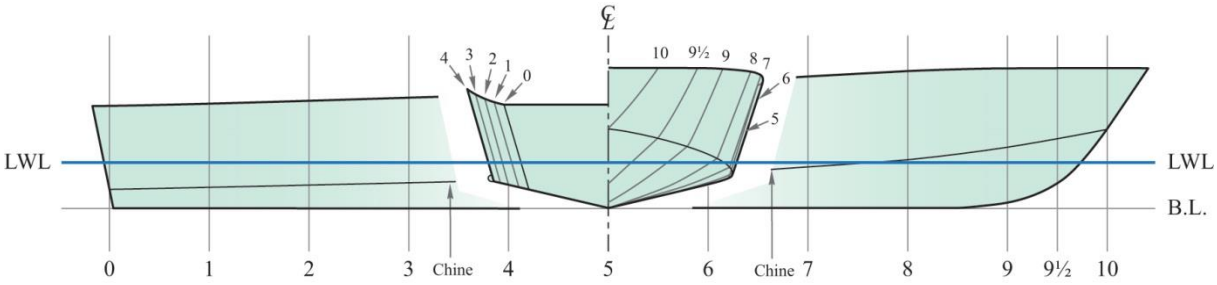


Figure 23: Lines of the parent model of the Series 62 hard-chine hulls tested at the David Taylor Model Basin (adapted from Clement & Blount, 1963)

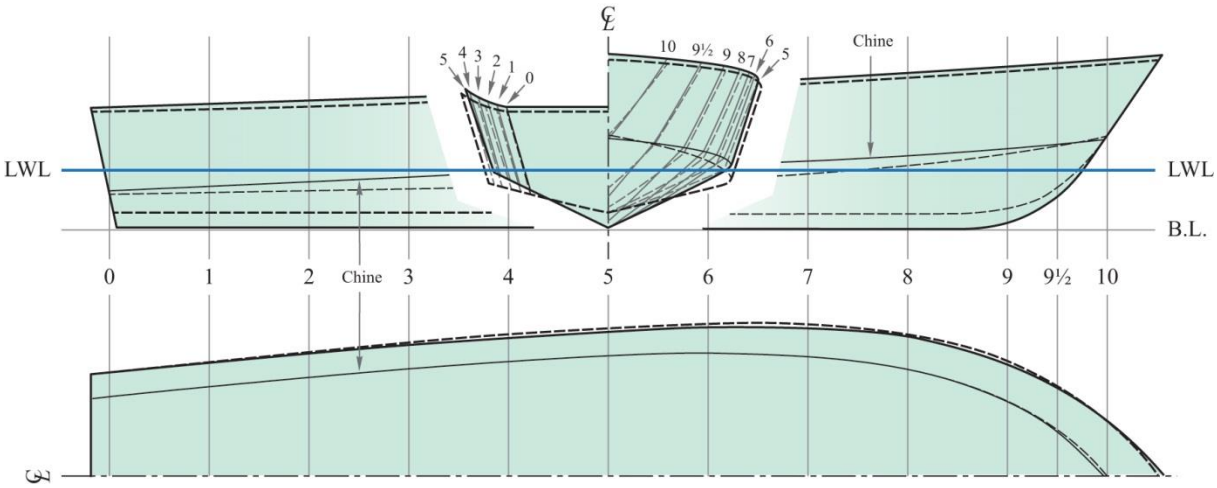


Figure 24: The 5 models tested by Keuning & Gerritsma (1982) were derived from the parent model of the original Series 62 models by doubling the deadrise angle along the length, thereby improving the behaviour in waves at the cost of increasing the resistance of the lowest length-beam ratio (equal to 2.09) model by some 20%, and some 3 to 4% in the case of the highest length-beam ratio (equal to 7.0) model

The David Taylor Model Basin performed further tests on hard-chine models, designated as Series 65, in support of the development of hydrofoil craft, which enjoyed considerable popularity in the early seventies. The results of these tests were published by Holling & Hubble (1974). The Series consists of 16 models, 7 of which were labelled Series 65A and 9 as Series 65B. The Series 65A models were directed at the application of an aircraft type hydrofoil arrangement and, for that reason, tapered to a relative narrow transom, whereas the Series 65A models were directed at the application of a canard type hydrofoil arrangement and were designed such that the beam is maximal at the transom. The body plans of the 6

parent models are shown in Figure 25. In practise, the results of the tests with the Series 65A models are not often used because of the narrowness of the transom, whereas Series 65B is, notwithstanding the fact that the hulls of that series attain their maximum breadth at the transom. The L_P-to-B_P ratio of the Series 65A models varies between 3.30 and 9.34, and between 2.35 and 9.38 for the Series 65B models. Deadrise at the transom varies between 14.8 and 27.9 degrees for 65A, and between 16.3 and 30.4 degrees for 65B. Every model was tested at a series of different displacements whereby the length-displacement ratio varied considerably, from approximately 3.5 to 10.5.

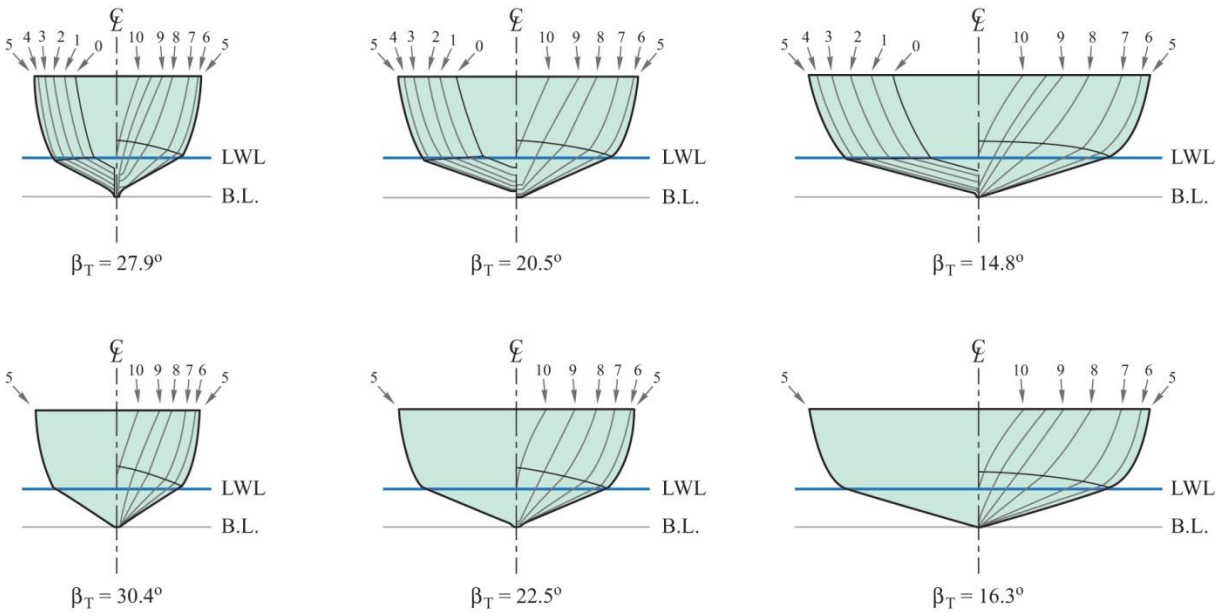


Figure 25: Body plans of the 6 parent hulls adopted for the DTMB Series 65 models. The top 3 form the so-called 65A Series and the bottom 3 the 65B Series - adapted from Holling & Hubble (1974)

Another model test series of note is the U.S. Coast Guard Series of 4 models published by Kowalyshyn & Metcalf (2006) which covers a variation in the length-to-beam ratio of 3.24 to 4.47, and a variation in length-displacement ratio of 5.42 to 6.73 (in the design condition). The deadrise at the transom is 16.6 degrees for 3 of the models, and 20 degrees for the fourth.

A series of 5 double chine models were developed and tested at the National Technical University of Athens (NTUA). The results of these tests were published by Radojcic et al (2001). The parent model of this series corresponds to the body plan given by Savitsky (1972), shown in Figure 20. The L_{WL}-to-B_{WL} ratio varies from 4.3 to 7.5, and the length-

displacement ratio from 6.2 to 8.5. Each model was again tested at various displacements. The results are presented in the form of graphs and in terms of equations for the resistance and the running trim angle, derived from a regression analysis of the results.

8.3 Attainable CTL values for Hard-Chine Hulls

Attainable values of CTL for hard-chine hull forms are shown in Figure 26. These have been derived in similar fashion to those presented in Figure 17 for round-bilge hulls. The curves shown represent the values at optimum running trim which, in most cases, was achieved by use of an interceptor – as described in Paragraph 11.4. The relative curves are based on all the data available to the author and includes those hulls that were recently designed with the insight obtained from CFD analyses.

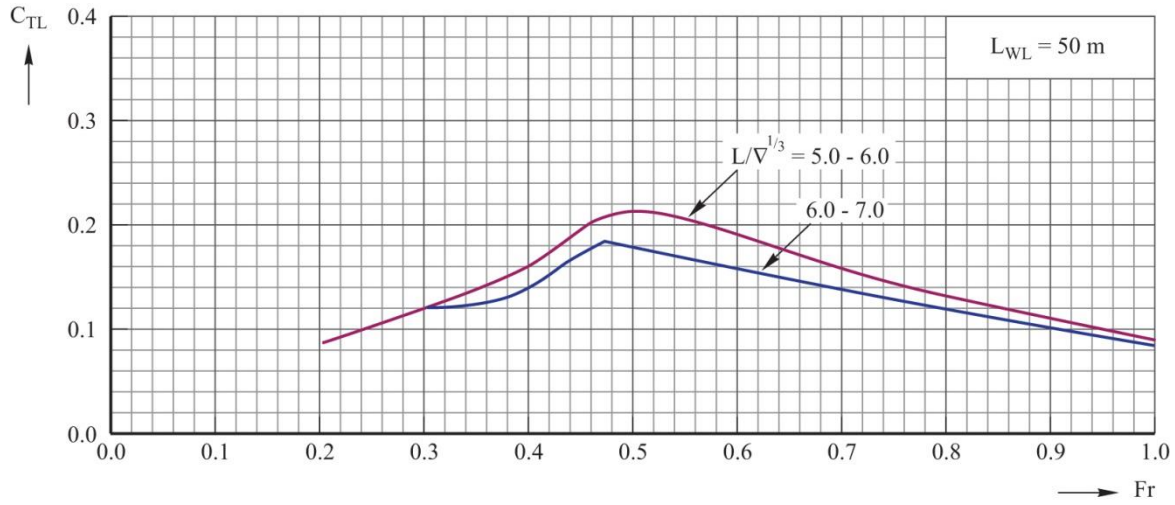


Figure 26: Plots of the minimum value of the non-dimensional Telfer CTL factor against Froude number for 2 discrete ranges of the length-displacement ratio, for hard-chine hulls with a length of 50 m on the waterline, as found from a data base containing much of the model test results publically available and those of projects carried out by the author and his co-workers during the last 20 years.

Insufficient data is available for hulls with a length-displacement ratio of less than 5.0 to define a limiting CTL curve against Froude number as in the case of round-bilge hulls shown in Figure 17. This curve has therefore been omitted from Figure 26. The curves shown for length-displacement ratio's between 5.0 and 6.0, and between 6.0 and 7.0, reveal that the effect of increasing the slenderness of the hull (in terms of increasing the length-displacement ratio) on resistance is less than in the case of round-bilge hulls. In fact, the data shows that

when the length-displacement ratio increases beyond 7.0 only the 5 models of the Series 50 with the highest length-displacement ratio (between 8.51 and 8.94), tested at design LCG ($L_{cg} = 0.435L_P$), possess lower values of CTL at speeds in excess of $Fr = 0.5$. These 5 models yield insufficient data to define a limiting CTL curve for the length-displacement interval between 7.0 and 9.0 and this curve has therefore also been omitted from Figure 26.

The lesser impact of increasing slenderness in the case of hard-chine hulls is a consequence of the lesser effectiveness of the planing surface in developing lift when the aspect ratio of the surface (defined as the ratio of the beam across the chines to the average wetted length of the planing surface) decreases. The analysis of the Series 62 data by Clauser (1988) revealed that the minimum value of the resistance-to-weight ratio of all models and for all loading conditions occurs when the Froude number, based on the length found when dividing the volume of displacement (at zero speed) by the product of B_P and L_{cg}, is equal to 5.0, viz.:

$$Fr_g = V\sqrt{\frac{B_P L_{cg}}{g\nabla}} \cong 5 \tag{16}$$

Equation (16) can be re-written as:

$$\frac{L_P}{\nabla^{1/3}} \cong \left(\frac{25}{Fr^2}\frac{L_P}{B_P}\frac{L_P}{L_{cg}}\right)^{1/3} \tag{17}$$

In which: V = Speed;

B_P = Mean beam across the chines;

L_{cg} = Distance of centre of gravity from the transom;

g = Acceleration due to gravity;

∇ = Volume of displacement (at zero speed);

L_P = Projected length of chines;

Fr = Froude number based on L_P.

The length-displacement ratio thus calculated, for $L_{cg} = 0.4L_P$ for example, is shown in Figure 27. The curves for the various length-beam ratio's given indicate that the optimum length-displacement ratio decreases with increasing speed. Accordingly, unlike round-bilge hulls, the further increase in length-displacement ratio beyond about 7.0 provides little in the way of a further decrease in resistance-to-weight ratio.

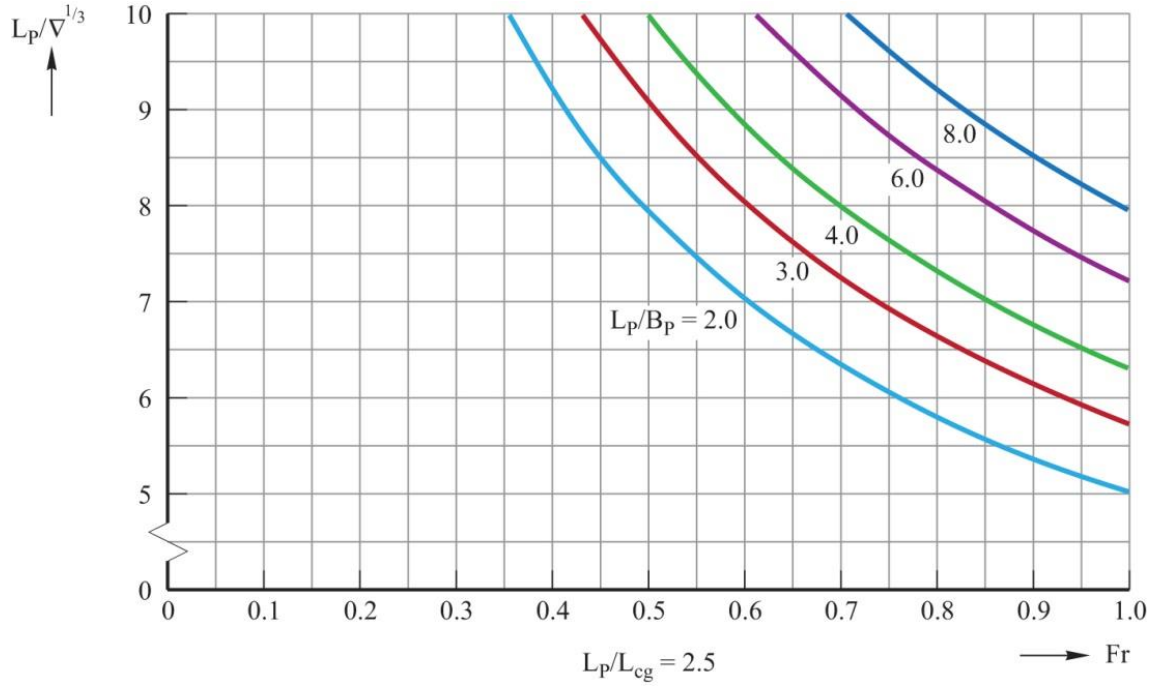


Figure 27: The analysis of the Series 62 data by Clauser (1988) results in an expression for the speed at which the minimum value of the resistance-to-weight ratio occurs. This expression, when re-written in terms of the corresponding length-displacement ratio, yields the curves shown here (for $\frac{L_P}{L_{cg}}$ =2.5), revealing that the optimum length-displacement ratio decreases with increasing Froude number

9. THE FAST DISPLACEMENT HULL.

The advent of reliable and accurate CFD software during the last decade for the solution of the three-dimensional viscous flow around ship forms has allowed for the in-depth analysis of hull forms with respect to their resistance properties for the first time. Plots of the build-up of the friction- and pressure resistance along the length of the hull such as shown in Figure 28, not available before, have provided great insight into how the geometry of the hull needs to be shaped to attain minimum resistance. Naval architects that have integrated advanced CFD tools into their hull design processes have been able to make substantial improvements to their hull forms, reducing resistance significantly.

A particular successful result of the application of CFD for the improvement of hull forms for the intermediate-Froude range of speeds is the patented Fast Displacement Hull described by Van Oossanen et al (2009). This form of hull was developed to solve the problem of builders offering semi-custom yachts in having to develop at least 2 different hull concepts when the maximum speed of those yachts is a variable free for the prospective owner to choose. For an owner not needing a high-speed capability the respective yards will offer a round-bilge hull with good resistance properties at lower displacement speeds, and a hard-chine hull with good resistance properties at high speed. The considerable additional investment in developing two platforms for each size of yacht leads to higher selling prices of the vessels concerned and, accordingly, to lesser interest of potential owners. The Fast Displacement Hull, in possessing good all-round resistance properties up to a Froude number of 1.0, is now successfully offered instead by some of these builders. This hull features a bulbous bow of particular design, a fore-body fitted with a spray rail and possessing waterlines with a minimum of convexity, and an aft-body with buttocks sloping upwards in a gradually-increasing fashion to a shallow transom stern. An interceptor or a Hull Vane® is fitted at the stern to allow the hull to operate at optimum running trim – usually close to zero degrees – at every speed. The hull produces no dynamic lift of note.

The study by Van Oossanen et al (2009) revealed that a bulbous bow can lead to a considerable reduction in resistance at intermediate-Froude speeds – not only at displacement speeds – when the running trim of the vessel can be kept reasonably constant. The additional friction- and pressure resistance of the bulb itself is usually of lesser significance than the resulting reduction in pressure resistance of the fore-body – as can be seen in the case of the results shown in Figure 28. The mechanism whereby this is achieved is partly associated with the effect of the bulb in reducing the pressure along the fore-body, and partly by the bulb in allowing for waterlines along the length of the fore-body that are less obtuse, whereby the pressure force (acting normal to the surface of the hull) is more transversely-inclined, thereby contributing less to the resistance.

It would seem that the latter effect, at intermediate-Froude speeds, is of greater importance than the effect of the bulb in reducing the pressure on the fore-body whereby the height of the bow wave is suppressed. An indication thereof is found in the fact that the resistance of an equivalent hull with a vertical stem (not fitted with a bulb), with a length equal to the length of the comparable vessel, from the transom to the forward tip of the bulb, is usually

approximately the same as that of the hull with bulbous bow, or slightly less. Accordingly, much – if not all - of the resistance reduction obtained by fitting a well-shaped bulb, such as indicated in the case of the vessel of Figure 28, in the higher part of the intermediate-Froude range of speeds, is due to the stretching effect of the bulb on the waterlines – similar to that achieved when applying a vertical stem.

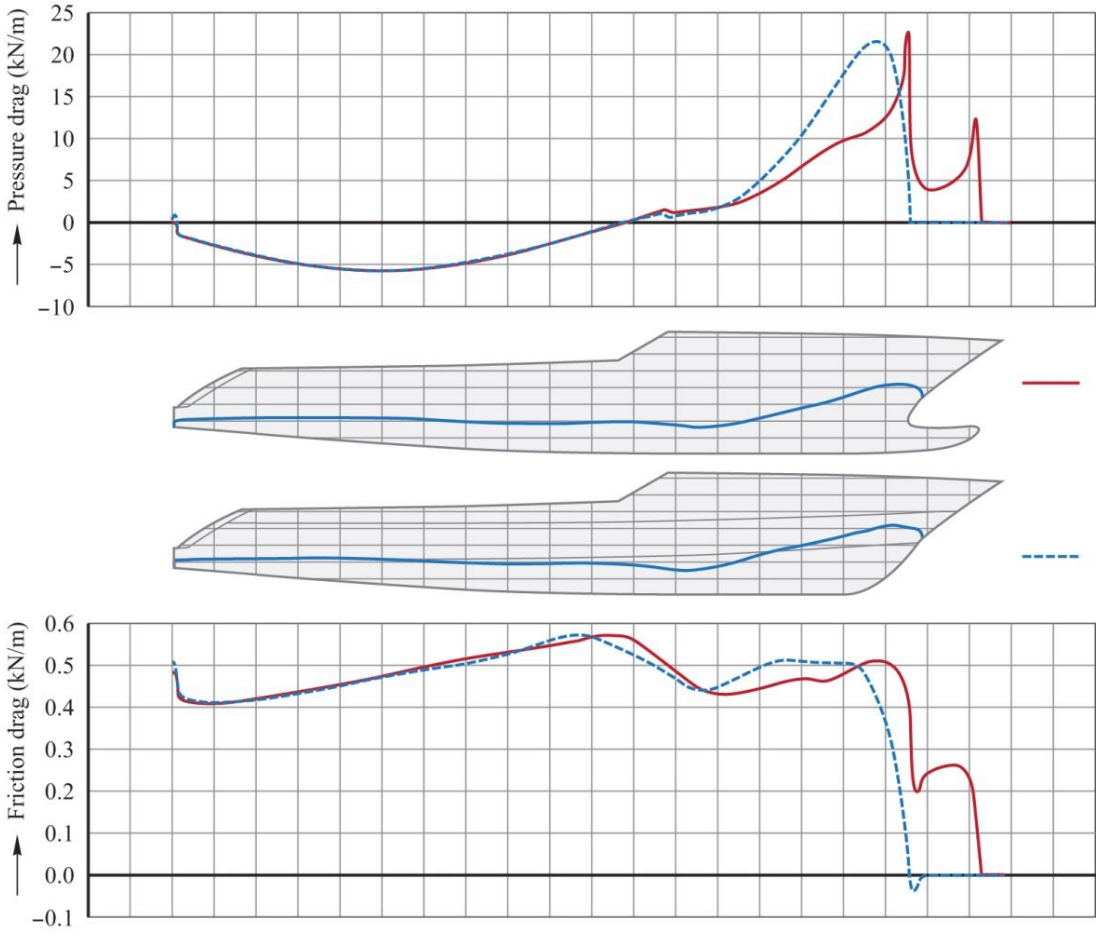


Figure 28: The advent of reliable and accurate CFD codes has allowed for considerable improvement of hull forms in terms of resistance reduction due to being able to detect the impact of local geometric hull form features on the build-up pressure- and friction resistance along the hull. As an example, the effect of adding a bulb on the distribution of pressure- and friction resistance along the hull is here shown, revealing the significant decrease in pressure resistance along the fore-body of the hull at the cost of the (lesser) friction- and pressure resistance of the bulb itself. The overall result is a decrease in resistance of some 15% for the indicated vessel at the speed considered.

The spray rail fitted to the fore-body of the Fast Displacement Hull is necessary to deflect the thin sheet of water that tends to cling to the hull atop of the bow wave, downwards, to avoid this developing into unwelcome spray across the deck in cross-winds.

The Fast Displacement Hull further incorporates buttock lines in the aft-body that are convex over the entire length of the run, such that they are steepest at the transom – but never steeper than a specific value to avoid boundary layer separation. This is the outcome of CFD studies such as that of Zaaijer (2009). In this way both the pressure build-up on the aft-body, and the slope of the hull dictating the magnitude of the longitudinal component of the pressure force, are greatest. The key result of these studies is that the longitudinal component of the pressure force on the aft-body needs to be maximized, which requires that the slope of the buttock lines is greatest in areas where the pressure on the hull is greatest. The entire aft-body can in such cases be designed to generate a forwards pressure force on the hull, as shown in Figure 28. It follows that in such cases the transom needs to be relatively shallow.

The shallowness of the transom necessitates that some active way of controlling running trim is employed whereby the natural tendency of the hull to adopt a stern-down attitude at Froude numbers in excess of about 0.43 is mitigated, keeping the hull at what is essentially a horizontal attitude. The means whereby this is achieved are described in Paragraph 11.

A sufficient number of vessels with a Fast Displacement Hull have now been designed and built to allow for the definition of curves for $5.0 < \frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}} \leq 6.0$, and for $6.0 < \frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}} \leq 7.0$, indicating the attainable value of CTL. These curves are shown in Figure 29 in the same format as adopted in Figure 26.

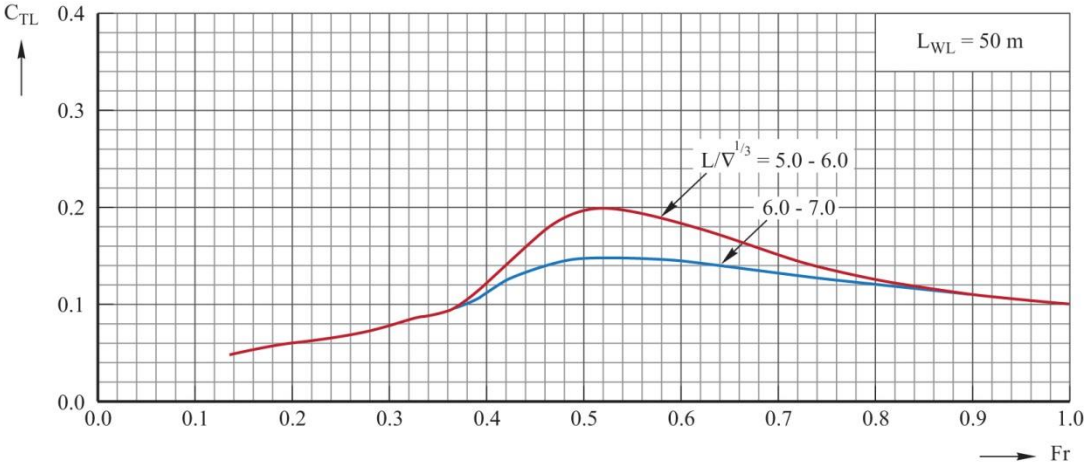


Figure 29: Plots of the minimum value of the Telfer CTL factor against Froude number for the Fast Displacement Hull, for discrete ranges of the length-displacement ratio, for hulls with a length of 50 m on the waterline, as found from a data base of model test results

10. COMPARISON OF HULLS ON THE BASIS OF THE CTL FACTOR.

Figure 30 presents an overlay of the tangent CTL curves given in Figures 17 and 26 for length-displacement values in excess of 5.0, facilitating a comparison of the minimum CTL values found for the classical round-bilge hull and the hard-chine hull. This figure reveals that for length-displacement ratio's between 5.0 and 6.0 the hard-chine hull possesses less resistance per unit of weight than the classical round-bilge hull, upwards of a Froude number of approximately 0.45. For length-displacement ratio's between 6.0 and 7.0, the hard-chine hull possesses approximately equal CTL values, in the range of Froude numbers in excess of 0.5. For higher length-displacement ratio's, the hard-chine hull possesses a higher resistance per unit of weight, across the entire intermediate-Froude speed range. The cross-over in terms of length-displacement ratio at which the resistance of the classical round-bilge hull is approximately equal to that of the hard-chine hull, is about 7.0. At Froude numbers less than about 0.45 the classical round bilge hull has lesser resistance irrespective of the length-displacement ratio. The difference in resistance between the two types of hulls in that speed regime is significant.

An overlay of Figures 17 and 29 is shown in Figure 31. This presents a comparison of the minimum CTL curves for the classical round-bilge hull and the Fast Displacement Hull. In the length-displacement interval between 5.0 and 6.0 the Fast Displacement Hull possesses lower resistance-to-weight ratio's for speeds in excess of a Froude number of about 0.37 while, between a length-displacement ratio of 6.0 and 7.0, this occurs for speeds in excess of a Froude number of approximately 0.42. In the Froude number range up to 0.37 to 0.42 various sailing yachts, designed to perform best when sailing upwind at a Froude number of 0.34, dominate the category of round-bilge hulls with the lowest resistance-to-weight ratio.

The greatest advantage of the Fast Displacement Hull occurs at a Froude number of around 0.5 - the speed at which the main hump in the resistance curve attains its maximum. The improvement is some 17% in resistance, for both intervals in length-displacement ratio. This proves the efficacy of the hull design methodology based on CFD rather than on design charts or on empirical equations based on systematic model test results.

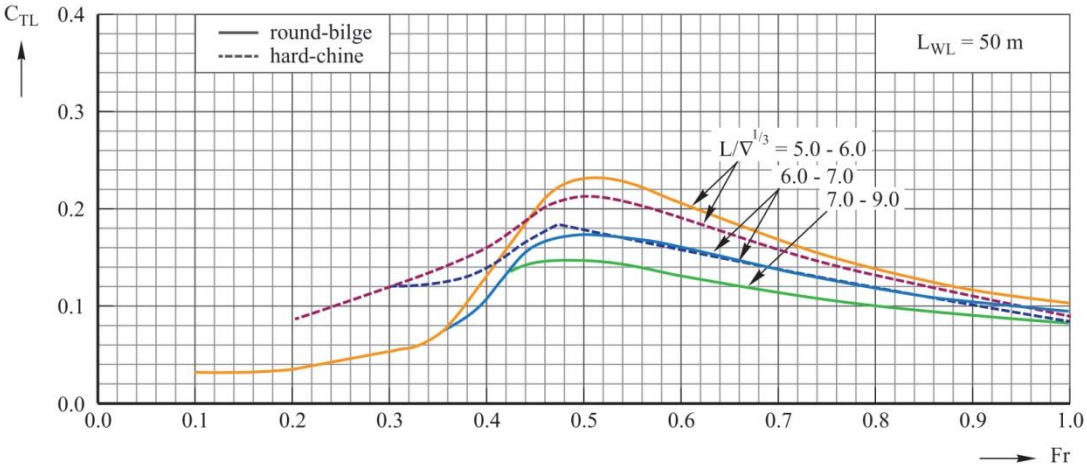


Figure 30: The overlay of the minimum CTL curves for classical round-bilge hulls and hard-chine hulls reveals that the hard-chine hull offers a lower resistance-to-weight ratio for values of the length-displacement ratio's less than about 7.0, for Froude numbers in excess of about 0.45 to 0.5

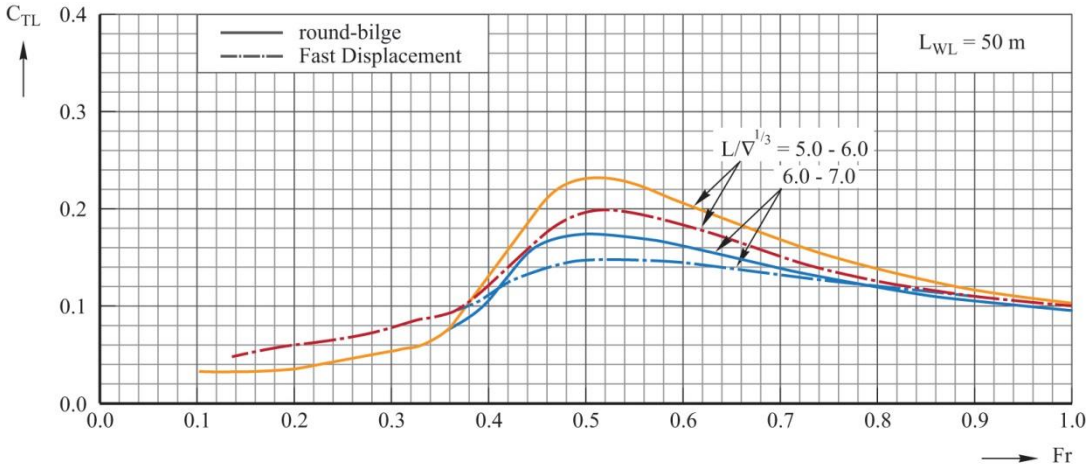


Figure 31: The comparison of attainable CTL values as a function of Froude number for the classical round-bilge hull and the Fast Displacement Hull reveals that in the considered intervals in length-displacement ratio the re-vitalized version of the round-bilge hull possesses less resistance per unit of weight upwards of a Froude number of 0.37 to 0.42, depending on length-displacement ratio. Below this value of the Froude number various sailing yachts possess a lower resistance per unit of weight

The comparison between the minimum CTL curves for the Fast Displacement hull and hard-chine hulls is shown in Figure 32. For both intervals in length-displacement ratio considered the Fast Displacement Hull offers less resistance per unit of weight in almost the entire region of the intermediate-Froude speed range – for the length-displacement interval between 5.0 and 6.0 up to $Fr = 0.9$, and in the length-displacement interval between 6.0 and 7.0, up to $Fr = 0.8$. Insufficient design data is available for the Fast Displacement Hull with greater

length-displacement ratio's but the data that exists suggests that in the length-displacement range between 7.0 and 9.0 the Fast Displacement Hull possesses less resistance per unit of weight in the entire speed range up to $\mathrm{Fr} = 1.0$.

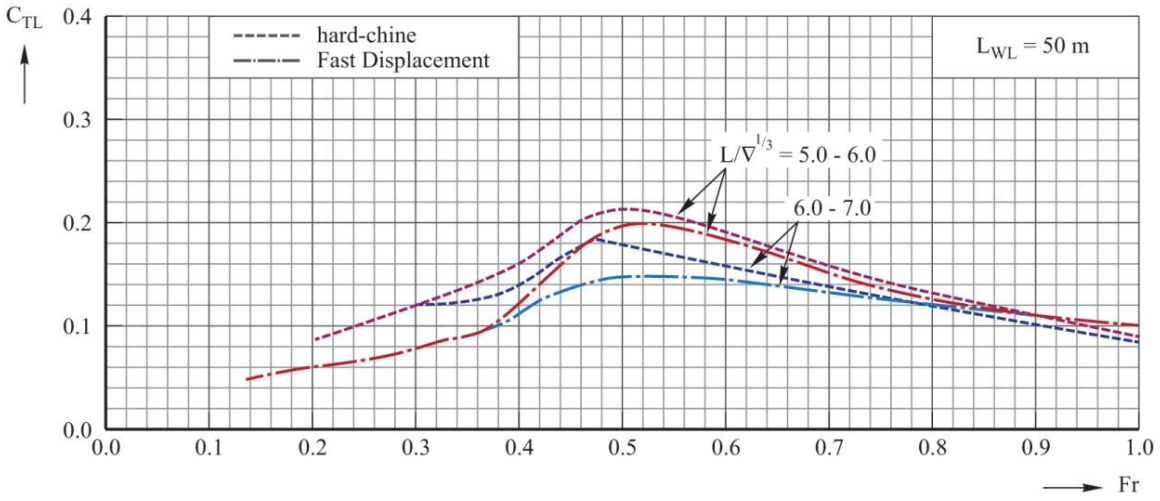


Figure 32: Comparison of attainable CTL values as a function of Froude number for the Fast Displacement Hull and its hard-chine counterpart, revealing that the re-vitalized round-bilge hull is the better option from the viewpoint of resistance in the considered range of Froude number

11. CONTROL OF RUNNING TRIM.

11.1 The Need to Control Running Trim

The occurrence of waves along the hull causes a change in the longitudinal distribution of buoyancy. The volume of displaced water in way of a wave crest is increased while the volume of displaced water in way of a wave trough is decreased. This causes the hull to adopt a bow-up or bow-down attitude in the water and to sink deeper in the water or to rise out of the water, by a some amount. These changes, generally referred to as "trim and sinkage", or "trim and rise" as the case may be, are dynamic in nature and depend strongly on the speed of the vessel – more specifically on the Froude number, and the loading of the vessel. To distinguish this change in trim from a change in trim angle caused by non-design loading of the vessel, dynamic trim is frequently referred to as "running trim". Up to a Froude number of about 0.35 the hull often adopts some measure of bow-down running trim, which quickly reduces with a further increase in speed. The hull is back at even trim at a Froude number of about 0.43 and with a further increase in speed the hull will adopt a bow-up attitude, reaching a maximum at a Froude number of approximately 0.52 in the case of sailing yachts under the

influence of the bow-down moment exerted by the resulting sail force and, in the case of motor vessels, at a Froude number in excess of 0.8. Here, we need to distinguish between the running trim exhibited by hulls designed to develop significant hydrodynamic lift (hard-chine hulls) and those that do not (Fast Displacement Hulls). Hard-chine hulls exhibit a significantly greater variation in running trim. In the case of the Series 62 models for example running trim ranges from 0 to 20 degrees in the case of the model with a length-beam ratio (L_P/B_P) of 2.37, and from 0 to nearly 7 degrees for the model with L_P/B_P equal to 8.56. The running trim angle of the model with $L_P/B_P = 5.0$, for the 12 combinations of ∇ and L_{cg} for which towing tests were carried out, have been plotted in Figure 33, to a base of Clauser's lift coefficient, defined by:

$$C_{L_g} = \frac{\rho g \nabla}{½\rho V^2 B_P L_{cg}} = \frac{2}{{Fr_g}^2} = \frac{2\left(\frac{L_P}{B_P}\frac{L_P}{L_{cg}}\right)}{Fr^2\left(\frac{L_P}{\nabla^{⅓}}\right)^3} \tag{18}$$

in which Fr_g is defined by:

$$Fr_g = V\sqrt{\frac{B_P L_{cg}}{g\nabla}} = \frac{Fr\left(\frac{L_P}{\nabla^{⅓}}\right)^{3/2}}{\left(\frac{L_P}{B_P}\frac{L_P}{L_{cg}}\right)^{½}} \tag{19}$$

Naval architects have found that careful tuning of the form of the hull and the longitudinal position of the centre of gravity will lead to the wanted running trim angle at the design speed and design displacement in many cases, but at every other combination of speed and displacement the resulting running trim will differ from the optimum value. An active control of running trim is thus necessary – even in the case of well-designed round-bilge hulls not developing meaningful hydrodynamic lift which, at most, display a variation in running trim of some 2.5 degrees. By optimising running trim throughout the range of speeds and loadings of interest the resistance is often decreased by 10% or more.

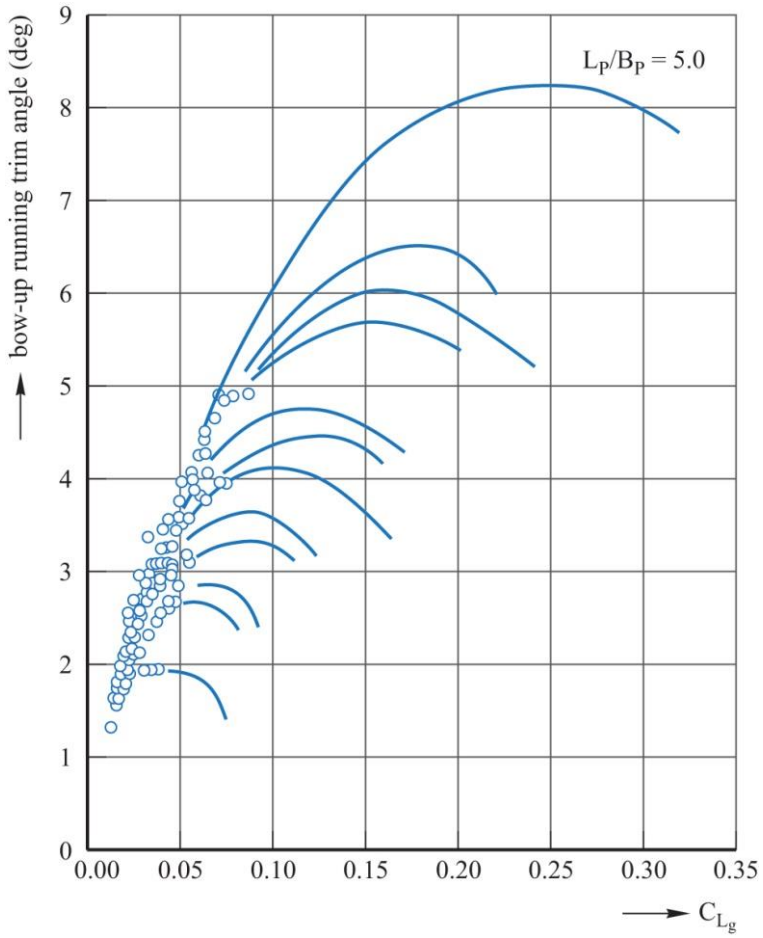


Figure 33: The variation in the running trim of hard-chine hulls is significantly greater than the variation found for round-bilge hulls not designed to develop significant hydrodynamic lift. This is predominantly caused by the greater movement of the centre of pressure on the hull with increasing speed in the case of planing hulls. The curves of running trim shown here, plotted to a base of the lift coefficient as adopted by Clauser (1988), are for the 12 different combinations of $\frac{L_P}{\nabla^{1/3}}$ *and* $\frac{L_P}{L_{cg}}$ *for which the centre model of the Series 62 was tested. Note that low speed data points are situated on the right and high speed data points on the left in this plot*

The optimum running trim angle varies with hull geometry. For moderate to high length-beam ratio round-bilge hulls with corresponding moderate to high length-displacement ratio's the optimum running trim angle is generally between 0.5 and 1.5 degrees. As length-beam ratio and length-displacement ratio decrease the optimum running trim angle increases. For the Series 62 hard-chine planing hulls, for example, this is between 3.5 and 4.5 degrees, but in the case of more slender hard-chine hulls this is usually less. In general, high running trim angles result in high levels of pressure resistance while low running trim angles result in high levels of friction resistance. It is common to adopt a slightly higher trim angle in waves than the angle that corresponds to obtaining minimum resistance in smooth water. As an example, the

running trim measured on a model of the 65m motor yacht "Galactica Star", featuring a Fast Displacement Hull, with and without active trim control, is shown in Figure 34.

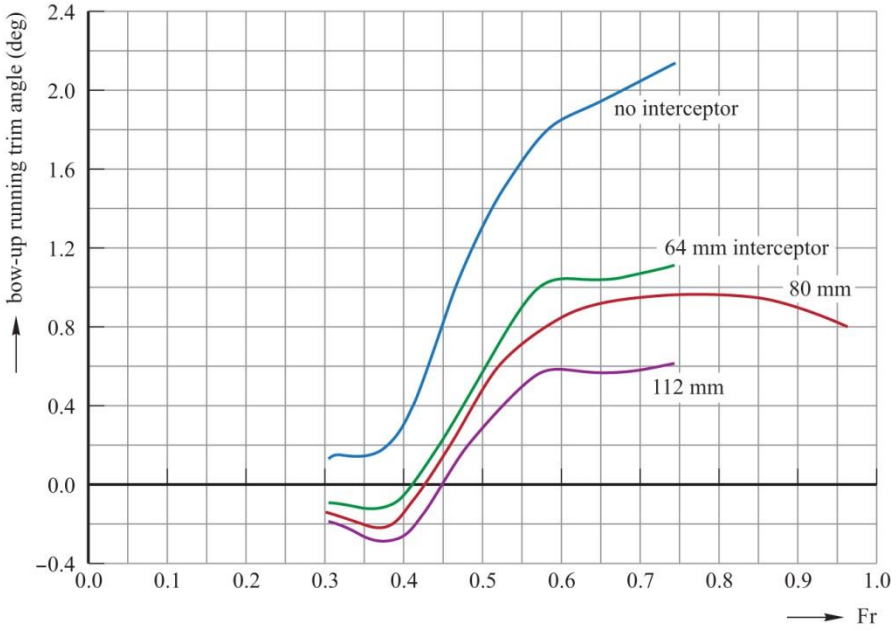


Figure 34: The variation in running trim in the case of the Fast Displacement Hull generally varies no more than some 2.5 degrees. The running trim as measured on a model of a 65 m Fast Displacement Hull is here shown for the case without interceptor, and for 3 settings of the applied interceptor. For the 80 mm setting the obtained reduction in resistance was between 5% to 10% in a considerable part of the speed range. The cited tab lengths of the interceptor in this figure are the scaled-up model values. Actual full-scale values are nearly 50% less, for reasons described in Paragraph 11.4.

11.2 Stern Wedges.

The earliest record of controlling running trim is probably the citing by Whitley (1983). He describes the use of a "staukeil" – a wedge-shaped appendage below the stern of 16 German destroyers of Type 34/34A, laid down in 1934 and 1935. He recounts that the object thereof was to "deflect the propeller wash in a downward direction and thereby produce an upward moment of force under the stern, so that at high speed the ship, instead of squatting down by the stern, would take up a more level attitude." He records that these wedges caused the bow of these vessels in waves to burrow itself deeper into the sea throwing up masses of spray, rendering conditions for the men on board very difficult. He also attributes the cracking problems amidships in the steel structure of these vessels as being caused by the "staukeil". These wedges were later removed and similar German destroyers laid down later (Types 35, 37 and 39), did not feature these wedges. However, they re-appeared on the Schnellboot

during the Second World War, as already recounted. Initially, these torpedo boats featured two smaller rudders aside the main rudders, which were oriented such that the outboard sides thereof induced a high pressure region below the hull, but later vessels would also be fitted with the stern wedge shown in Figure 13. It can only be surmised that the stern wedge served the purpose of reducing bow-up trim adequately.

The stern wedge is a fixed appendage of non-variable geometry and, accordingly, while reducing the bow-up running trim over the complete range of speeds, can only optimize running trim within a small range of speeds. On choosing the length and angle of the wedge so as to optimize running trim at cruising speed, it is often found that the bow-up trim at maximum speed is insufficient, causing too much bow immersion, whereby resistance increases and problems with spray occur such as reported by Whitley with respect to the German Type 34/34A destroyers. Furthermore, a stern wedge increases the wetted area of the transom at low speeds, causing a resistance penalty at these speeds, at least up to the speed at which the flow leaves the bottom edge of the transom. The typical geometry of the stern wedge is shown in Figure 35.

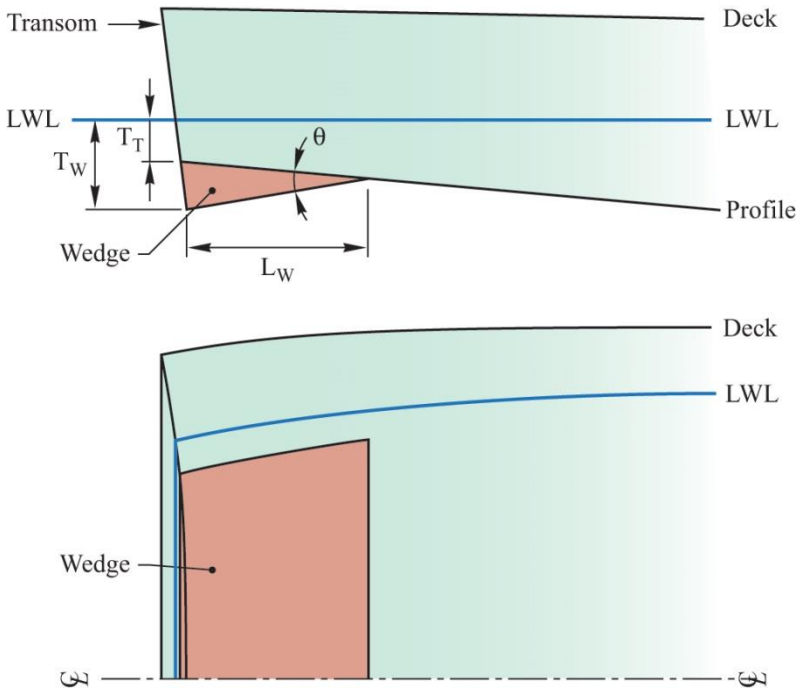


Figure 35: The geometry of the stern wedge is governed by its length L_W and the wedge angle θ. The increase in transom draught, equal to $T_W - T_T$, caused by the addition of the wedge, is an important variable in connection with the excess resistance incurred in the Froude number range up to about 0.3

Various studies of the effect of stern wedges on resistance have been published. The most notable of these are those carried out by the U.S. Navy and reported by Karafiath & Fisher (1987), and Karafiath & Lin (1999). The effect of adding a stern wedge, in terms of its effect on running trim, and the associated change in resistance, are well documented. Common wedge lengths range from 1.0 to 2.5% of L_{WL}, and wedge angles from 5 to 15 degrees. The resistance is increased at low speeds up to a Froude number of about 0.3, and reduced at higher Froude numbers. Resistance reductions are typically 5.0 to 7.5%, but sometimes as high as 10%.

11.3 Trim Tabs.

The need for an adjustable device with which the running trim can be corrected, allowing for different settings at different speeds, became broadly recognized with the advent of the hard chine hull for use as pleasure craft. One of the first patents filed on such a device is that by Donald and Peter Elyosius who, in 1955, applied for a patent on a stern-mounted hydrofoil device (U.S. patent 2,832,304). This device, shown in Figure 36, allowed for a discrete number of different settings. At the time, this was a novel idea. Many such patents were to follow, all differing in the mode of adjustment.

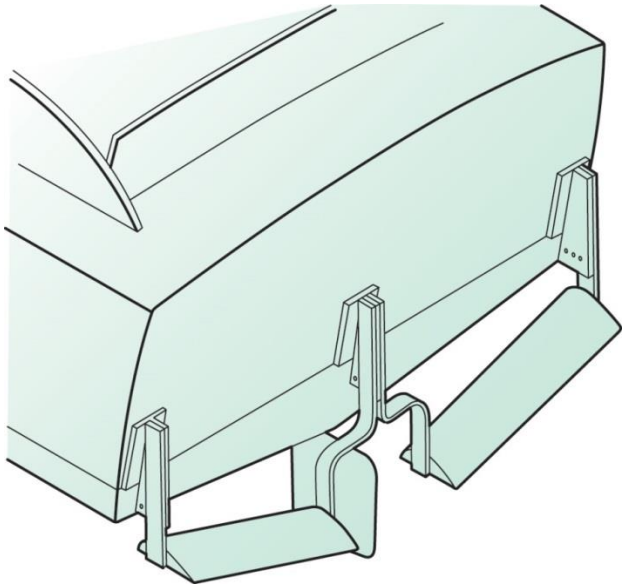


Figure 36: When the hard-chine hull became broadly accepted as the preferred hull for small and fast pleasure craft the need for an adjustable device with which the running trim can be corrected became obvious to many. This lead to many patents adopting tabs and foils for this purpose, such as the patent by Donald and Peter Elyosius (filed in 1955), on a stern-mounted hydrofoil device (U.S. patent 2,832,304)

A particular interesting device is that developed by J. Plum, one of the pioneers of the stepped planing hull. Plum applied for a patent as early as 1928 on "the provision of means for elevating and lowering the fan-shaped hydroplane element at the stern of the boat to trim the boat to the most favourable planing angle…." (U.S. patent 1,779,075). He was to apply for patents on improvements of this fan-shaped trimming device, to which he referred as an automatic stabilizer, on 2 further occasions, in 1931 (U.S. 1,875,135) and in 1965 (U.S. 3,260,229). The stabilizer is adjustable in angle of attack and in vertical position. In the retracted position the stabilizer fitted in a recess in the transom. In that location the stabilizer is suitable for application to planing craft, utilizing only the angle of attack adjustment. The stabilizer was also intended for use on flying boats for which purpose the stabilizer also needed to develop a force in the opposite direction such that the stern of the hull is pulled down. This was achieved by lowering the stabilizer and setting it to a negative angle of attack. This device is shown in Figure 37.

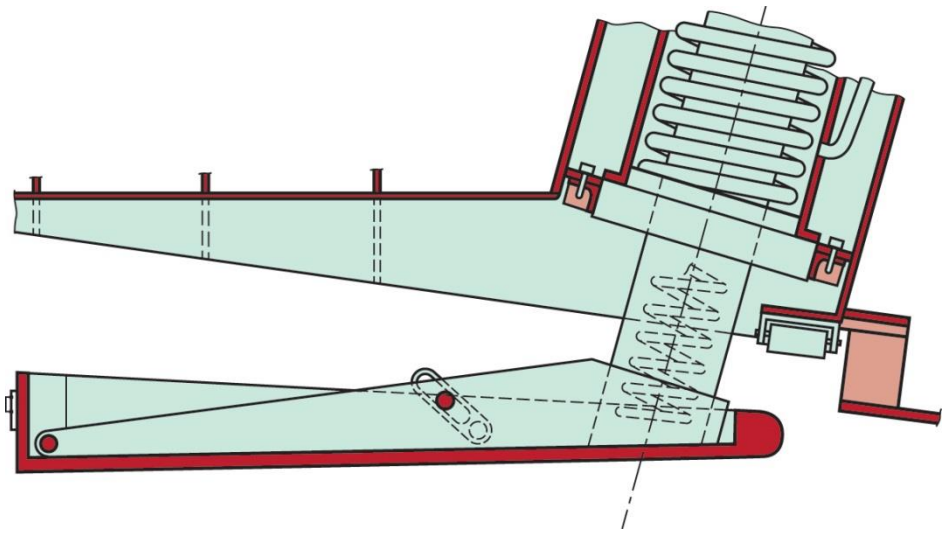


Figure 37: J. Plum, one of the pioneers of the stepped planing hull, filed patents in 1928, 1931 and 1965 on an automatic stabilizer. The version shown above is from his 1966 application (U.S. patent 3,260,229). The stabilizer is fan-shaped in plan view and adjustable in height and angle of attack. In the retracted position it fits in a recess in the hull

According to Baglietto (1985) controllable trim tabs were first used on the Dark Class Motor Torpedo Boats before 1960. These consisted of a single foil fitted below the transom, the bottom edge of which possessed zero deadrise. The orientation of the foil was adjustable by means of a screw operated by hand from the rear deck. He further cites the finding, approximately in 1963, that the trim tab didn't need to possess a cambered foil-type section but could consist of a simple flat plate hinged to the bottom of the transom. Rotation thereof

downwards into the flow below the transom by means of a hydraulic piston or electric motor produces sufficient lift to bring the hull to the wanted running trim. Many small pleasure craft now employ such a device for controlling running trim.

The performance improvement obtained from a simple flat plate hinged to the transom and rotated downwards to the required angle by means of a hydraulic cylinder or electric motor is comparable to that obtained by means of a stern wedge. The reductions in resistance obtained at higher speeds are often some 5.0 to 7.5%, but sometimes as high as 10%. However, contrary to the case of the stern wedge, at speeds corresponding to Froude numbers less than about 0.3, very little resistance increase is found (if any) due to the ability of the device to be rotated to a setting not leading to a greater transom depth. A factor of importance in obtaining a meaningful resistance reduction is the aspect ratio of the device, defined as the width of the flat plate divided by its longitudinal chord length. This needs to be as high as possible, for example, such as shown in Figure 38. The width is often restricted however by the degree to which the bottom edge of the transom is straight and of constant deadrise.



Figure 38: For adjustable trim tabs to be efficient these need to possess a high aspect ratio such as the example shown in this photograph. The aspect ratio is defined as the width of the flat tab divided by its longitudinal chord length

11.4 Interceptors.

An interceptor is the simplest of devices for controlling running trim. It consists of a thin plate or tab, aligned with the transom and fitted to the bottom thereof, such that this extends into the flow by a small distance. The flow is thereby deflected downwards with the effect of increasing the pressure distribution on the bottom of the hull nearby, responsible for the lift force exerted on the hull at that location and the resulting reduction in bow-up running trim angle. This increase in pressure has been measured on model scale by Steen (2007). The principle thereof is as indicated in Figure 39. This method of controlling running trim for high-speed craft was first reported by Ponomarev (1991), who also coined the word "interceptor". However, the use of a small tab projecting at right angles from the surface of a wing near the trailing edge had been researched long ago by Edward Zaparka, who applied for a patent on the concept in 1931 (U.S. patent 19,412). Racing car driver Dan Gurney found, in 1971, that the tab, when fitted to the high pressure side of the rear wing on his Indianapolis 500 racing car, that the down-force produced by the rear wing was so much greater that it resulted in understeer, requiring extra down-force at the front of the car to compensate. He consulted with Liebeck, an aerodynamicist employed by McDonell Douglas, on the device which led to the testing thereof in a wind tunnel (Liebeck 1978). He, and other aerodynamicists since, refer to the tab as the Gurney flap. The wind tunnel tests revealed that apart from an increase in lift coefficient, independent of angle of attack (similar to the effect of increasing camber), the tab also decreased resistance in certain cases, specifically at high angles of attack when the lift coefficient exceeds 1.0 and when the aerofoil suffers from some boundary layer separation. At small to moderate angles of attack an increase in resistance was observed.

The adjustable interceptor described by Ponomarev is shown in Figure 40. The complex adjusting mechanism shown is infrequently adopted in practice today. Companies that have developed adjustable interceptors have, instead, opted for a relatively simple mechanism consisting of a hydraulically-operated cylinder that slides the interceptor up and down along the transom.

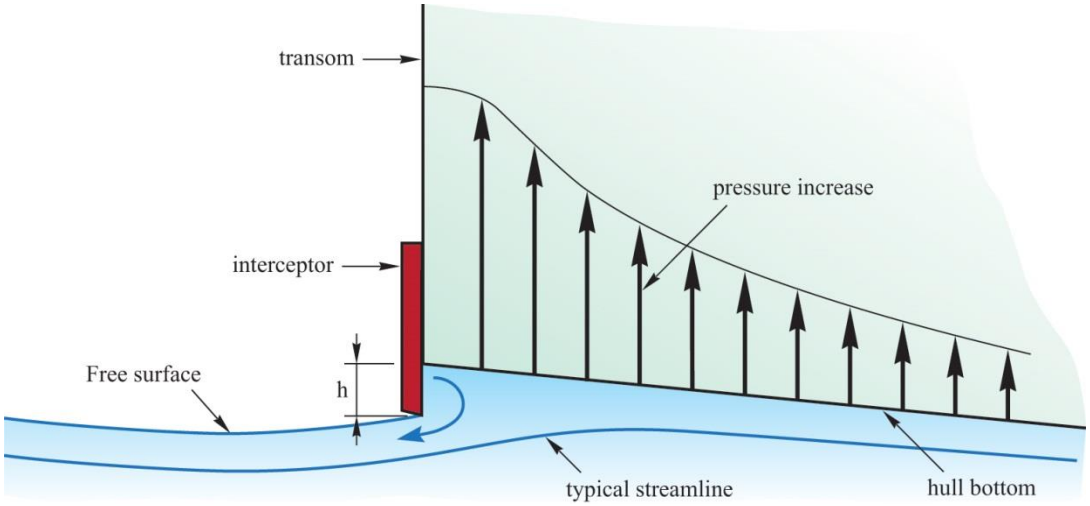


Figure 39: The interceptor, derived from the Gurney flap, and originally proposed by Ponomarev (1991), consists of a flat plate or tab that is aligned with the transom such that it protrudes into the flow by a small distance h - usually between 0.1% and 0.2% of the length of the hull. This causes a major change to the flow whereby a considerable increase in pressure is built up on the hull nearby

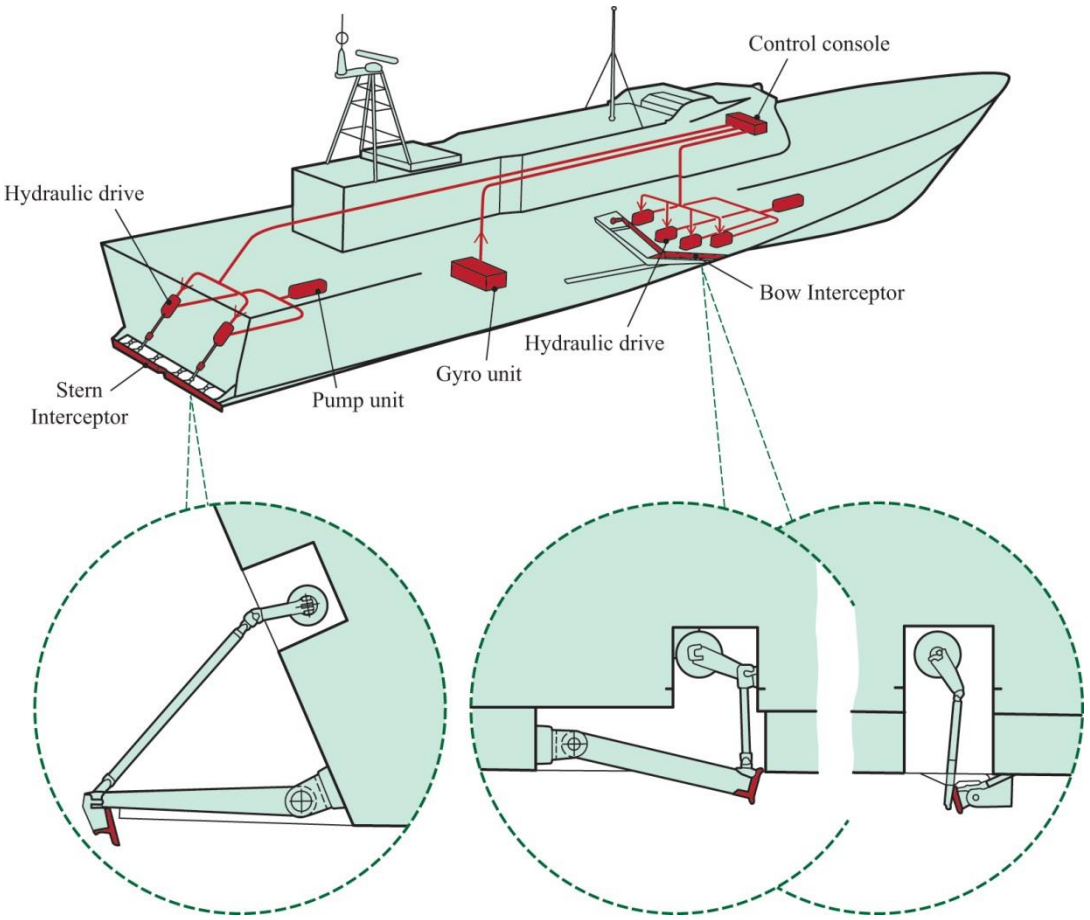


Figure 40: Schematic design of the adjustable interceptor arrangement originally proposed by Ponomarev (1991)

Studies of the Gurney flap, have revealed that optimum performance, in terms of either the maximum lift-to-drag ratio, maximum lift, or minimum drag, is obtained when the length of the flap is between 1% and 2% of the chord length, and figures around 1.2% are often quoted. At the Reynolds numbers of the subject wind tunnel tests this is approximately some 60% to 80% of the displacement thickness of the turbulent boundary layer at the location of the flap. In the case of interceptors however the optimum length of the tab, in terms of obtaining the running trim angle at which the resistance is reduced most, is appreciably less – sometimes less than 0,1% of the length of the submerged hull when the interceptor encompasses the full beam of the transom. At a Reynolds number of around 5×10^8 this amounts to only 10% of the displacement thickness of the turbulent boundary layer as calculated, for example, by the formula given by White (1991), viz.:

$$\frac{\delta}{L} = \frac{0.16}{Re^{1/7}} \tag{20}$$

in which: δ = Displacement thickness of turbulent boundary layer on a flat plate;

L= Distance between the origin of the boundary layer and the location of interest on the hull;

Re= Reynolds number, as defined by (7), based on speed of the hull and the length L.

The value of $\frac{\delta}{L}$ according to (20) is plotted in Figure 41 to a base of log(Re).

The length of the tab of the interceptor is particularly dependent on the type of hull and the degree to which it wants to adopt bow-up running trim. Data for sailing yachts have been collected by Day & Cooper (2011) which reveals that typical values are within a band between 0.05% and 0.3% of hull length. This is similar to the experience obtained with other hull forms. The study performed by Karimi et al (2013), involving a greater variation in the form, size and speed of hulls fitted with interceptors, reveals a corresponding greater spread of tab-length data – up to 0.7% of hull length, with the data for the HSS 1500 high-speed catamaran ferry constituting outliers. On subtracting the data for catamarans (which possess narrow interceptors because of the limited beam of the demi-hulls), the variation in tab length is similar to that described by Day & Cooper. In the case of non-adjustable interceptors the

tab length quoted is also not often optimum (at the speed quoted) due to these interceptors needing to result in an acceptable running trim over the complete speed range of interest. In the case of adjustable interceptors this is of no concern.

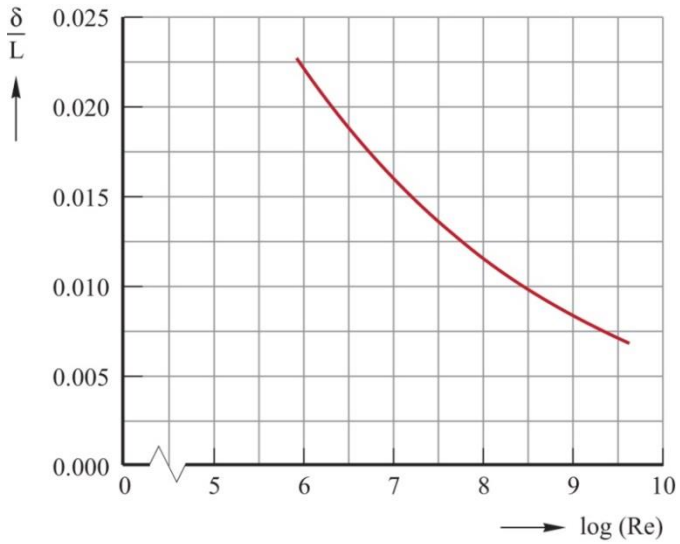


Figure 41: In the range of Reynolds numbers that frequently occur in ship hydrodynamics (between $1 \, x \, 10^6$ *and* $1 \, x \, 10^9$*) the displacement thickness of the turbulent boundary layer at the transom of the hull, when modelled by the respective formula for a flat plate, such as that given by White (1991), is approximately between 0.8% and 2.2% of the waterline length of the hull as shown here. Optimum settings of the interceptor, based on obtaining the wanted running trim angle for minimum resistance, are only some 10% of this thickness when the interceptor encompasses the full beam of the transom*

The tab length of the interceptor cannot be geometrically scaled from model tests. Comparison of model and full scale data reveals that the relative length of the tab on full scale is appreciably less than on model scale. In absence of CFD calculations or full-scale data, a scaling based on maintaining the same tab length-boundary layer thickness ratio between model and full scale is more appropriate.

Model tests have shown that the performance of interceptors is similar to that of trim tabs, but that trim tabs are able to generate greater forces in an absolute sense. No noticeable increase in resistance is found in the speed range up to a Froude number of 0.3 such as caused by a stern wedge, and the reductions in resistance due to the reduction in bow-up running trim are similar to that produced by trim tabs. This is sometimes as much as 10%. Various researchers have quoted greater reductions in resistance but the hull form in those cases is usually excessively beamy, leading to a greater resistance penalty when running at the high non-optimum trim these hulls want to adopt. The similarity of the performance of trim tabs and

interceptors is a consequence of the fact that the reduction in resistance found is due to the change in trim angle rather than a change associated with the geometry of the trim flap or the interceptor. When both a trim tab and an interceptor are configured to produce the same change in running trim angle the change in resistance found will be very nearly the same.

11.5 The Hull Vane®.

Saunders (1957), in volume 1 pp. 377, writes: "the water flowing upward from the bottom, as well as that closing in around the run, should if possible have all the energy represented by the inward and upward components of velocity extracted from it before it leaves the ship. Both inward and upward energy act to form a high roach [wave] astern. All the energy in such a formation, or in a wave train left astern, is subtracted from the propulsive energy and thrown away……." The extraction of this energy has been the subject of years of study by the author in the past which, in the period between 2002 and 2007, led to the filing of various patents on the "Hull Vane®, a foil positioned transversely in the upwards- and inwards-directed flow, below and behind the hull. This foil extracts part of the energy, thus defined by Saunders, by allowing the flow to develop a substantial lift force on the foil, which force is directed upwards and forwards, as shown in Figure 42.

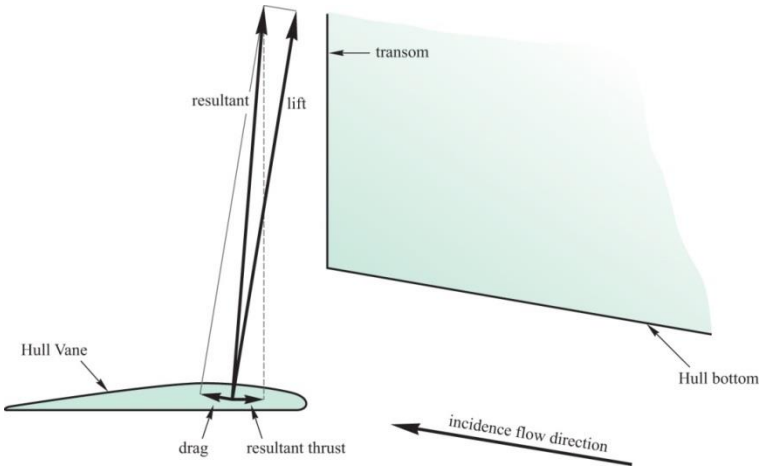


Figure 42: The Hull Vane® utilizes the upwards and inwards flow below and behind the hull to generate a substantial lift force. By definition, this lift force is at right angles to the incoming flow such that the horizontal component thereof constitutes a thrust force. On compounding this thrust force with the horizontal component of the resistance force a net thrust is retained by which the total resistance of the hull is reduced. The inwards-directed flow develops a similar lift force on the vertically-oriented struts supporting the main foil

When the foil is properly sized the result of the generated lift is to reduce bow-up running trim. This function of the Hull Vane® is the same as that of stern wedges, trim tabs and interceptors, but there is otherwise no similarity with these devices. Apart from developing a thrust force that other trim-controlling devices do not, the position -below and aft of the hull - and the size of the Hull Vane®, are such so as to cause a considerably greater modification of the pressure distribution on the hull. The result thereof is a significant change to the divergent and transverse wave systems the hull generates. An example thereof is shown in Figure 43, in which the wave system is shown for a 55 m supply vessel without (top half of the figure) and with (bottom half) a Hull Vane®, as calculated by CFD. The resulting change in the build-up of pressure- and friction resistance along the length of the hull is shown in Figure 44, leading to an overall average reduction in resistance, which was confirmed during sea trials, of 13.5% over the complete speed range for which measurements were carried out (13.0 to 20.7 knots), with a peak of 16% at a speed of 19.0 to 19.5 knots. A photograph of the Hull Vane® just prior to the fitting thereof to the transom is shown in Figure 45.

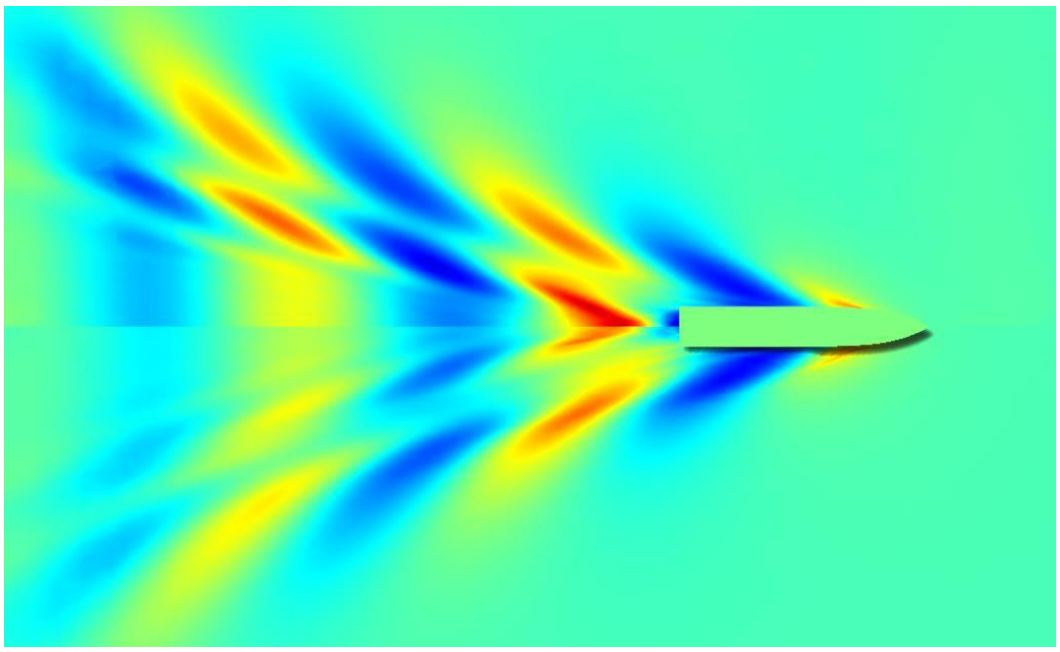


Figure 43: The modification of the pressure distribution on the hull due to the presence of a Hull Vane® results in an appreciable change of the wave system generated by the hull as shown here. The top half of this figure shows the wave system for the hull without Hull Vane® and the bottom half for the hull with Hull Vane®. The presence of the Hull Vane® reduces the height of the wave peaks (red) and the depth of the wave troughs (blue). The subject CFD calculations are for the 55 m fast supply and intervention vessel "Karina" built by Shipyard De Hoop in Lobith, The Netherlands, for a speed of 20 knots

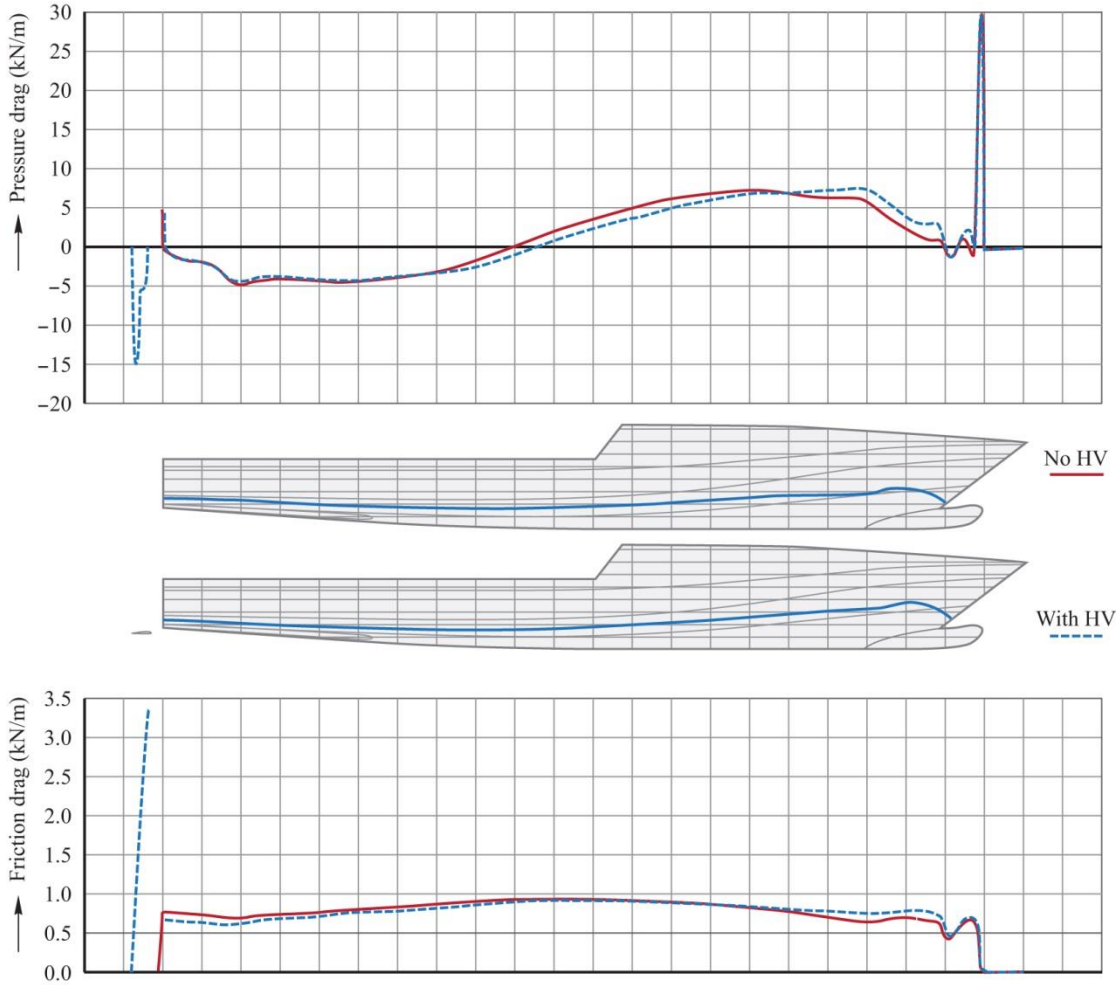


Figure 44: The effect of adding the Hull Vane® on the build-up of pressure- and friction resistance along the hull is shown here for the 55 m supply vessel "Karina", for a speed of 20 knots, revealing the existence of the thrust force on the Hull Vane® and the change in the pressure distribution on the hull, part of which is associated with the lesser bow-up trim. The combined effect thereof, for this vessel, is a decrease in overall resistance of 16% at a speed of 19.0 to 19.5 knots, and an average decrease, in the speed range between 13.0 and 20.5 knots, of 13.5%

In waves the angle of attack of the flow to the foil varies, increasing the lift when the motion of the Hull Vane®, relative to the water surface, is downwards, and decreasing the lift when the motion of the Hull Vane® is upwards. The average of this change over time is not zero but such that lift and thrust are increased. Measurements thereof have been performed on model scale for a variety of hull forms. The results thereof vary, but a decrease of the so-called added resistance in waves is always found, for specific hull forms by as much as 20%, which decrease is caused by both the increased thrust of the main foil and by the damping of heave and pitch motions associated with the increased lift when the stern is depressed, and the

lesser lift when the stern is lifted. Measurements have shown that this same mechanism also causes roll motions to decrease.

The end result of these 4 effects caused by the Hull Vane® - these being the delivered thrust, the reduction in bow-up running trim, the modified pressure distribution on the hull, and the decrease of added resistance in waves, varies from one vessel to another. Apart from the differences in the influence of the hull form on the upwards- and inwards-inclined flow at the location of the main foil, the speed of the vessel is also of significance. To overcome the friction resistance of the foil and supporting struts some minimum measure of lift needs to be generated, which occurs at a Froude number of approximately 0.23. However, power savings in calm water for some ships have been found at a Froude number as low as 0.165. The variation therein depends to a certain extent on the size (span and chord length) of the Hull Vane® foil in relation to the size of the hull.



Figure 45: Photograph of the Hull Vane® just prior to the fitting thereof to the transom of the 55 m supply vessel "Karina"



Figure 46: Photograph of the Hull Vane® fitted to the 42 m motor yacht "Alive" with which an average reduction in required power of 14.0% was obtained in a speed range between 9 and 16.5 knots, and a reduction of 23% at 16.5 knots

To minimize induced resistance (the additional resistance associated with the generation of lift) it is important to maximize the span of the main foil. In most cases the adopted design process leads to a span equal to between 80% and 90% of the beam of the vessel. The chord length (and the angle of attack setting) is particularly dependent on the wanted running trim at maximum speed, since the Hull Vane® has no adjustable components. It is common to find that the resulting aspect ratio is then between 6.0 and 8.0.

Specific results of different case studies and sea trials have been presented by Uithof et al (2014) and by Bouckaert et al (2015). Power savings range up to more than 25%. Of particular note are the results obtained for the 42 m motor yacht "Alive", which were confirmed on sea trials. A photograph of the Hull Vane® fitted to that vessel is given in Figure 46. This yacht features a Fast Displacement Hull and when the results of the sea trial for that vessel are plotted in the attainable CTL graph for the Fast Displacement Hull presented in Figure 29 the curve labelled "$L/\nabla^{1/3} = 5.5$ (+Hull Vane)", shown in Figure 47, is found. This represents a significant improvement in attainable CTL in the speed range corresponding to a Froude number range between 0.2 and 0.45. An additional curve is shown in this figure presenting the results of an extensive CFD study for a slender Fast Displacement Hull fitted with optimized outriggers (in terms of length, displacement, and stagger) and with

a Hull Vane® fitted between the outriggers, aft of the main hull. This represents a significant improvement in attainable CTL in the Froude number range upwards of 0.5.

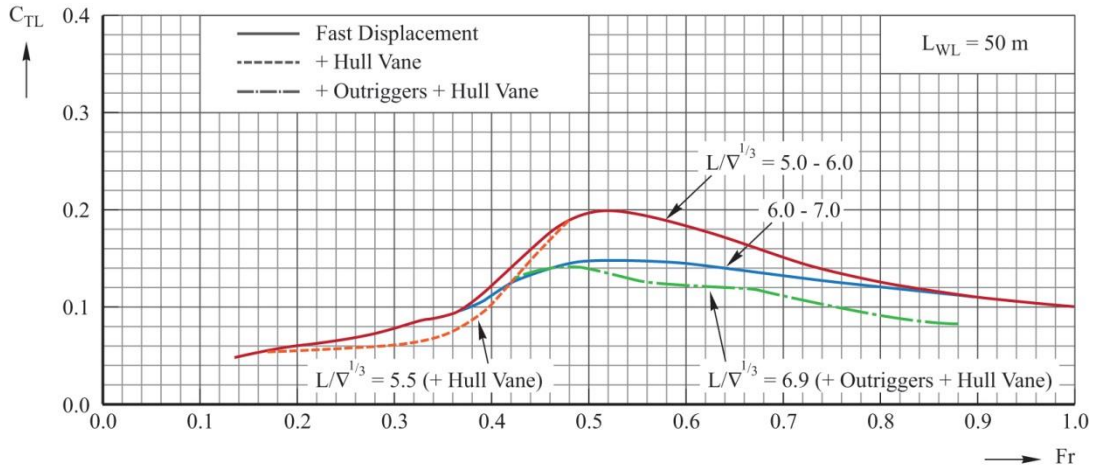


Figure 47: Plots of the minimum value of the Telfer CTL factor against Froude number for the Fast Displacement Hull, for discrete ranges of the length-displacement ratio, for hulls with a length of 50 m on the waterline, to which curves have been added for Fast Displacement Hulls fitted with a Hull Vane® leading to further improvements in CTL. The curve for a length-displacement ratio of 5.5 is that for the 42 m motor yacht "Alive" and the curve for a length-displacement ratio of 6.9 is that of a slender Fast Displacement Hull fitted with optimized outriggers to which a Hull Vane® has been fitted between the outriggers, aft of the main hull

12. CONCLUSIONS.

A review of much of the available data on the resistance and seakeeping behaviour of slender round-bilge and hard-chine hull forms for operation in the intermediate-Froude range of speeds, defined to be in the range of speeds corresponding to Froude numbers between Fr = 0.4 and Fr = 1.0, reveals that from the viewpoint of resistance the modern counterpart of the slender round-bilge hull, with a bulbous bow (or a vertical stem), and active running trim control, such that the hull is able to maintain a more-or-less constant horizontal attitude with increasing speed, is the best choice.

When the performance in waves is furthermore of importance (for example in terms of the sustainable speed in waves), all slender round-bilge hulls not designed to develop dynamic lift show lesser accelerations and, generally, a better behaviour. This is a consequence of the wave-piercing nature of these hulls causing them to be less susceptible to effects associated

with waves. Hard-chine hulls are dependent on the free surface for their performance, even in the intermediate-Froude range of speeds, and when the free surface is disturbed by waves, speed has to be reduced to avoid the high loads the hull is subjected to when it lifts off one wave to slam down onto the next. But this comes at a price when this voluntary reduction in speed causes the hull to run at Froude numbers less than about 0.5. The deep transom and the non-rising buttocks of the hard-chine hull do not allow for significant pressure-recovery along the aft-body, resulting in a significant increase in resistance relative to the round-bilge hull as can be seen in Figures 30 and 32. Furthermore, the wash that is generated at these speeds – a consequence of the hull form and the considerable bow-up attitude that the hull then usually adopts – is often a hindrance to nearby boats and, in restricted water, causes the erosion of shores and banks.

The efforts in the USA to develop more slender hard-chine forms with a double chine, as shown in Figure 20, has led to an improvement of the behaviour in waves, particularly when combined with a high deadrise in the fore-body (often referred to as deep-V hulls). But as soon as the development of hydrodynamic lift becomes significant enough to cause a substantial lift of the hull it gradually loses its wave-piercing nature and starts to become dependent on the form of the free surface for its attitude in the water, with a degradation of its behaviour in waves as a result. Towards the end of the intermediate-Froude range of speeds the dynamic lift is some 50 to 60% of the weight of the vessel, with a significant rise of the hull as a result.

The domain of the hard-chine hull is the Froude number range upwards of a Froude number of 1.0 (and in the case of high length-displacement ratio's, well in excess of $\mathrm{Fr} = 1.0$) in which the resistance of the round bilge hull increases at a faster rate with increasing speed than the resistance of a fully planing hull, particularly when the design value of the length-displacement ratio cannot be increased beyond about 6.0. A fully planing vessel then possesses a small wetted area and a lower friction resistance as a consequence and, when the bow-up running trim can be restricted to a few degrees, its pressure resistance is also low. The pressure resistance at planing speeds, according to Savitsky (1964), is expressed as:

$$D_P = W_S \tan(\theta) \qquad (21)$$

in which: D_P = Pressure resistance;

W_S = Weight of vessel;

θ = Running trim angle.

The disadvantage of the slender round-bilge hull is the restriction on weight which excludes consideration of this hull for vessels with high payloads. For this reason many small naval combatants utilize hard-chine hulls. The armament and payload of the German Schnellboot was not significantly greater than that of the hard-chine coastal torpedo boats employed by the British and U.S. navies during the Second World War. Yet the Schnellboot was some 10 m longer and considerably more expensive to build.

At high speed both types of hull may incur unstable behaviour. Hard-chine hulls are prone to instability in the longitudinal plane. This phenomenon, known as “porpoising”, was referred to in Paragraph 8.2. It can be avoided by re-locating the longitudinal centre of gravity forward or by reducing bow-up running trim by means of methods described in Paragraph 11. Round-bilge hulls are prone to develop low pressure on the fore-body when the waterlines in that region display relatively high convex curvature. When there is some degree of asymmetry in these areas of low pressure between port and starboard sides, for example when the hull is at some angle of yaw, or when the bow is immersed in a bow-quartering wave, this may lead to a sizeable transverse force causing the hull to broach. Waterlines in the fore-body should therefore not possess high convex curvature – also because this is not beneficial from the viewpoint of resistance. Some naval architects adopt extra safeguards in this regard such as by increasing the lateral area of the skeg or the rudders, or by adding course-stabilizing fins, whereby the directional stability of the hull is increased. Another consequence of regions of low pressure on the hull, when these occur amidships, is the possible reduction in metacentric height due to the loss in transverse inertia associated with the deep wave trough that some hulls may develop. This may cause the hull to adopt an angle of loll. Slender round-bilge hulls rarely suffer from this phenomenon however. Finally, all types of hull may suffer from air being drawn down into the propeller plane when the aft-body is particularly shallow, in combination with propellers that are heavily loaded. This phenomenon may be adversely influenced by any area on the hull above the propellers giving rise to a region of low pressure.

13. BIBLIOGRAPHY.

Baglietto, P. (1985), "Fast Patrol Boats & Motor Yachts and their Historical development", Proceedings of the 10th WEGEMT School on High Speed and Pleasure Craft, Genoa, Italy, Royal Institution of Naval Architects, London.

Bailey, D. (1976), "The NPL High Speed Round Bilge Displacement Hull Series", Maritime Technology Monograph No. 4, The Royal Institution of Naval Architects, London, England.

Bailey, D. (1982), "A Statistical Analysis of Propulsion Data Obtained from Models of High-Speed Round Bilge Hulls", paper presented at the Symposium on Small Fast Warships and Security Vessels, organized by The Royal Institution of Naval Architects, London, England.

Blok, J. J. & Beukelman, W. (1984), "The High-Speed Displacement Ship Systematic Series Hull Forms – Seakeeping Characteristics", Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 92, pp. 125-150.

Blount, D. L. (2013), "Beyond Displacement Speeds", Marine Technology, published by the Society of Naval Architects and Marine Engineers, April 2013, pp. 20-27.

Blount, D. L. (2014), "Performance by Design – Hydrodynamics for High-Speed Vessels", Published by Donald L. Blount, Virginia Beach, VA 23471, USA; ISBN 0-978-9890837-1-3.

Bouckaert, B., Uithof, K., Oossanen, P. G. van, Moerke, N., Nienhuis, B. & Bergen, J. van, (2015), "A Life-Cycle Cost Analysis of the Application of a Hull Vane® to an Offshore Patrol Vessel", Proceedings of the 13th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2015), Washington, USA, organized by the Society of Naval Architects and Marine Engineers, ISBN.

Bramwell, F. J. (1872), "On Quick Steam Launches", Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Vol. 13, pp. 269-280.

Clark, D. J., Ellsworth, W. M., & Meyer, J. R. (2004), "The Quest for Speed at Sea", Technical Digest, Naval Surface Warfare Center, Carderock Division, Washington, USA.

Clauser, F. H. (1988), "An Analysis of the Performance of Planing Hulls", Proceedings of the Symposium on Hydrodynamic Performance Enhancement for Marine Applications, The University of Rhode Island, Kingston, Rhode Island, USA, pp. 207-216.

Clement, E. P. & Blount, D. L. (1963), "Resistance Tests of a Systematic Series of Planing Hull Forms", Transactions of The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 45.

Davidson, K. S. M. & Suarez, A (1941), "Tests of Twenty Related Models of V-Bottom Motor Boats – U.S.E.M.B. Series 50", Report No. 170, Experimental Towing Tank, Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ.

Day, A. H. & Cooper, C. (2011), "An Experimental Study of Interceptors for Drag Reduction on High-Performance Sailing Yachts", Journal of Ocean Engineering, Vol. 38, pp. 983-994.

Gabrielli, G. & von Kármán, Th. (1950), „What Price Speed? – Specific Power Required for Propulsion of Vehicles", Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Volume 72, No. 10, pp. 775-781.

Hadler, J. B. (1966), "The Prediction of Power Performance on Planing Craft", Transactions of The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 74.

Holling, H. D. & Hubble, E. N. (1974), "Model Resistance Data of Series 65 Hull Forms, Applicable to Hydrofoils and Planing Craft", Naval Ship Research and Development Centre Report No. 4121.

Kapsenberg, G. K. (2012), "The MARIN Systematic Series Fast Displacement Hulls", Proceedings of the 22nd International Symposium on Yacht Design and Construction, Amsterdam, The Netherlands, November 2012.

Kapsenberg, G. K., Aalbers, A. B., Koops, B. K. & Blok, J. J. (2015), "Fast Displacement Ships – The Marin Systematic Series", Published by the Maritime Research Institute Marin, Wageningen, Netherlands.

Karafiath, G. & Fisher, S. C. (1987), "The Effect of Stern Wedges on Ship Powering Performance", Naval Engineers Journal, Vol. 99, Issue 3, pp. 27-38.

Karafiath, G. & Lin, C.-W. (1999), "Stern Wedges and Stern Flaps for Improved Powering – U.S. Navy Experience", Transactions of The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 107, pp. 67-99, ISBN: 0-939773-26-2.

Karimi, M. H., Seif, M. S. & Abbaspoor, M. (2013), "An Experimental Study of Interceptor's Effectiveness on Hydrodynamic Performance of High-Speed Planing Crafts", Journal of Polish Maritime Research, Vol. 20, No. 2, pp. 21-29.

Keuning, J. A. & Gerritsma, J. (1982), "Resistance Tests of a Series of Planing Hull Forms with 25 Degrees Deadrise Angle", International Shipbuilding Progress, Vol. 29, No. 337.

Kowalyshyn, D. H. & Metcalf, B. (2006), "A USCG Systematic Series of High Speed Planing Hulls", Transactions of The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 114, pp. 268-309, ISBN: 0-939773-58-9.

Liebeck, R. H. (1978), "Design of Airfoils for High Lift", Journal of Aircraft, Vol. 15, No. 9.

Lord, L. (1963), "Naval Architecture of Planing Hulls", 3rd edition, Cornell Maritime Press, Inc., ISBN: 978-0870330674

MacPherson, D. (2015), "A Critical Re-Analysis of the Series 64 Performance Data", Proceedings of the 13th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2015), Washington, USA, organized by the Society of Naval Architects and Marine Engineers.

Marwood, W. J. & Bailey, D. (1969), "Design Data for High-Speed Displacement Hulls of Round-Bilge Form", National Physical Laboratory Ship Report No. 99, February 1969.

Morabito, M. G. (2013), "Re-Analysis of Series 50 Tests of V-Bottom Motor Boats", Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 121, ISBN: 978-0-939773-95-4.

Neu, W. L. (2013), "Gabrielli - von Kármán: Updating the Plot", Marine Technology, Published by the Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), April 2013, pp. 17-19.

Oossanen, P. van (1980), "Resistance Prediction for Small High-Speed Displacement Vessels: State of the Art", International Shipbuilding Progress, Vol. 27, No. 313, September 1980.

Oossanen, P. van (1988), "MARIN-Systematic Series of High-Speed Displacement Ship Hull Forms", "Schip en Werf", Vol. 55, No. 9/10, May 1988.

Oossanen, P. G. van, Heimann, J., Henrichs, J. & Hochkirch, K. (2009), "Motor Yacht Hull Form Design for the Displacement and Semi-Displacement Speed Range", Proceedings of the 10th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST2009), Athens, Greece; ISBN: 978-960-254-688-8 (Vol. II).

Ponomarev, A. (1991), "New Method for Improvement of Performance and Seakeeping Characteristics of High-Speed Craft", Proceedings of the First International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 1991), Trondheim.

Radojcic, D., Grigoropoulis, G. J., Rodic, T., Kuvelic, T. & Damala, D. P. (2001), "The Resistance and Trim of Semi-Displacement, Double-Chine, Transom-Stern Hull Series", Transactions of the 6th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2001), organized by the Royal Institution of Naval Architects, Vol. III, pp. 187-195.

Sahoo, P. K., Peng, H., Won, J. & Sangarasigamany, D. (2011), "Re-evaluation of Resistance Prediction for High-Speed Round Bilge Hull Forms", Proceedings of the 11th Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2011), Honolulu, Hawaii, USA, September 2011.

Saunders, H. E. (1957), "Hydrodynamics in Ship Design", published in 3 volumes by The Society of Naval Architects and Marine Engineers (the 3rd volume was published in 1965).

Savitsky, D. (1964), "Hydrodynamic Design of Planing Hulls", Marine Technology, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 1, No. 1, October 1964.

Savitsky, D., Roper, J. K. & Benen, L. (1972), "Hydrodynamic Development of a High Speed Planing Hull for Rough Water", Transactions of the 9th Office of Naval Research Symposium on Naval Hydrodynamics.

Savitsky, D. & Gore, J. L. (1979), "A Re-Evaluation of the Planing Hull Form", Transactions of the AIAA/SNAME Advanced Marine Vehicles Conference, October 1979. Also published in the Journal of Hydronautics, Vol. 14, No. 2 (1980), pp. 34-47.

Smith, K. (2009), "Turbinia – The Story of Charles Parsons and his Ocean Greyhound", Tyne Bridge Publishing Co. UK.

Steen, S. (2007), "Experimental Investigation of Interceptor Performance", Proceedings of the 9th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST2007), Shanghai, China, ISBN: 978-1-62276-412-9.

Taylor, D. W. (1943), "The Speed and Power of Ships", 3rd Edition (2nd Revision), United States Government Printing Office, Washington.

Telfer, E. V. (1963), "The Design Presentation of Ship Model Resistance Data", Transactions of the North-East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, Vol. 79, pp 357-390 and pp. D125-D148.

Uithof, K., Oossanen, P. van, Moerke, N. Oossanen, P. G. van & Zaaijer, K. S., (2014), "An Update on the Development of the Hull Vane", Proceedings of the 9th International Conference on High-Performance Marine Vehicles (HiPer 2014), Athens, Greece

White, F. M. (1991), "Viscous Fluid Flow", 2nd edition, published by McGraw-Hill, Inc., ISBN: 0-07-069712-4.

Whitley, M. J. (1983), "Destroyer: German Destroyers in World War II", Arms and Armour Press, London NW3 1QQ, ISBN: 0-85368-258-5.

Yeh, H. Y. H. (1965), "Series 64 Resistance Experiments on High-Speed Displacement Forms", Marine Technology, July 1965.

Zaaijer, K. S. (2009), "Aft Ship Optimization – A Means to an End", M.Sc. thesis, Delft University of Technology, Van Oossanen Naval Architects Report No. 07-084-440-01.

EXECUTING SHIP DETAILED DESIGN, PLANNING, AND MANUFACTURING ACROSS MULTIPLE SITES A DETAILED CASE STUDY OF A DANISH (OMT) AND CANADIAN (ISI) PROJECT

Jeva, Marcelo[1]; Guzzi, Davide[2]

[1]Gerente Comercial - Alas Ingeneiría Argentina

[2]Business Development Manager, Smart 3D - Intergraph Estados Unidos

Ship design is intensely challenging, being dictated by owner requirements, vessel type, building time, and other constraints. Shipyard's production engineering groups must check, validate, and reorganize the design teams' documents and data before procurement and production activities commence. To deliver the vessel on time and on budget, shipyard departments must work simultaneously and interact to ensure information is available and accessible when needed.

Some shipyards develop in-house design capabilities and expertise to improve planning, procurement and production processes. Others have to rely on external design agents with the consequence of adding more challenges to design and planning processes. Technology improvements in the last ten years enable shipyards and design agents to work concurrently on a project, reducing time required for communication and data exchange. CAD drawings, 3D models and an Internet fast connection, contribute to shipyards' ability to streamline the time between agents' new design releases and shop floor production activities start-up.

The authors of this paper will describe how the Danish design agent, Odense Maritime Technology (OMT), and Canadian shipyard, Irving Shipbuilding Inc. (ISI) collaborate to leverage modern 3D design technology to eliminate geographical boundaries, enable global work-share, and run parallel design and planning activities that quickly and accurately move design data to production. The authors will explore two key questions:

- Can the design process be concurrently influenced and controlled in a global distributed environment?

- Is it possible, with the help of technology, to skip the waterfall model and work concurrently with detailed design, planning and production preparation?


COTECMAR
IPIN
XXIV-COPINAVAL
Tendencias en Diseño
y Construcción de buques tipo OPV
(desde la experiencia en Colombia)
Contralmirante Jorge Enrique Carreño Moreno
Armada República de Colombia
15 AÑOS INNOVANDO POR COLOMBIA
Montevideo, Uruguay, Octubre 2015


COTECMAR
15 AÑOS INNOVANDO POR COLOMBIA
AGENDA
1. Qué es una OPV?
2. Tipos de Misiones
3. Aspectos característicos
4. Experiencia Colombiana
5. Qué es COTECMAR?



Diseñados para patrullar la Zona Económica Exclusiva (ZEE)



"Especializados en la conducción de Operaciones de Patrulla Militar (Operaciones Policiales y de Cumplimiento de la Ley), y adecuados con capacidades para realizar operaciones humanitarias y atención de desastres"

Fuente: NATO/PfP Working Paper on Small Ship Design



Patrulla Militar (Operaciones Policiales)

- Seguridad Marítima
  - Lucha contra terrorismo
  - Lucha contra piratería
  - Ayuda y apoyo Autoridades Civiles
- Seguridad de la Navegación
- Control de fronteras
- Control del Medio Ambiente

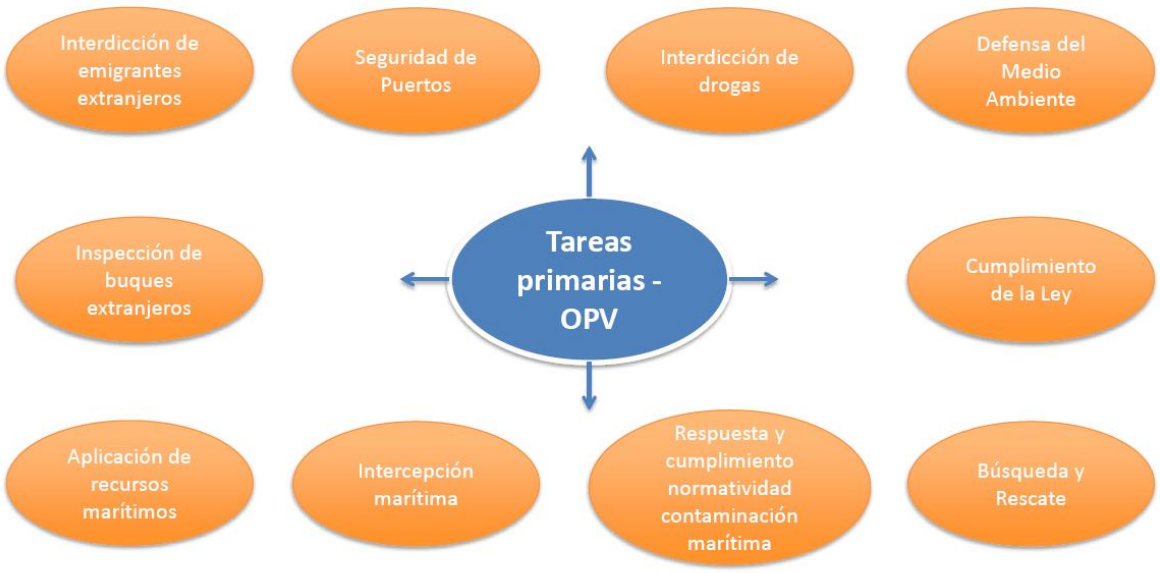


Ayuda Militar (Operaciones de Paz)

- Atención de desastres
- Atención humanitaria
- Evacuación de no – combatientes
- Búsqueda y Rescate

Fuente: NATO/PfP Working Paper on Small Ship Design





Fuente: NATO/PfP Working Paper on Small Ship Design

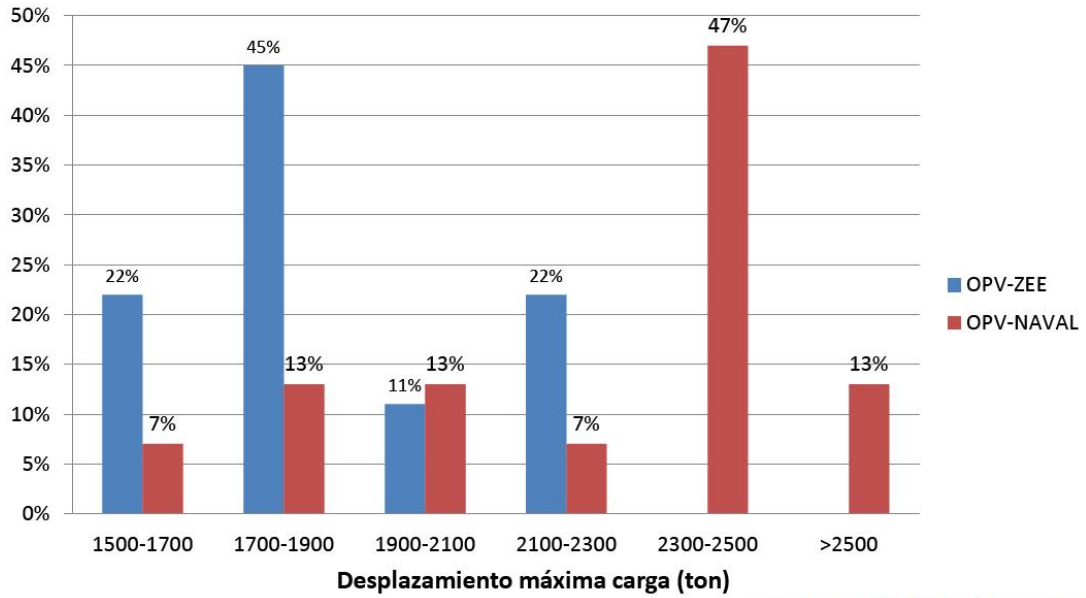


Tipos OPV	Operado por	Estándar de construcción	Sistema de Armas y sensores	Misiones
OPV – ZEE (Zona Económica Exclusiva)	Guardacostas o Fuerza Naval	Comercial	Cañón y sensores básicos, armamento menor de protección	Patrulla y Ayuda Militar
OPV – (Misiones específicas) Ej: Zonas Polares	Organización Gubernamental – Guardacostas o Fuerza Naval	Comercial – cumplimiento requerimientos específicos (ICE Class, PC7)	Armamento menor de protección	Investigación
OPV - Naval	Fuerza Naval	Mixto-Naval/Comercial	Sofisticados y costosos	Patrulla y Ayuda Militar + Operaciones limitadas de Control Militar

Fuente: NATO/PfP Working Paper on Small Ship Design



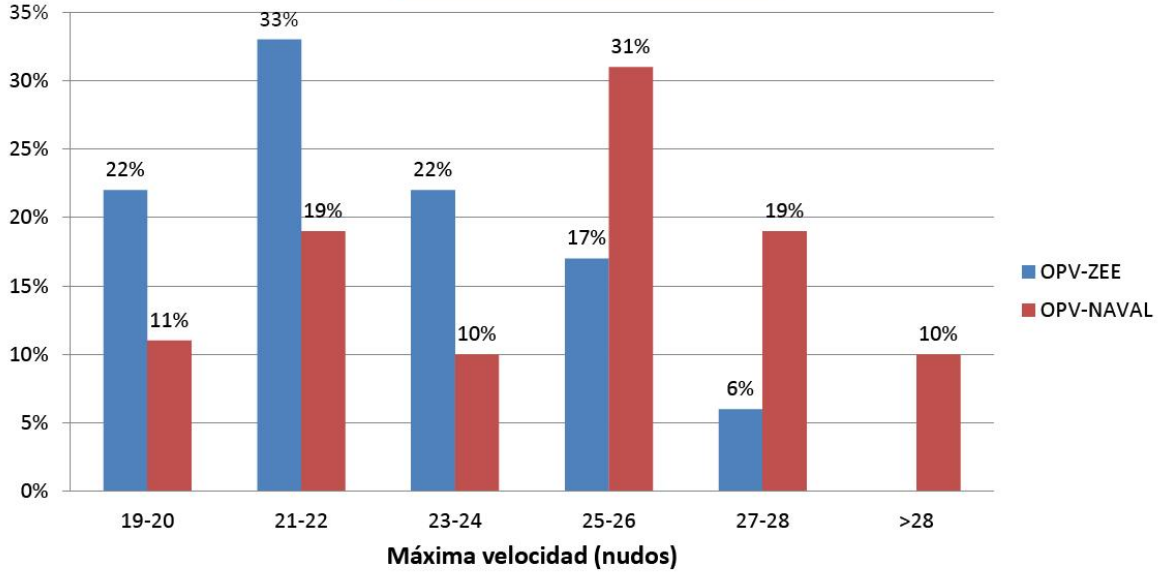
Desplazamiento máxima carga



Fuente: JANE´S & Naval Technology



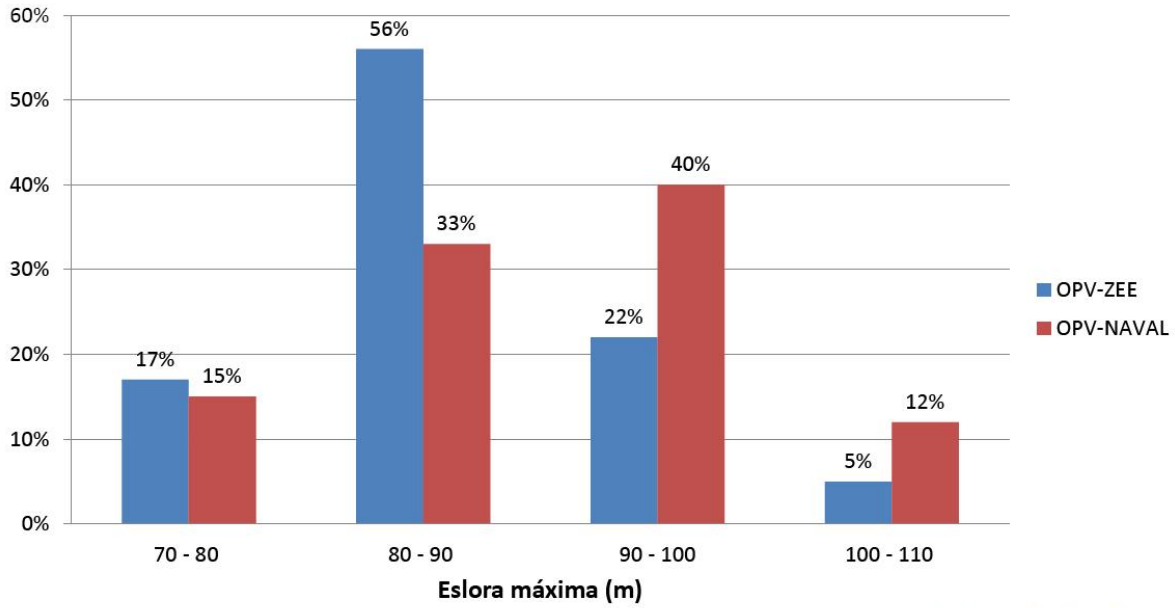
Máxima velocidad



Fuente: JANE´S & Naval Technology



Eslora máxima



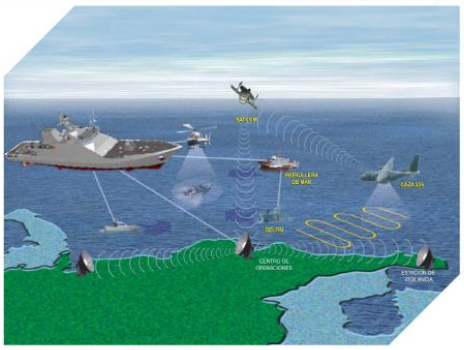
Fuente: JANE´S & Naval Technology



Interoperabilidad
(STANAG 1310 – MTP 16 (D))

Buque - Aire

Capacidad de ejercer control positivo del Helicóptero.



Buque - Bote

Capacidad de lanzar, recuperar, manipular y almacenar botes bajo condiciones de mar exigentes.

Buque - Buque

Capacidad de ejecutar Operaciones de Reaprovisionamiento en el Mar (RAS), bajo condiciones de mar exigentes.

"Permanencia en el teatro de operaciones por períodos de tiempo más prolongados"

Fuente: ANEP 77 (Edition 3)-Naval Ship Code, 2011



Comportamiento en el mar

(STANAG 4154 (Edition 3) – STANAG 4194)

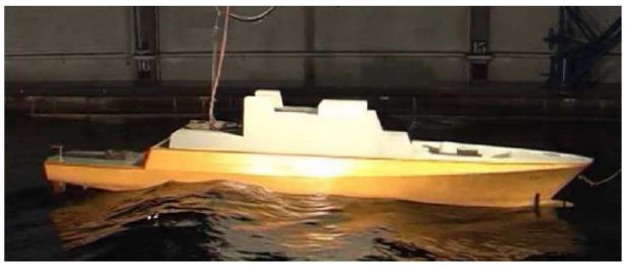


Tránsito y Patrulla

- Búsqueda y Rescate (SAR)
- Control de Pesca
- Interdicción de contrabando
- Patrullajes de vigilancia

Actividades de Apoyo

- Operaciones aeronavales
  - Toma y despegue de Helo
  - Operaciones cercanas con buques (VERTREP, HIFR, tanqueo en caliente, desplazamiento hacia el hangar)
- Reaprovisionamiento en el mar





Comportamiento en el mar

(STANAG 4154 (Edition 3) – STANAG 4194)

FACTOR DE MEDICIÓN (Indices)	LIMITE (eventos/hora)
Cubierta Mojada	30
Slamming	20
Emersión de la hélice (25% D)	90





FACTOR DE MEDICIÓN	LIMITE
MSI en proa	20% tripulación en 4 horas
MSI puente (helm station)	20% tripulación en 4 horas
MII popa	1/min.
MII cubierta de vuelo	1/min.



Redundancia y Separación

"De sistemas y equipos para mejorar la recuperabilidad del buque ante situaciones de emergencia"



- Sistema de Propulsión
- Sistemas de generación y distribución eléctrica
- Sistemas auxiliares



Habitabilidad

"Espacios mejor acondicionados para mejorar los aspectos relacionados con la salud, motivación y trabajo de la tripulación"



ANEP-24, Guidelines for shipboard habitability requirements for combatant surface ships, October 1993

ANEP-77, Naval ship code, Edition E Version 1, January 2014.

T9640-AC-DSP-010/HAB, Shipboard habitability design criteria and practices manual (Surface Ships) for new ship designs and modernization, 02 July 2013.

AJP-40.10(A), Medical Support Doctrine, March 2006.



Supervivencia

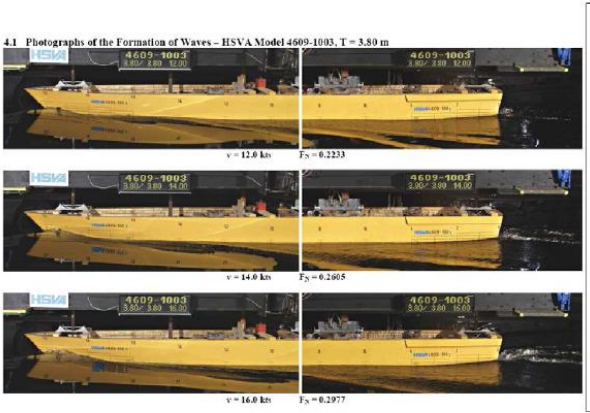
"Orientado a la disminución de la firma radar (Susceptibilidad) y la capacidad del buque y sus sistema para resistir una avería (Vulnerabilidad) hasta dos compartimentos estancos"

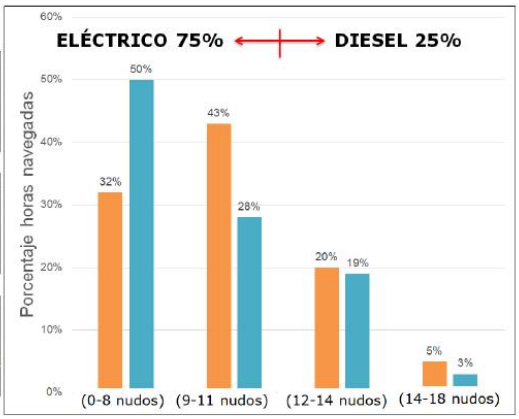




Economía de Operación

"Perfil de velocidades típicas optimizado para operar bajo regímenes más económicos de consumo de combustible"







INNOVACIÓN INCREMENTAL OPV



OPV 2da Generación
2015-2019



OPV III
2014 - 2017
Modificación Diseño COTECMAR



OPV 1era Generación
"ARC 20 de Julio" – "ARC 7 de Agosto"
2007-2010 / 2012-2014



INNOVACIÓN INCREMENTAL CPV



CPV MKII
2015-2019
COTECMAR



CPV ARC "Punta Espada"
2011 - 2014
Diseño y Construcción en COTECMAR



CPV ARC "Punta Soldado"
ARC "Punta Ardita"
2011-2014
Diseño COTECMAR –



ARMADA NACIONAL

Universidad – Empresa – Estado

No tiene asignación presupuestal por parte del Estado

Corporación de Ciencia y Tecnología

Constitución Política de Colombia, Ley 29 de 1990, Decreto 393 de 1991. Ley 1286 de 2009 – Ciencia y Tecnología.

- ENTIDAD SIN ÁNIMO DE LUCRO
- ESTATAL DE DERECHO PRIVADO
- ENFOCADA EN EL DESARROLLO DE C&T
- DINAMIZADOR INDUSTRIA ASTILLERA
- MODELO UNIV. - EMPRESA - ESTADO

Universidad Tecnológica de Bolívar · Universidad Nacional de Colombia · Universidad del Norte

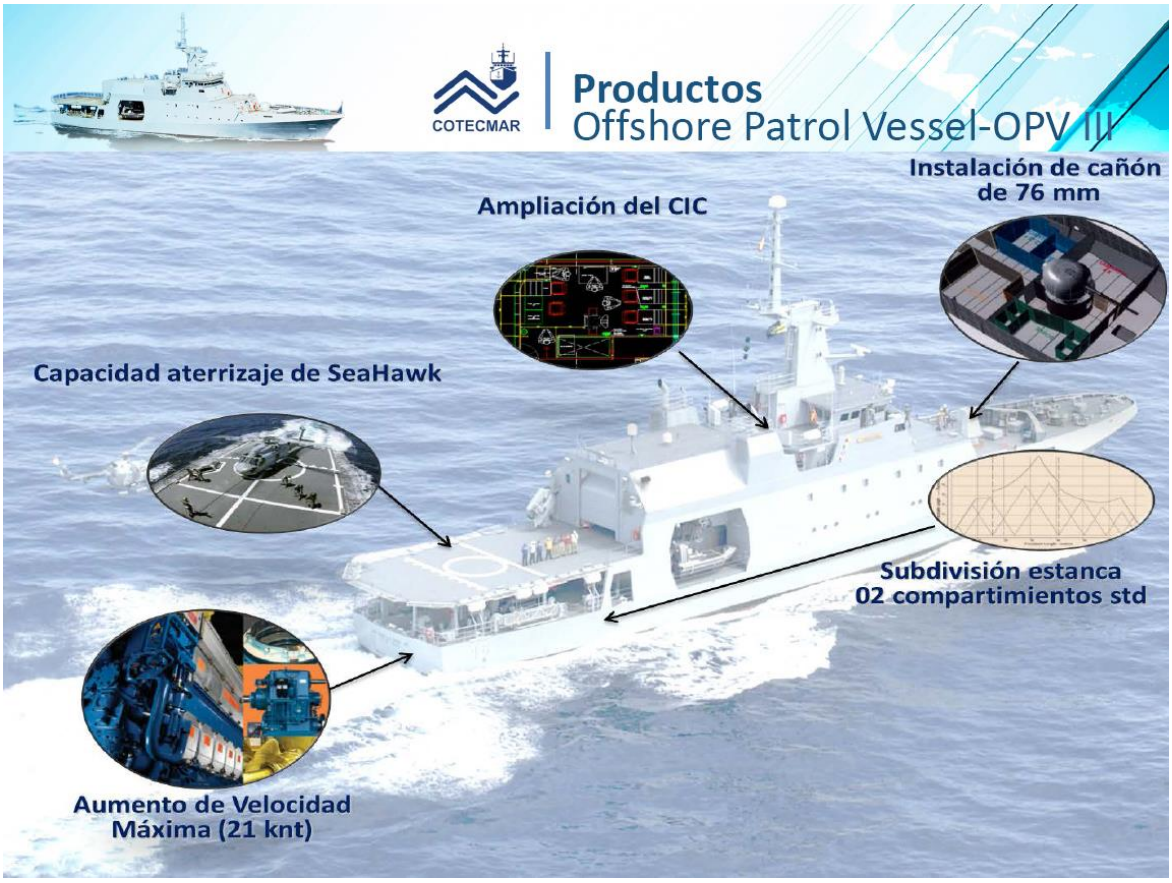
COTECMAR 15 AÑOS INNOVANDO POR COLOMBIA





COTECMAR 15 AÑOS INNOVANDO POR COLOMBIA


COTECMAR
Programas de Investigación
Diseño e Ingeniería
D&E
Programas de Investigación COTECMAR
TICC
MTN
Tecnologías de Informática, Comunicación y Control
Materiales y Tecnologías de Fabricación Naval
15 AÑOS INNOVANDO POR COLOMBIA


COTECMAR
Productos
Offshore Patrol Vessel-OPV III
Instalación de cañón de 76 mm
Ampliación del CIC
Capacidad aterrizaje de SeaHawk
Subdivisión estanca 02 compartimientos std
Aumento de Velocidad Máxima (21 knt)


COTECMAR
Productos
COASTAL PATROL VESSEL CPV
ACADEMY
STATE
INDUSTRY
OPERATED BY
COLOMBIAN NAVY
15 AÑOS
INNOVANDO
POR COLOMBIA


COTECMAR
Productos
Landing Craft Utility – LCU (BDA)
OPERATED BY
COLOMBIAN NAVY
ACADEMY
STATE
INDUSTRY
15 AÑOS
INNOVANDO
POR COLOMBIA


COTECMAR
Productos
Landing Craft Utility – LCU (BDA)


COTECMAR
Operaciones Fluviales
Patrulleras de Rio.

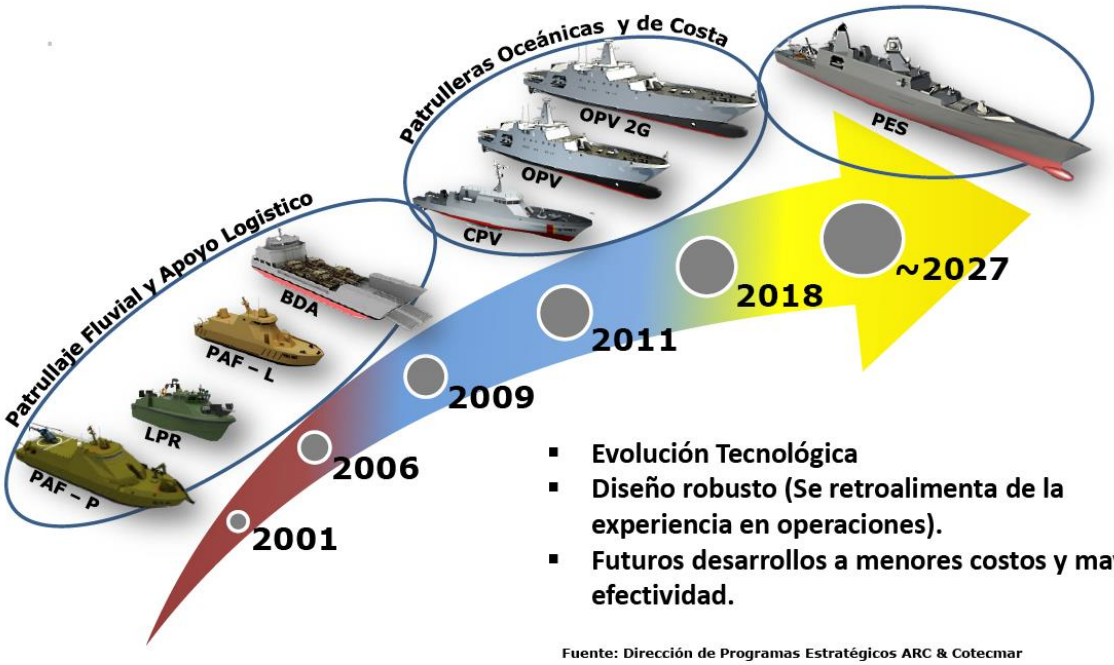

COTECMAR
Productos
Patrullera de Apoyo Fluvial – Pesada
PAF-P
OPERATED BY
COLOMBIAN NAVY
PROVED
IN
COMBAT
15 AÑOS
INNOVANDO
POR COLOMBIA


COTECMAR
Productos
Patrullera de Apoyo Fluvial – Liviana
PAF-L
COTECMAR
PROVED
IN
COMBAT
OPERATED BY
COLOMBIAN NAVY









- Evolución Tecnológica
- Diseño robusto (Se retroalimenta de la experiencia en operaciones).
- Futuros desarrollos a menores costos y mayor efectividad.

Fuente: Dirección de Programas Estratégicos ARC & Cotecmar

2. BUQUES MILITARES

ESTADO DEL ARTE Y FUTURO DE LOS SISTEMAS DE SUPRESIÓN DE FIRMA IR EN BUQUES DE GUERRA MEDIANTE LA REFRIGERACIÓN DE GASES DE EXHAUSTACIÓN

Villa Caro, Raúl[1], Carral Couce, Luis Manuel[2], Fraguela Formoso, José Ángel[3]; Pernas Urutia, Julio Manuel[4]

[1]Dr. Ing. Naval y Oceánico / Cap. Marina Mercante. Raúl Villa Caro. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. raul.villa@udc.es

[2]Dr. Ing. Naval. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. lcarral@udc.es

[3]Dr. Ing. Naval. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. jafraguela@udc.es

[4]Dr. Ing. Naval. Inspección de Construcciones Navales Militares de Ferrol. Armada Española. juliopernas@me.com

RESUMEN.

A la hora de evaluar la capacidad de supervivencia del buque de guerra actual habrá que considerar, entre otros aspectos, la susceptibilidad o incapacidad de la unidad para evitar ciertos sensores. La susceptibilidad dependerá, a su vez, del espectro de energía emitido y/o reflejado y de la modificación de parámetros físicos, encontrándose intrínsecamente relacionada con las firmas del buque.

De las firmas del buque de guerra destaca la firma IR, la cual tiene que ver con la radiación emitida y/o reflejada en dicha franja del espectro electromagnético. La firma IR tendrá un impacto negativo en la supervivencia del buque de guerra por constituirse en fuente de guiado de misiles IR, a la vez que permitirá su detección, clasificación y seguimiento.

Si bien existen diversos sistemas para la reducción de la firma IR generada por los gases de exhaustación en turbinas de gas marinas, la solución mayoritaria pasa por emplear aire ambiente para la refrigeración, por efecto eductor – difusor, tanto de los penachos de gases

como de las superficies visibles de los conductos de exhaustación, en base a la instalación de elementos estructurales de tipo pasivo en el último tramo del conducto de exhaustación.

En la actualidad, diferentes fabricantes se encuentran probando prototipos de tipo híbrido, consistentes en añadir rociadores de agua (técnica/mar) al sistema de enfriamiento tradicional o pasivo y consiguiendo, de esta forma, rebajar aún más la temperatura tanto de los gases como de los conductos de exhaustación.

Palabras clave: buque; firma IR; exhaustación, refrigeración.

1. SUPERVIVENCIA DEL BUQUE DE GUERRA.

A la hora de evaluar la capacidad de supervivencia del buque de guerra durante el proceso de diseño, habrá que considerar los siguientes aspectos:

- Susceptibilidad.- Probabilidad de recibir impactos. Dependerá del espectro de energía emitido y/o reflejado.
- Vulnerabilidad.- Grado de deterioro alcanzado tras un ataque. Dependerá del nivel de compartimentado, tipo de estructura, etc.
- Siniestralidad.- Probabilidad de destrucción después de recibir un impacto.

Los conceptos de susceptibilidad y vulnerabilidad contribuirán de manera directa a la siniestralidad y supervivencia del buque en el sentido siguiente:

Siniestralidad = Susceptibilidad x Vulnerabilidad
Supervivencia = 1 - Siniestralidad

Para conseguir una baja susceptibilidad o detectabilidad habrá que minimizar la cantidad de energía emitida y/o reflejada por el buque con el fin de reducir su influencia en el entorno, surgiendo de esta forma el concepto de *"firma"*.

Las principales firmas del buque de guerra son:

- Firma radar, relacionada con la energía de tipo electromagnético reflejada por la obra muerta y superestructura del buque.
- Firma acústica, relativa a la energía vibratoria de la maquinaria transmitida desde la obra viva al mar.

- Firma magnética, asociada a los campos magnéticos generados por la estructura del buque.
- Firma infrarroja, correspondiente a la radiación electromagnética emitida en la franja infrarroja del espectro.
- Firma eléctrica, generada por corrientes eléctricas producidas entre elementos metálicos unidos por un electrolito (agua de mar).
- Firma de presión, producida por el efecto Bernouilli del agua fluyendo desde su proa hacia su popa.

2. FIRMA INFRARROJA (IR).

Cualquier objeto a una temperatura superior a 0 K emitirá energía en la región IR del espectro electromagnético. La radiación emitida por un cuerpo negro se podrá representar como una función de longitud de onda (λ) y temperatura (T) de acuerdo a la *"ley de Planck"*:

$$S_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}}} \quad (1)$$

donde S_λ representa la emisión de radiación espectral ($Wcm^{-2}\mu^{-1}$) y c_1, c_2 son constantes de radiación ($c_1 = 3.7415\times104 Wcm^{-2}\mu^4$; $c_2 = 1.43879\times10^4 \mu K$). Integrando respecto de λ entre cero e infinito, se obtiene la "ley de Stephan-Boltzman" para un cuerpo negro:

$$S = \sigma T^4 \quad (2)$$

donde S es la emisión de radiación y σ es la constante de Stephan-Boltzman ($\sigma = 5.667\times10$-12W $cm^{-2}K^{-4}$). Para cualquier otro emisor, habrá que introducir el siguiente coeficiente en la anterior ecuación:

$$\varepsilon = \frac{S_{fuente}}{S_{cuerpo\ negro}} \quad (3)$$

donde ε es la emisividad de la fuente para una temperatura (T) y longitud de onda (λ) determinadas.

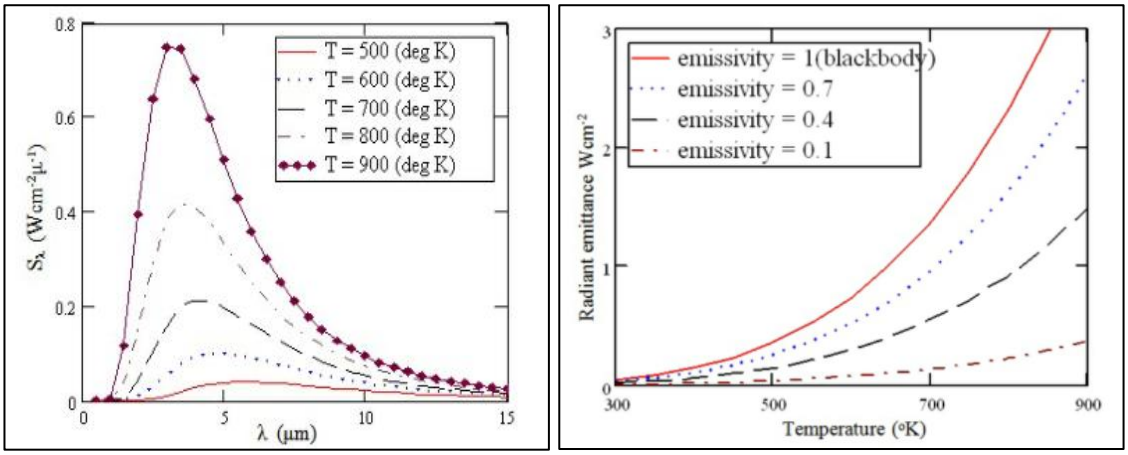


Figura 1. Radiación espectral (cuerpo negro) y curvas de emisión IR en función de ε

El efecto atenuador de la atmósfera en la energía IR emitida por un cuerpo vendrá representado por el concepto de *"transmitancia atmosférica"*:

$$\tau_a = e^{-\alpha R} \tag{4}$$

donde R es la distancia entre emisor y detector IR y α es el coeficiente de atenuación, descomponiéndose a su vez en los términos a *"absorción"* y γ *"dispersión"* (debido al vapor de agua y niebla contenidos en la atmósfera):

$$\alpha = a + \gamma \tag{5}$$

Como norma general, la atmósfera absorberá la totalidad de radiación IR emitida por un buque, excepto en ciertas bandas del espectro denominadas también *"ventanas atmosféricas"* y localizadas en la banda de 3 a 5 μm y de 8 a 12 μm.

Las *"ventanas atmosféricas"* se caracterizarán por elevados valores de transmitancia (τ_a), debido a bajos valores de atenuación (α). La presencia en la atmósfera de humedad, nubes y niebla tendrá una gran influencia en la absorción de radiación IR.

Las fuentes fundamentales de radiación IR del buque de guerra, clasificadas en función de las *"ventanas atmosféricas"*, son:

- El casco, superestructura y elementos de cubierta, debido a que son calentados por el sol y a un insuficiente aislamiento en cámaras de máquinas. Su contribución principal será en la banda de 8 a 12 μm.

- Conductos de exhaustación y otras superficies calentadas por los gases de escape, contribuyendo tanto en la banda de 3 a 5 μm como en la 8 a 12 μm.
- Gases de exhaustación, con una contribución muy significativa en la banda 3 y 5 μm, debido a la presencia de dióxido de carbono y vapor de agua.

Las amenazas del buque de guerra respecto de su firma IR son principalmente las siguientes:

- Misiles anti-buque con guiado IR.
- Detección y seguimiento con cámaras de visión nocturna.

3. CONTRAMEDIDAS IR (IRCM).

Las medidas de reducción de firma IR irán siempre encaminadas a reducir las diferencias de temperaturas entre las superficies del buque y los gases de exhaustación con el ambiente.

Dentro del conjunto de medios IRCM (*"Infrared Countermeasures"*) disponibles a bordo de buques de guerra modernos, destacan los siguientes:

- Aislamientos adecuados en cámaras de máquinas y otros espacios donde se pueda disipar calor.
- Sistemas de distribución de agua salada (tipo *"washdown"*) a través de rociadores dispuestos a lo largo del buque para la reducción de la temperatura en la cubierta intemperie, mamparos externos y costados.
- Eductores/difusores para enfriar los conductos y penachos de exhaustación de motores de combustión interna.

Con el fin de determinar el grado de protección de una unidad frente a amenazas IR, se recurre habitualmente a su clasificación mediante la asignación de niveles IRSS - *"stealth"* (*"Infrared Signature Suppresion"*) en función de los IRCM utilizados:

I. Ningún IRCM activo.
II. Refrigeración básica de conductos de exhaustación y activación de sistemas *"washdown"*.
III. Refrigeración de gases de exhaustación por debajo de los 250 C y activación de sistemas *"washdown"*.
IV. Refrigeración de gases de exhaustación por debajo de 150 C y activación de sistemas *"washdown"*.

La selección final del nivel IRSS dependerá de la percepción del estado de la amenaza y de los costes asociados a la implementación IRCM a bordo. En este sentido lo normal será encontrar buques de guerra con niveles IRSS II e IRSS III. En la actualidad, algunos buques de guerra contemplan ya el nivel IRSS IV en la etapa de diseño.

4. ESTADO DEL ARTE EN LA REFRIGERACIÓN DE GASES DE EXHAUSTACIÓN.

Existen diversos sistemas para la reducción de la firma IR generada por los gases de exhaustación en buques de superficie.

La solución mayoritaria pasa por emplear aire ambiente para la refrigeración en base a dispositivos de carácter estructural instalados en el último tramo de los conductos de exhaustación. A estos sistemas se les conoce con el nombre de *"sistemas pasivos"*.

El principio de funcionamiento de los sistemas pasivos consistirá en emplear aire ambiente para la refrigeración, tanto de las superficies visibles de los conductos de exhaustación, como de los penachos de gases. Así, el fabricante de equipos para la reducción de firma IR Davis Engineering Ltd. (Ottawa – Canadá) propone dos soluciones comerciales en base a los conceptos *"eductor/difusor"* y *"dres-ball"*, ambos a través del empleo de aire ambiente como elemento refrigerante (Figura 2)

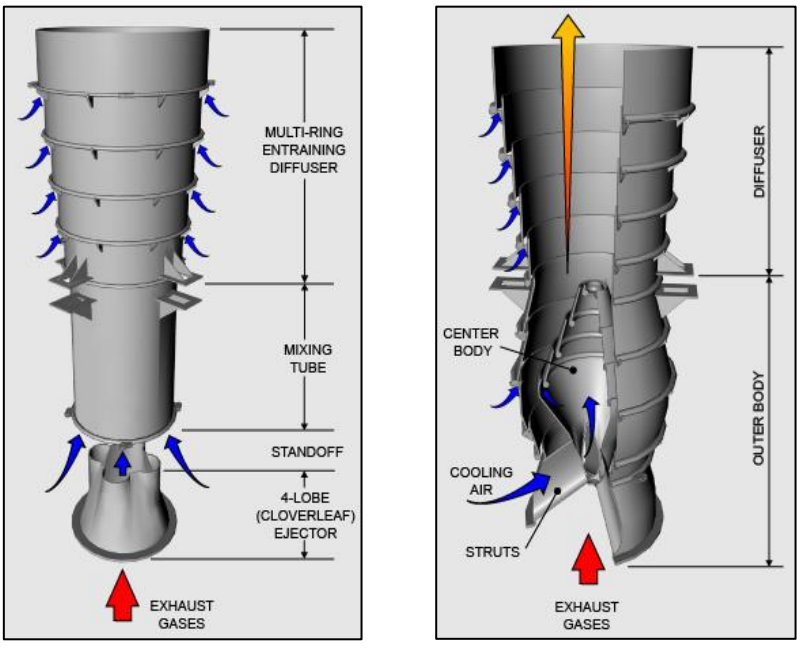


Figura 2. Detalle sistemas "*eductor/difusor*" y "*dres-ball*"

Según Davis Engineering Ltd., ambos sistemas de supresión de la firma IR consiguen rebajar la temperatura del penacho de los gases de exhaustación por debajo de 250 C, a la vez que mantienen la temperatura de los conductos de exhaustación 25 C por encima de la temperatura ambiente (nivel IRSS III).

En la misma línea que las anteriores soluciones, existen otras como la *"cheesegrater"* instalada a bordo de buques de la Royal Navy y la *"eductor/bliss"*, a bordo de buques de la US Navy. En el caso de la Royal Navy, la finalidad del *"cheesegreater"* será únicamente la refrigeración de los conductos de exhaustación visibles, por lo que habrá que recurrir a un sistema auxiliar de ventiladores para añadir al penacho aire frío y rebajar así su temperatura. El modo de funcionamiento del *"eductor/bliss"* de la US Navy será muy similar a los sistemas desarrollados por Davis Engineering Ltd. (Figura 3).

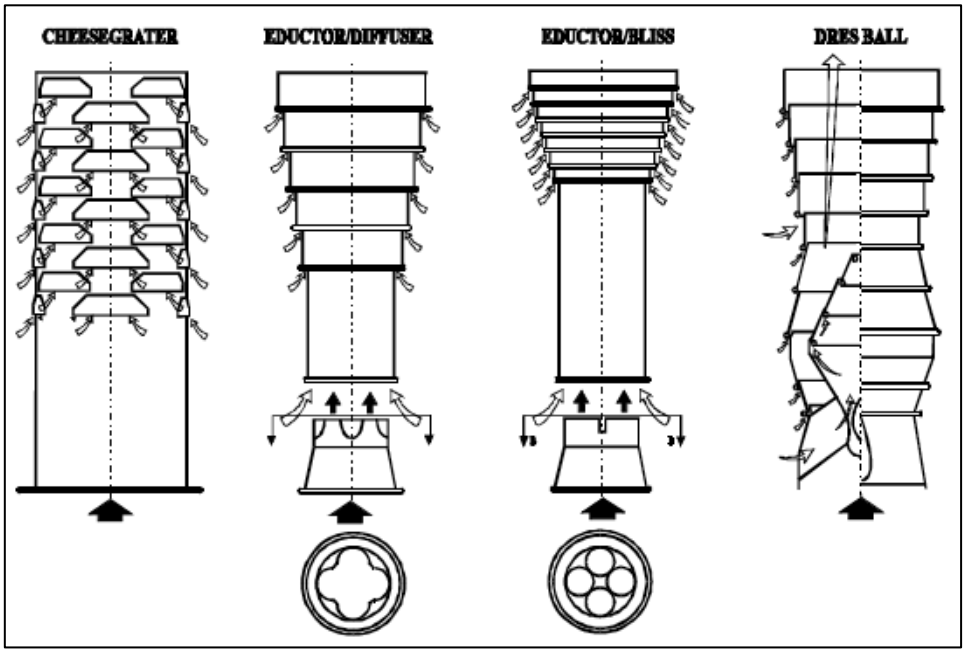


Figura 3. Detalle diferentes sistemas pasivos de enfriamiento de gases de exhaustación

5. CONCLUSIONES.

De cara al futuro de los sistemas de enfriamiento de gases, en la actualidad, la firma Davis Engineering Ltd. se encuentra probando la solución denominada SWI (acrónimo de las palabras inglesas *"Sea Water Injection"*). Se trata de un prototipo *"híbrido"*, consistente en añadir rociadores de agua salada al sistema de enfriamiento tradicional mediante eductor/difusor (figuras 4 y 5).

A propósito del sistema SWI, estudios elaborados por Davis Engineering Ltd. demuestran que la adopción de sistemas híbridos (aire más agua para enfriar las superficies visibles de los conductos y los penachos de gases) marcan la dirección a seguir en el desarrollo de sistemas de supresión de firma IR a bordo de buques, como así lo demuestra la figura 6.

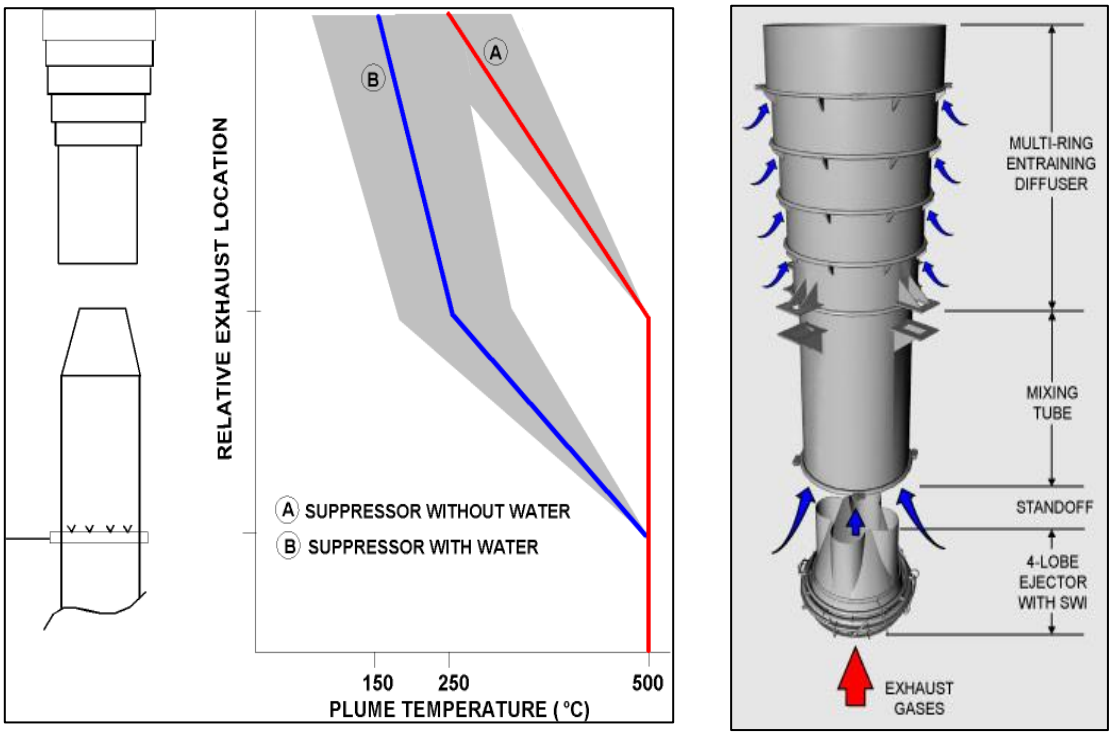


Figura 4. Sistema híbrido de enfriamiento de gases de exhaustación



Figura 5. Sea Water Injection System (SWI) – Naval Infrared Stealth Technology

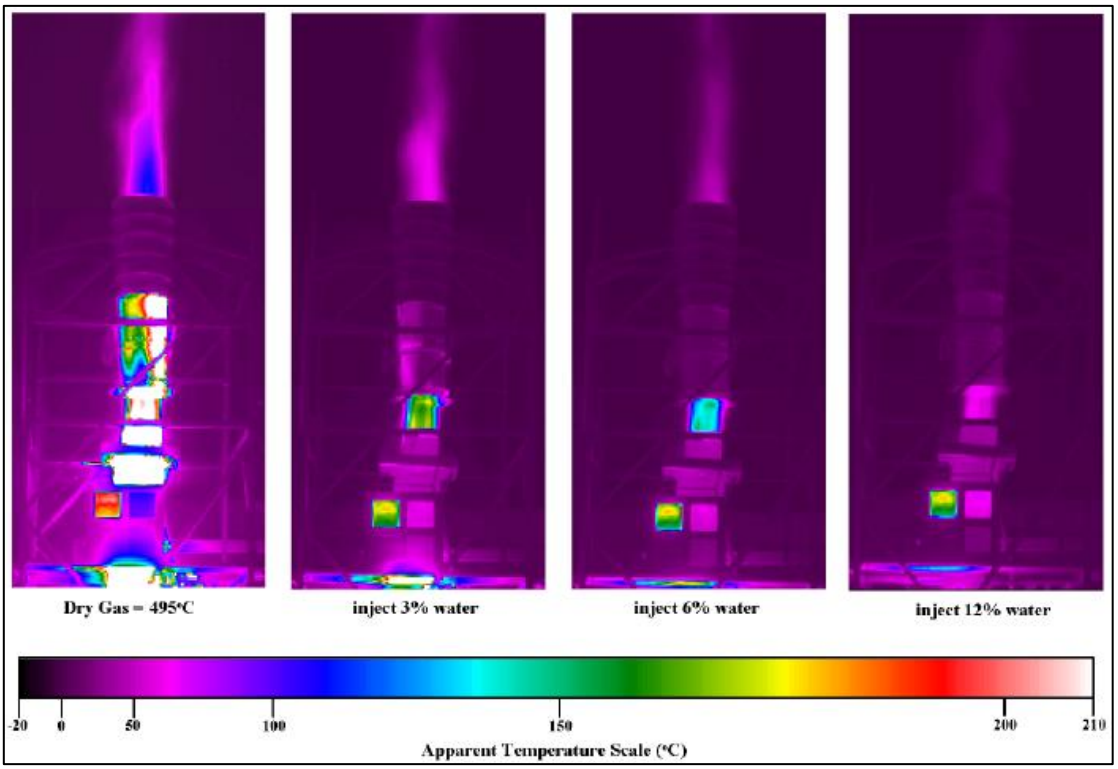


Figura 6. Infrared Images of Prototype Hybrid System

6. BIBLIOGRAFÍA.

[1] Casanova Rivas, E., (2009) El Buque de Guerra, 2ª ed., Fondo Editorial de Ingeniería Naval, Madrid, ISBN 978-84-933198-8-5.

[2] Vílchez, F., Sierra, H., (1999) Detectabilidad de Buques de Combate, Instituto Panamericano de Ingeniería Naval, Colombia.

[3] Ab-Rahman, M. S., Hassan M. R., (2009) Analytical Analysis of Lock-on Range of Infrared Heat seeker Missile, Australian journal of Basic and Applied Sciences, ISSN 1991-8178.

[4] Hiscoke, B., (2000) IR Suppression – Exhaust Gas Cooling by Water Injection, Davis Engineering Ltd., Ottawa - Ontario – Canadá.

[5] Thompson, J., Vaitekunas, D., (2000) IR Signature Suppression of Modern Naval Ships, Davis Engineering Ltd., Ottawa - Ontario – Canadá.

INSTALLED ELECTRIC POWER ESTIMATION AND ANALYSIS OF DIESEL GENERATOR SET ALTERNATIVES DURING THE CONCEPT EXPLORATION PHASE FOR NEXT GENERATION OF COLOMBIAN NAVY COMBAT SHIPS

Morales Vásquez, C. A.[1]; Salas Berrocal, G. G.[2]

COTECMAR - Design and Engineering Management Office. Via Mamonal Km. 9, Cartagena, Colombia. cmorales@cotecmar.com[1]; gsalas@cotecmar.com[2]

ABSTRACT.

COTECMAR, the biggest and most experienced Colombian shipyard was committed by the Colombian Navy to design and build the next generation of surface combatants within the Surface Strategic Platform Program. The process started with the Concept Exploration Phase, in which, several ship alternatives resulting from a synthesis model are being analyzed. These alternatives exhibit different arrangements in the main dimensions, propulsion and also, electric power generation. After an evaluation in terms of effectiveness and cost, some of the options are selected to be studied in depth. Among all parameters provided by the synthesis model for the selected alternatives, the installed electric power and the type of Diesel generators deserve further analysis in order to determine their feasibility.

The present document proposes a methodology to support the decision-making process during the concept exploration phase, directly related to both, validation of the installed electric power obtained by the numerical calculation of the ship synthesis model and evaluation of the use of high and medium speed Diesel generator sets. For the above, the installed power of the selected alternatives is first estimated and compared with that provided by the synthesis model. The estimation is performed using the MIT XIII-A mathematical model. Afterward, the use of high and medium speed Diesel generator sets is evaluated for the set of ship options through several parameters: initial investment cost, fuel consumption, exhaust emissions, lifecycle cost and the required fuel, correspondent to power generation, for storage to attain the operational endurance.

The installed electric power data provided by the synthesis model are within the results given by the MIT XIII-A method. On the other hand, the medium speed Diesel generator sets appear as the best option for power generation in terms of costs and fuel storage.

1. INTRODUCTION.

The project of a new combat ship is extremely complex and implies a detailed phase of planning prior to the beginning of the first design stage. The Colombian Navy has been carrying out the planning and pre-feasibility phases of its next generation of surface combatants within the Strategic Surface Platform Program; becoming a challenge for the Colombian naval industry, led by the Science and Technology Corporation for the Development of the Naval, Maritime, and Riverine Industries – COTECMAR.

With 15 years of experience in ship design and construction, COTECMAR has been using all its knowledge acquired through the development of its previous design projects, such as the Riverine, Coastal, and Offshore Patrol Vessels, with the purpose of adapting its own methodology for the concept exploration and analysis of alternatives demanded by the Strategic Surface Platform Program.

The main objective of the concept exploration methodology is to achieve, in an analytical and consistent way, a set of reference combat ship designs, complying with the Colombian Navy demands within the budget restrictions. Thus, the staff can be provided with all the necessary information to implement a rational model for the decision making aimed to obtain the optimum combat ship design.

One stage of the methodology comprises the validation of the results provided by the computer-aided ship design tools used during the pre-feasibility and feasibility phases. This work is focused in the assessment of the installed electrical power during the concept exploration phase, where multiple ship alternatives are generated and different arrangements of prime movers for power generation have different impacts on the ship weight, volume, exhaust emissions, initial investment and lifecycle costs.

2. CONCEPT EXPLORATION PHASE.

The first step of the ship design process is the concept exploration. During this phase the functional requirements provided by the ship-owner are taken as starting point for the

generation of a set of alternatives, corresponding to different ship designs, obtained through the implementation of a s*ynthesis model*.

The synthesis model is a set of parametric expressions used to perform, in a simplified way, the calculations required for determining the ship main specifications which are focused mainly in naval architectural aspects such as: displacement, weights, volumes, propulsive power, electrical demand, etc. Application of the synthesis model is based on several input variables and design restrictions.

Figure 1 describes the ship design process as a spiral, due to its sequential and iterative nature. The process to obtain a single ship alternative within the concept exploration phase can be represented as the ship design spiral, where several iterations have to be executed leading to achieve a balanced, logical and feasible solution within customer requirements. Consequently, computational tools were developed to assist designers and decision makers in the implementation of a synthesis model so that it is possible to find an equilibrated design in seconds, compared with hours and days using the manual process.

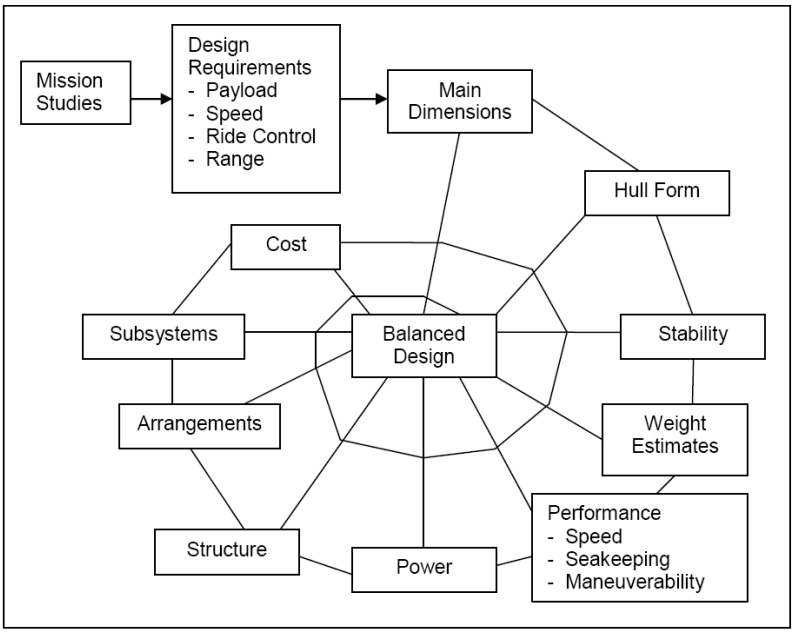


Figure1. Ship Design Spiral (CDI Marine Company, 2012)

For the concept exploration phase of the next generation of Colombian Navy combat ships, undertaken by COTECMAR and the Colombian Navy, an extensive work of generation and assessment of ship alternatives was done. Synthesis, effectiveness and cost models of ship alternatives were integrated in same software to perform a multi-objective optimization

(focusing on effectiveness and cost). The computational tool used for the synthesis model was ComPASS®. This software uses a baseline ship design called *"parent"* as the initial point of the numerical calculations of alternatives. A limitation, which is inherent in general to all parametric ship design software tools, is that the parent ship should be as close as possible to the desired ship type; otherwise there would be a risk to obtain an unrealistic solution because of the application of a synthesis model outside of its valid range.

When generating ship design alternatives using whether ComPASS® or other ship synthesis software it is important to retain that these tools are not intended to provide detailed and final results for a particular ship design. The results accuracy depends not only on the complexity of the software algorithms but also on the input parameters and their combination, co-relation of the parent and the desired ship type as well as the model restrictions for assessing ship designs with state-of-the art technologies in power generation and distribution.

Considering all the factors that can affect the results accuracy, a new iteration in the design spiral should be performed, including a further analysis for those alternatives complying in a better way the ship-owner requirements. Fulfillment of customer requirements can be expressed in a metric called the Overall Measure of Effectiveness (OMOE). When OMOE is plotted against the cost, a non-dominated frontier of alternatives is obtained (see Figure 2) and these ships are of particular interest to be analyzed in the next stage of the design process.

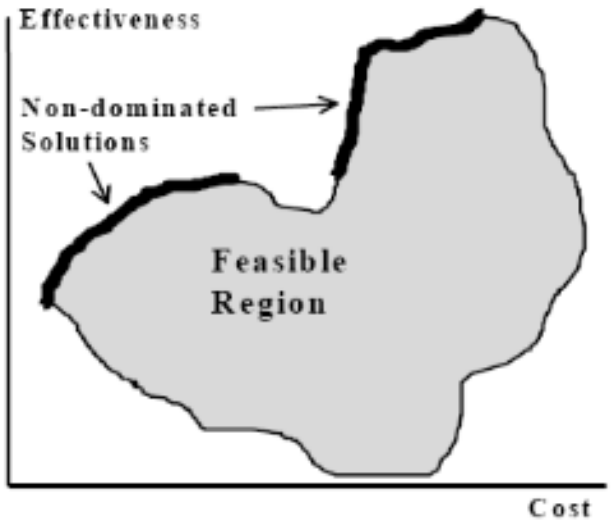


Figure 2. Two-objective Attribute Space (Brown & Salcedo, 2003).

In order to validate the feasibility of the results provided by ComPASS® for the electrical system, particularly the installed electric power, other analytical tools suitable for the concept design have to be applied. One of the challenges in the early stages of design, as the conceptual one, is to deal with limited amounts of information related to the electrical loads of the platform equipment and systems. Therefore, the parametric expressions to find approximate values of the power consumptions associated to the auxiliary systems, and hotel loads are a practical way to support the results obtained by the numerical calculation in ComPASS ®. For this purpose MIT XIII-A mathematical model is proposed as discussed below.

3. THE MIT XIII-A MATHEMATICAL MODEL.

The MIT simplified mathematical model was developed by the Department of Ocean Engineering at the Massachusetts Institute of Technology (MIT) as a tool to reduce the complexity and the time to complete iterations in the ship design spiral for combat ships. The model presents several mathematical expressions which give estimated data about combat ships for its use in early stages of design: weights, propulsion power requirements, energy power requirements, space distribution, etc.

The origins of this method can be traced to the work of Graham and Reed (1986) who adapted a synthesis model for the US Navy developed by Graham and Hamly (1975). The model has been object of major revisions and improvements (Hottel & McCoy, 1988; Peer, 1990; Sweeney, 1991), in line with computer hardware and software developments through 1980 and 1990 decades. In its most recent version, the method is referred as the MIT XIII-A Ship Synthesis Model (Szatkowski, 2000).

The macro flow diagram of the model is shown in Figure 3. From the input parameters the gross characteristics of the ship are then generated, energy requirements for propulsion and electrical service load are then calculated. Area, volume and weight calculations for the rest of the ship are also obtained. Finally, the static, intact stability is calculated and a simplified cost model generates the lead ship cost. Application of this synthesis model is limited to surface combatants of the destroyer and frigate types.

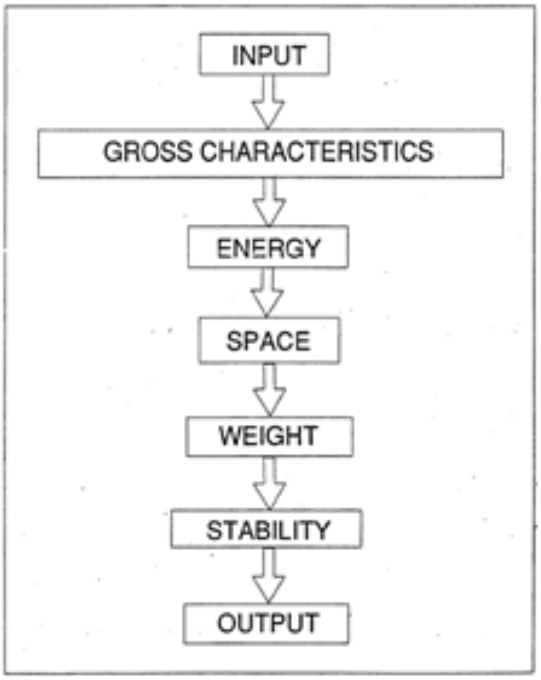


Figure 3. MIT Mathematical Model Macro Flow Diagram (Meister, 1998)

The electric load estimation, as detailed in Meister (1998) and Szatkowski (2000) is focused on the maximum functional load, which is the addition of the ship payload and the non-payload functional loads. The latter accounting for propulsion and steering systems, lighting, heating, ventilation, air conditioning, handling, auxiliary machinery, services for workspaces and miscellaneous loads. The mathematical model provides the formulas to estimate power demand of all non-payload loads and the maximum functional load, as shown in Annex A. The maximum functional load is increased by design and load growth margins (20% and 20% respectively). Later, the rated power required per generator is calculated considering that, with one generator out of service, the remaining, loaded at 90% of their rated power, are to be capable to supply all the power demanded by the ship. The expression for the calculus is:

$$\boldsymbol{kW_{GREQ}} = \frac{\boldsymbol{kW_{MFLM}}}{(\boldsymbol{N_G}-\boldsymbol{1})\times\boldsymbol{0.9}} \qquad \textbf{(1)}$$

Where kW_{GREQ} is the minimum power rating required for each generator set, kW_{MLFM} is the maximum functional load and N_G is the number of installed generator sets.

Electrical load calculations are complemented with the average 24 hour electrical load formula (NAVSEA, 2012) and estimations of fuel storage for endurance associated to power generation (NAVSEA, 2011).

Since the synthesis model was developed from data of several US Navy frigates and destroyers built mainly in 70 and 80 decades, thus is intended to be used just as a first approximation to verify concept feasibility.

4. VALIDATION OF INSTALLED ELECTRIC POWER RESULTS FROM THE SHIP DESIGN COMPUTATIONAL TOOL

Among all the possible ship alternatives conceived by ComPASS®, 6 of them have been selected randomly for validation of installed power values with the MIT XIII-A mathematical model, in order to check if the software results are within the expected values for similar surface combatants.

The input data for electric power calculation in the MIT XIII-A model are: length of waterline (LWL), Beam (B), Draft (T), propulsion machinery installed brake horse power (P_{IBRAKE}), total number of accommodations (N_T), power consumption of mission payload package (kW_{PAY}) and power consumption of stabilizing fins, as pointed out in Annex A. These parameters are obtained from ComPASSS® results. Table 1 presents the values given by the application of the mathematical model for the 6 alternatives which exhibit different arrangements in terms of main parameters as well as electrical consumers. The total number of main generators is settled as 4.

Table 1. Generation Installed Power Comparison Between ComPASS® and MIT XIII-A Synthesis Model.

Ship alternatives	1	2	3	4	5	6
〖kW〗_NP	1520,29	1477,36	1090,14	1275,54	1249,84	1666,46
〖kW〗_PAY	1500,00	710,50	678,50	710,50	710,50	710,50
〖kW〗_MFL	3020,29	2187,86	1768,64	1986,04	1960,34	2376,96
Design margin	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Growth margin	20%	20%	20%	20%	20%	20%
〖kW〗_MFLM	4228,40	3063,00	2476,09	2780,45	2744,47	3327,74
Number of generators	4	4	4	4	4	4
〖kW〗_GREQ	1566,08	1134,45	917,07	1029,80	1016,47	1232,50
Installed generation power (MIT mathematical model) (kW)	6264	4538	3668	4119	4066	4930
Installed generation power (COMPASS) (kW)	5748	4150	3366	3770	3721	4502
Difference	-8,24%	-8,55%	-8,25%	-8,47%	-8,49%	-8,68%

The differences between the installed generation power given by ComPASS® and the MIT mathematical model are within -8,24% and -8,68%. The additional installed power given by the mathematical model is consequence of differences in designs between the US Navy combat ships used to develop the model and those in ComPASS® database. Nevertheless, since generation installed power given by ComPASS® is close to that provided by the MIT XIII-A model, it is considered as an adequate result to use in the early stages of the design of the next generation of Colombian Navy combat ships.

5. COMPARISON OF THE USE OF HIGH AND MEDIUM SPEED GENERATOR SETS FOR THE SELECTED ALTERNATIVES

The installed generation power from ComPASS® for the 6 alternatives considers only the use of Diesel generator sets. Since low, medium and high speed Diesel engines are commercially available[1], it is necessary to assess which type is better to use for power generation at the next generation of Colombian Navy combat ships.

Ships with installed power within the medium power range[2] normally use high or medium speed Diesel generator sets. Low speed units are not used due to their high initial investment and weight, which are not compensated by the reduction in fuel consumption (Morales, 2014). Thus only high speed and medium speed engines for power generation are to be evaluated.

For the 6 ship alternatives, the minimum power rating for each generator set is indicated in Table 1. Commercial references with close power ratings are chosen from several manufacturers (Caterpillar, Cummins, MTU, MAN and Wartsila). The selected generator sets for each alternative and their specifications are shown in Table 2. They are compared in terms of initial investment costs, annual fuel consumption, exhaust emissions, weight and volume as well as lifecycle costs.

5.1 Initial investment costs

The initial investment costs of the 4 Diesel generator sets of each ship alternative, for both high and medium speed, are plotted in Figure 4. The costs were estimated using reference

[1]According to Dedes, Hudson and Turnock (2010), rotational speed of high-speed diesel engines is greater than 1000rpm, of medium speed engines is between 400-1000rpm and for low speed engines is lower than 140rpm.
[2]The installed power is considered to be within the low power range if is lower than 1MW, medium power range when is between 1MW and 10MW and high power range when is higher than 10MW.

values presented by Woud and Stapersma (2002) (pp. 159-160) for Diesel generator sets (210€/kW for high speed units and 280€/kW for medium speed units; exchange rate 1€=USD 1,0933 30/07/2015). From the Figure, it can be noted how high speed Diesel generator sets require lower investment than medium speed units.

Table 1 – Generator Sets Selected for the 6 Ship Alternatives from ComPASS ®

Alternative	**1**		**2**		**3**	
Genset type	High speed	Medium speed	High speed	Medium speed	High speed	Medium speed
Brand and model	CAT 3516B Cont.	MAN 8L21/31	CAT 3512C Cont.	MAN 6L21/31	CAT 3512 Cont.	MAN 5L21/31
Rated power (kWe)	1640	1672	1230	1254	1010	950
Rotational speed (rpm)	1800	900	1800	900	1800	900
Weight (kg)	17,5	33	14,98	26	9,1	22,5
Volume (m^3)	24,4	35	18,9	31	15,2	29
NOx emissions (g/kWh)[3]	6,1	9,2	4,7	9,2	6,1	9,2
SFOC (g/kWh)	207,1	189	203,5	189	219,91	189
Fuel type	MGO[4]	HFO[5]	MGO	HFO	MGO	HFO
Alternative	**4**		**5**		**6**	
Genset type	High speed	Medium speed	High speed	Medium speed	High speed	Medium speed
Brand and model	CAT 3512C Cont.	MAN 6L21/31	CAT 3512C Cont.	MAN 6L21/31	Cummins K50-CP Cont.	MAN 6L21/31
Rated power (kWe)	1230	1254	1230	1254	1240	1254
Rotational speed (rpm)	1800	900	1800	900	1800	900
Weight (kg)	14,98	26	14,98	26	10	26
Volume (m^3)	18,9	31	18,9	31	20,3	31
NOx emissions (g/kWh)	4,7	9,2	4,7	9,2	8,9	9,2
SFOC (g/kWh)	203,5	189	203,5	189	211	189
Fuel type	MGO	HFO	MGO	HFO	MGO	HFO

[3]The NOX emissions are related to the temperature of combustion and are dependent of the type of engine and its construction (Dedes, et al., 2010).
[4]Marine Gas Oil is designated by the ISO 8217 4th edition 2010 as DMA.
[5]Marine Diesel Oil is designated by the ISO 8217 4th edition 2010 as DMB.

5.2 Annual fuel consumption associated to power generation

The annual fuel consumption of each alternative for both types of Diesel generator sets is estimated by the following formulas:

$$Annual\ fuel\ consumption = \int_{t_1}^{t_2} h \cdot SFOC \cdot P_{GEN} \cdot dt \quad (2)$$

Where:

$$SFOC = f(P_{GEN}) \quad (3)$$

And $t_{1,2}$ are the time periods for evaluation, h is the number of generator sets in operation and P_{GEN} is the power delivered by generator set, assuming that the total demand is shared by each running genset.

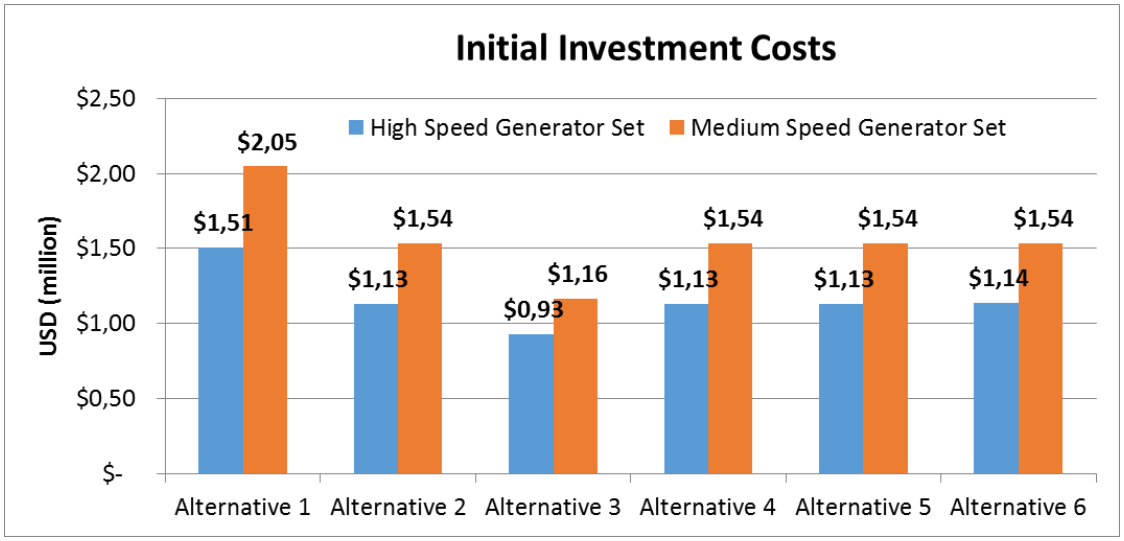


Figure 4. Initial Investment Costs of Diesel Generator Sets for Each Alternative.

Since the electric load profile of similar vessels is not available for its use in fuel estimation, the 24-hour average load parametric equation is to be used for annual fuel estimation of the 6 ship alternatives, as indicated by DDS 310-1 (NAVSEA, 2012). The 24-hour average load parametric equation is presented below:

$$P_{24-hour-ave} = P_{prop\_steering} + 0{,}75\left(P_{cruise} - P_{prop\_steering}\right) \quad (4)$$

Where $P_{prop\_steering}$ is the power demand associated to propulsion and steering (equal to $kW_P + kW_S$ in MIT math model) and P_{cruise} is the power demand of the ship in cruise condition (equal to kW_{NP} in the MIT math model).

The 24-hour average loads for each ship alternative are obtained using the same input data as the MIT mathematical model. These results are assumed as the annual average power demand of the ship, hence are equal to $h \cdot P_{GEN}$ in Eq. 2. The SFOC curves for each generator set reference are acquired from manufacturer websites. Equations representing the behavior of the SFOC for each genset, as a function of power delivered are constructed using regression curves for their use in Eq. 3. The time periods that are applied for the integral in Eq. 2 should correspond to the duration of each operational condition within the expected operational profile of the ships. The ships operational condition comprehends cruise, port, stand by, functional (functional accounts for special missions of the combat ship) and emergency operations. Duration of each profile and information about functional operations are not detailed here according to Colombian Navy policies.

Figure 5 illustrates the estimated annual fuel consumption for all the 6 ship alternatives for both, high speed and medium speed Diesel generator sets. As expected from the SFOC values of the generator sets in Table 2 the annual fuel consumption of the high speed gensets is greater than the medium speed units. Annual fuel consumption differences within alternatives are around 400 metric tons, except for alternatives 3 and 6, in which the differences exceed 500 metric tons. The additional fuel consumption implies higher operational costs, which have to be analyzed along with other economical parameters as discussed below.

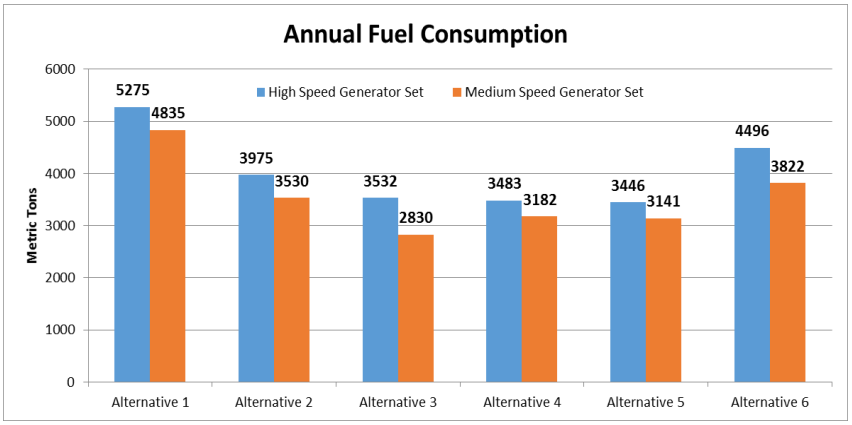


Figure 5. Annual Fuel Consumption Associated to Power Generation of the 6 Ship Alternatives for Each Type of Generator Set

5.3 Exhaust emissions associated to power generation

The exhaust emissions from Diesel engines contain nitrous oxides (NOx), sulfur oxides (SOx), carbon dioxide (CO_2), particulate content, etc. Among them, the NOx, SOx and CO_2 are the most significant gases released to the environment.

The NOx emissions depends of the energy supplied by each Diesel engine (Dedes, et al., 2010):

$$\boldsymbol{NO_{x-mass} = (ef_{NOx}) \int_{t_1}^{t_2} h \cdot P_{GEN} \cdot dt} \quad (5)$$

Where ef_{NOx} is the NOx emission factor (in g/kWh) of the generator set informed by the manufacturer.

The SOx emissions depends on the type of burned fuel and the amount consumed by the generator sets (Dedes, et al., 2010):

$$SO_{x-mass} = (ef_{SOx}) \cdot annual\ fuel\ consumption \quad (6)$$

$$ef_{SOx} = 20 \cdot \%sulfur\ content \quad (7)$$

Where ef_{SOx} is the SOx emission factor and $\%sulfur\ content$ is the sulfur content in the fuel. For the MGO, the sulfur content is assumed as 0,29%[6] whereas for the HFO is assumed as 1,3%[7].

The CO_2 emissions are equal to 3190 kg/Ton of fuel burned (Dedes, et al., 2010). However, since CO_2 has the same behavior than fuel consumption shown in Figure, it is not considered as a significant parameter for analysis.

Figure presents the estimated mass of annual NOx and SOx emissions associated to power generation for all the 6 ship alternatives for both high and medium speed Diesel generator sets. From the figure it can be noted that exhaust emissions are greater for medium speed gensets due to either, the high NOx emissions of the medium speed Diesel engines and the high amount of sulfur content of the HFO fuel.

[6]Sulfur content of the marine Diesel fuel, MGO (DMA) distributed by ECOPETROL (ECOPETROL, 2015).
[7]Sulfur content of the IFO 380 distributed in Cartagena port (C.I. International Fuels, 2015)

The NOx emissions of medium speed gensets exceeds 47Tons per year the NOx emissions from high speed gensets; the differences of SOx emissions are higher than 52Ton annually in favor of medium speed gensets.

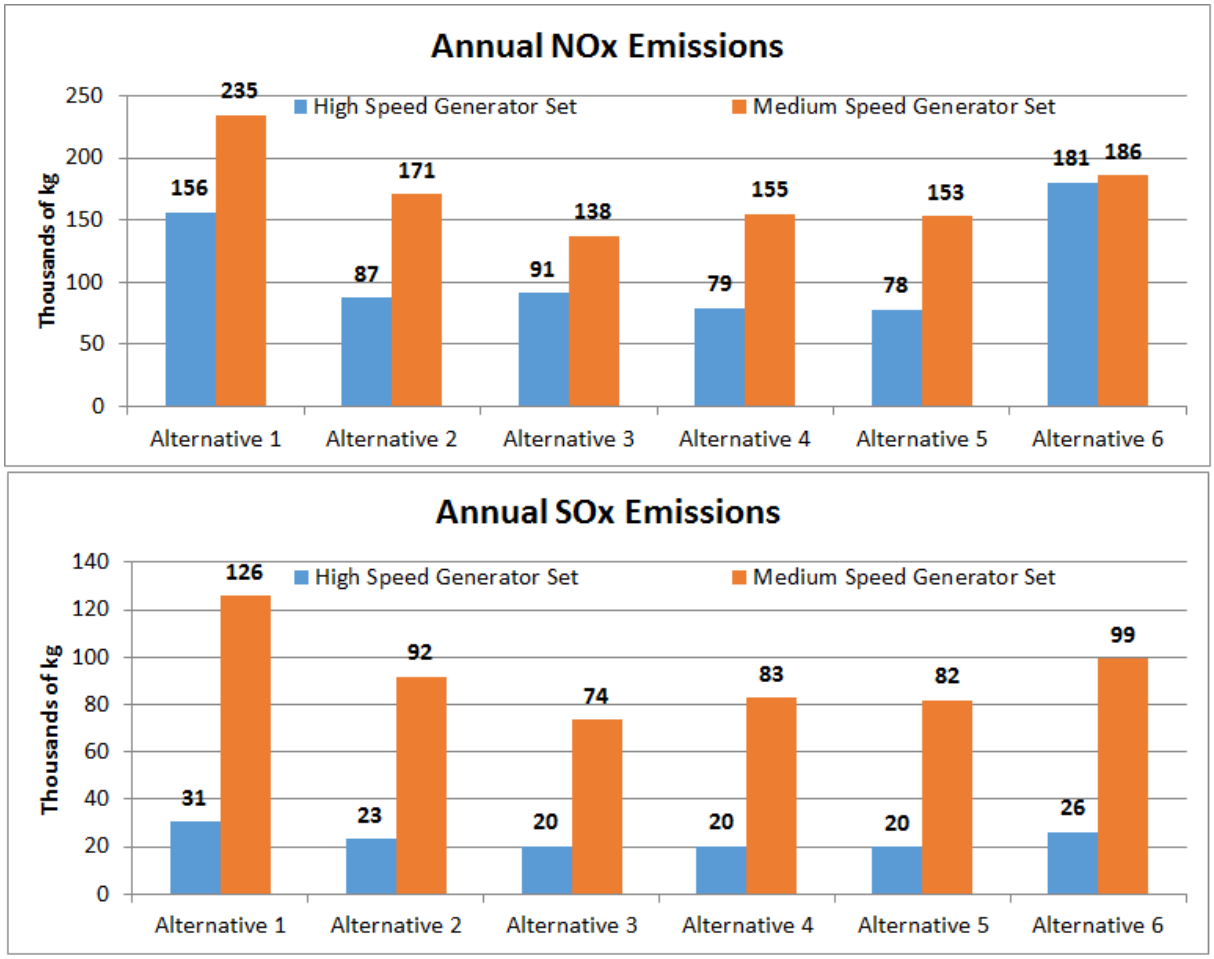


Figure 6. Annual NOx and SOx Emissions From High and Medium Speed Diesel Generator Sets for All the 6 Ship Alternatives.

5.4 Weight and volume of Diesel generator sets and fuel storage for endurance conditions

The weight and volume of the selected Diesel generator sets were presented in Table 1. As 4 generator are considered for each ship alternative, the weight and volume data shown in the table are multiplied by 4 to obtain the overall weight and volume of the electric plant. The result is shown in Figure 7, in the blue columns.

The combat ships are normally specified to meet several endurance conditions: surge to theater, economical transit and operational presence. These conditions represent three

different operational scenarios for a ship. Economical transit minimizes the consumption of fuel under normal transits. Surge to theater requires a ship to rapidly travel a specified distance, (such as to an operational area) without having to refuel. Operational presence requires a ship while deployed to remain on station for a specified period of time. Among several design specifications to satisfy endurance conditions, fuel storage for supplying electrical load must be estimated according to the procedure suggested in DDS 200-1 (NAVSEA, 2011). As specified in the reference, the required fuel storage capacity to meet endurance must be the highest of the three conditions abovementioned. The procedure requires the following information as input:

- Speed for cruise and mission conditions
- Maximum distance for navigation from coast.
- Operational (sustained) endurance
- Fuel densities.

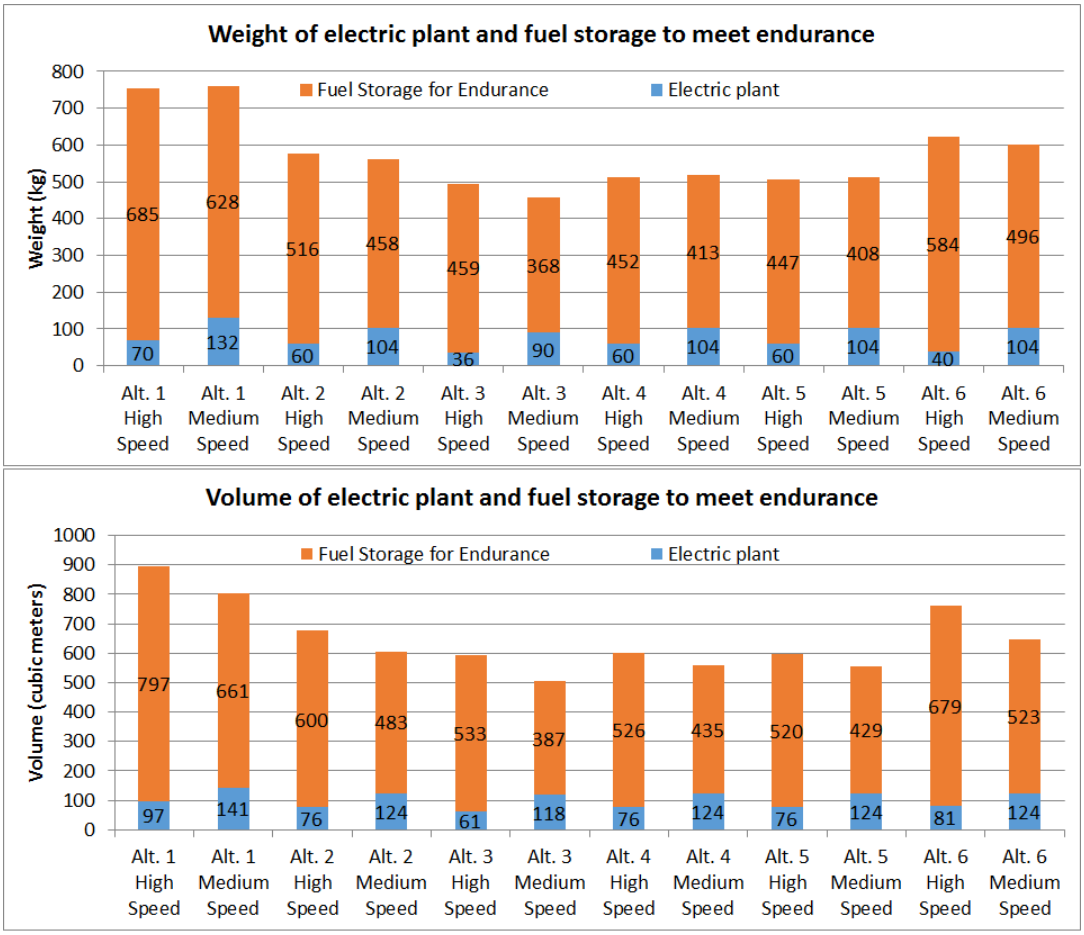


Figure 7. Weight and Volume of Electric Plant (Equipment) and Required Fuel Storage for Endurance for the 6 Ship Alternatives for Both High and Medium Speed Diesel Generator

Using the operational and endurance condition data for the design of the next generation of Colombian combat ships, the required fuel storage capacity to meet endurance is obtained. The weight and volume of the fuel storage capacity for the 6 ship alternatives is shown in Figure 7 in the orange columns. The combined weight and volume of equipment and fuel storage is also plotted.

From the figure, it can be noted that in spite of the weight of the medium speed electric plants exceeds in 63% the weight of the high speed ones, the additional mass associated to the fuel storage for power generation to meet endurance, becomes the high speed electric plant the worst option for almost all ship alternatives. If volume is considered, the difference is significant in favor of the medium speed electric plants.Sets.

5.5 Lifetime cost analysis

The Net Present Value (NPV)[8] is used as criteria to analyze the lifetime cost analysis for each ship alternative for both high and medium speed Diesel generator set. Accordingly, the NPV allows to define how much is the net present value (at year zero) of future cash. For this particular case, considering that a naval vessel normally does not produce incomes, the NPV is focused into determine the present value of the new Colombian combat ships expenses, correspondent to the electric power demand, during their lifetime.

For purposes of the present calculation, the NPV is defined by the following expression (Dedes, et al., 2010):

$$\boldsymbol{NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0} \qquad (8)$$

Where I_0 is the initial investment, V_t represents cash flow for each t period (operational and maintenance expenses); n is the total number of periods and k is the discount rate.

In order to obtain the NPV, the following conditions are assumed:

- Cash flow periods are annual.
- Colombian combat ship lifetime is 20 years.

[8]The Net Present Value is a financial tool that allows to determine the net present value of a certain amount of regular incomes, by deducting from them regular expenses. It is widely used for investment appraisal.

- Initial investment costs are those shown in Figure 4.
- Cost of MGO (DMA) is US$746/Ton and cost of HFO (IFO 380) is US$340/Ton.
- Annual variation of fuel prices is 3% average.
- Maintenance costs of high and medium speed Diesel generator sets are US$0,016/kWh and US$0,013kWh, respectively (Electric Power Research Institute (EPRI), 2003). Annual increase is 2%.
- Discount rate is 0%
- At the final of the lifetime the equipment cannot be sold.

Figure 8 shows the calculated NPV for the 6 ship alternatives, each evaluated for high and medium speed Diesel generator sets. It should be noticed that since only annual expenses are considered all NPV results are negative. Thus, the lower the NPV the better from the point of view of economics. For all alternatives, the NPV of the high speed Diesel generator sets doubles the NPV of the medium speed units. This is consistent with the data presented in previous sections, specially due to the fuel consumption; since fuel consumption of medium speed Diesel generator sets is lower and cost of the HFO is almost the half of the MGO, the operational costs of the medium speed gensets are the lowest for all ship alternatives.

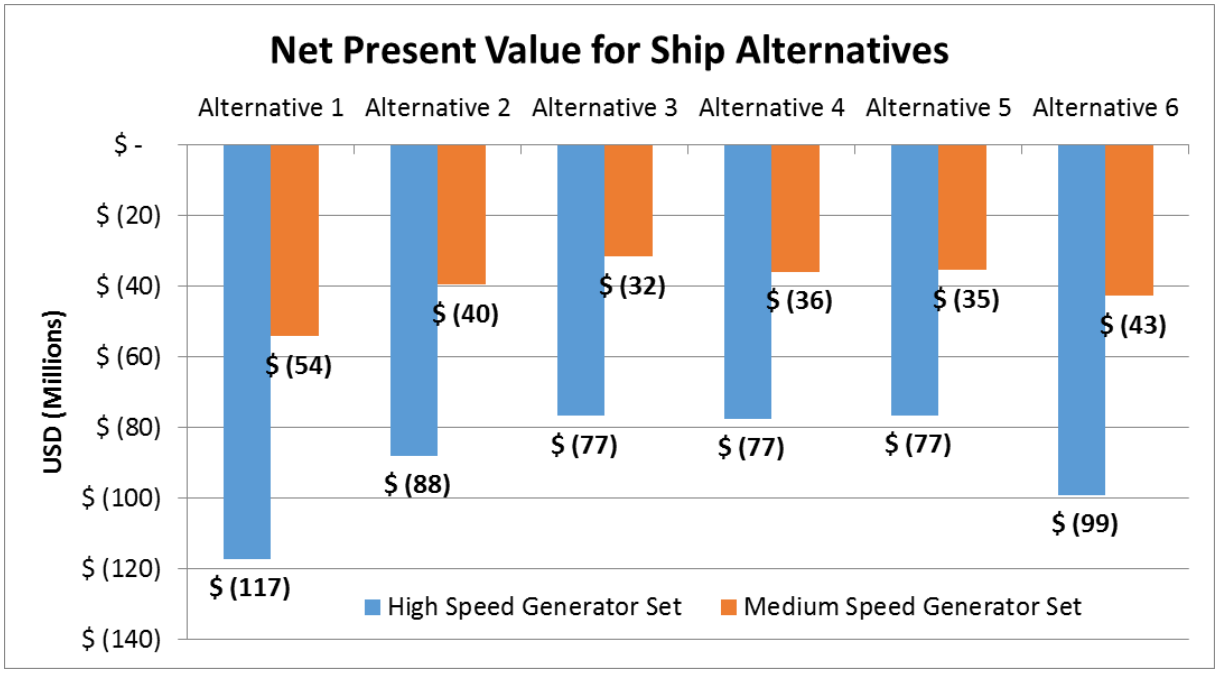


Figure 8. Net Present Value for Ship Alternatives Considering High and Medium Speed Diesel Generator Sets.

6. CONCLUSIONS.

The design process of the future surface combatants for the Colombian Navy is in the Concept Exploration Phase in which several ship alternatives are being proposed by the ship Synthesis Model (ComPASS ®). Among numerous parameters, ComPASS ® provides also the installed power of the ship alternatives. Six ship alternatives were selected for further analysis of the installed electric power given by the Synthesis Model. The results obtained with ComPASS ® were compared with the installed power obtained from the MIT XIII-A mathematical model. The installed power delivered by ComPASS® is about 8% lower than the installed power calculated by the MIT model, with the differences accounting mainly for differences between databases used for both models. Hence, the installed power of the electric plant provided by ComPASS ® are within the expected values and is considered suitable for its use as a reference in early stages of design.

High and medium speed Diesel generator sets as power generation units for the 6 ship alternatives were compared in terms of weight, volume, initial investment cost, annual fuel consumption, annual exhaust emissions and lifetime costs. The high speed Diesel generator sets are the better option from the point of view of the initial investment, exhaust emissions and weight of the electric plant. The medium speed Diesel generator sets are the best option from the point of view of annual fuel consumption, weight/volume of the fuel required for operational endurance and lifetime costs.

The medium speed Diesel generator sets appear as a suitable option for power generation for next generation of Colombian Navy combat ships.

7. REFERENCES.

Brown, A. J. & Salcedo, J., 2003. Multiple Objective Genetic Optimization In Naval Ship Design. *Naval Engineers Journal,* 115(4), pp. 49-61.

C.I. International Fuels, 2015. *C. I. International Fuels.* [Online] Available at: http://www.ciinternationalfuels.com/ [Accessed 30 July 2015].

CDI Marine Company, 2012. *ComPASS User Guide and Tutorial.* United States: s.n.

Dedes, E., Hudson, D. & Turnock, S., 2010. *Design of Hybrid Diesel-Electric Energy Storage Systems to Maximize Overall Ship Propulsive Efficiency.* Rio de Janeiro, Universidade Federal de Rio de Janeiro, pp. 703-713.

ECOPETROL, 2015. *Ecopetrol Website.* [Online] Available at: www.ecopetrol.com [Accessed 30 07 2015].

Electric Power Research Institute (EPRI), 2003. *Installation, Operation and Maintenance COsts for Distributed Generation Technologies: Final Report.* [Online] Available at: http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=000000000001007675 [Accessed 02 September 2014].

Graham, C. & Hamly, R., 1975. *US Navy Synthesis Model.* Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

Graham, C. & Reed, J., 1986. *Simplified Math Model for the Design of Naval Frigates.* Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

Hottel, G. & McCoy, K., 1988. *Simplified Math Model for the Design of Naval Frigates - Revision 1.* Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

Meister, N., 1998. *Application of Numerical Optimization Techniques to Surface Combatant Design Synthesis (Master Thesis).* Monterrey, California: Naval Postgraduate School.

Morales, C. A., 2014. *A Methodology to Select the Electric Propulsion System for Platform Supply Vessels (PSV) - Master Thesis.* São Paulo: Universidade de São Paulo.

NAVSEA, N. S. S. C., 2011. *Design Data Sheet: DDS 200-1 Rev. 1 Calculation of Surface Ship Endurance Fuel Requirements.* [Online] Available at: http://www.doerry.org/norbert/papers/DDS200-1Rev1.pdf [Accessed 25 July 2015].

NAVSEA, N. S. S. C., 2012. *Design Data Sheet: DDS 301-1 Rev. 1 Electric Power Load Analysis (EPLA).* [Online] Available at: http://www.doerry.org/norbert/papers/DDS310-1,Rev1.pdf [Accessed 20 July 2015].

Peer, D., 1990. *Simplified Math Model for the Design of Naval Frigates - Revision 2.* Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

Sweeney, C. B., 1991. *Simplified Math Model for the Design of Naval Frigates - Revision 3.* Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

Szatkowski, J., 2000. *Manning and Automation of Naval Surface Combatants: A functional Allocation Approach Using Axiomatic Design Theory - Masther Thesis.* Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

Woud, H. K. & Stapersma, D., 2002. *Design of Propulsion and Electric Power Generation Systems.* London: IMAREST.

ANNEX A

MIT XIII-A SHIP SYNTHESIS MODEL - ELECTRICAL LOAD ESTIMATION FORMULAS (Meister, 1998)

Formulas for estimation of non-payload functional loads

Propulsion: $$kW_P = 0{,}00466\frac{kW}{hp}P_{IBRAKE} \quad \textbf{(A. 1)}$$

Steering: $$kW_S = 0{,}00583\frac{kW}{ft^2}\cdot LWL\cdot T \quad \textbf{(A. 2)}$$

Lighting: $$kW_L = 0{,}0002053\frac{kW}{ft^3}\cdot 1{,}8\cdot LWL\cdot T\cdot B \quad \textbf{(A. 3)}$$

Miscellaneous: $$kW_M = 46{,}1kW \quad \textbf{(A. 4)}$$

Heating: $$kW_H = 0{,}0013\frac{kW}{ft^3}\cdot 1{,}25\cdot LWL\cdot T\cdot B \quad \textbf{(A. 5)}$$

Ventilation: $$kW_{CPS} = 0{,}00026\frac{kW}{ft^2}\cdot 1{,}8\cdot LWL\cdot T\cdot B \text{ (zero if no CPS)} \quad \textbf{(A. 6)}$$
$$kW_V = 0{,}19(kW_H + kW_P) + kW_{CPS}$$

Air conditioning[9]: $$kW_{AC} = 0{,}67\left(0{,}1\cdot kW\cdot N_T + 0{,}0015\frac{kW}{ft^3}\cdot 0{,}47\cdot 1{,}3\cdot LWL\cdot T\cdot B + 0{,}1\cdot kW_P\right) \quad \textbf{(A. 7)}$$

Auxiliary boiler and FW: $$kW_B = 0{,}0013\frac{kW}{ft^3}\cdot 1{,}25\cdot LWL\cdot T\cdot B \quad \textbf{(A. 8)}$$

Firemain: $$kW_F = 0{,}0001\frac{kW}{ft^3}\cdot 1{,}8\cdot LWL\cdot T\cdot B \quad \textbf{(A. 9)}$$

Underway replenishment and handling: $$kW_{RH} = 0{,}00002\frac{kW}{ft^3}\cdot 1{,}25\cdot LWL\cdot T\cdot B \quad \textbf{(A. 10)}$$

Auxiliary machinery: $$kW_A = 0{,}22\cdot N_T\cdot kW + kW_{fins} \quad \textbf{(A. 11)}$$

Services and workspaces: $$kW_{SERV} = 0{,}35\cdot N_T\cdot kW \quad \textbf{(A. 12)}$$

Non-payload functional loads: $$kW_{NP} = kW_P + kW_S + kW_L + kW_M + kW_H + kW_V + kW_{AC} + kW_B + kW_F + kW_{RH} + kW_A + kW_{SERV} \quad \textbf{(A. 13)}$$

Formula for estimation of maximum functional load

Maximum functional load: $$kW_{MFL} = kW_{PAY} + kW_{NP} \quad \textbf{(A. 14)}$$

Maximum functional load with margins (design, growth): $$kW_{MFLM} = 1{,}2\cdot 1{,}2\cdot kW_{MFL} \quad \textbf{(A. 15)}$$

[9]In the term $0{,}1\cdot kW\cdot N_T$ of this formula, kW is used only to assign the kilowatt power units to the variable N_T, so as to have the same units of the other terms allowing them to perform the sum.

Definitions and symbols

P_{IBRAKE}	Installed Brake Horse Power of Propulsion Machinery	LWL	Length of Waterline
T	Draft	B	Beam
N_T	Total number of accommodations	kW_{fins}	Stabilizing fins power consumption

IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE APOYO A LA GESTIÓN DE OPERACIONES EN SISTEMAS DE ENLACE DE DATOS TÁCTICOS, PARA MEJORAR LA CONDUCCIÓN DE OPERACIONES NAVALES EN TIEMPO DE PAZ.

Pérez Valdes, G.[1], Marrugo Llorente, S.[2], Gómez Torres, J.M.[3]

[1]COTECMAR - Gerencia de Ciencia, Tecnología e Innovación; Cartagena de Indias, Colombia;gperez@cotecmar.com; Tel.:+57 (5) 6535035

[2]COTECMAR- Gerencia de Ciencia, Tecnología e Innovación; Cartagena de Indias, Colombia; smarrugo@cotecmar.com; Tel.:+57 (5) 6535035 ext. 1231

[3]COTECMAR- Gerencia de Ciencia, Tecnología e Innovación; Cartagena de Indias, Colombia; jmgomez@cotecmar.com; Tel.:+57 (5) 6535035

RESUMEN.

La Armada Nacional de Colombia (ARC) efectúa operaciones en fuerzas o grupos de tarea, en las que pueden participar unidades de superficie, aéreas y submarinas. Para la coordinación de estas operaciones navales en tiempo de paz, es fundamental que exista un intercambio de información que permita, no solo generar un panorama táctico común en tiempo real, sino que además incorpore herramientas que apoyen la gestión eficiente de operaciones.

COTECMAR y ARC trabajan en el desarrollo de un sistema de enlace de datos tácticos orientado a facilitar el mando y control de operaciones en tiempo de paz.

Este documento describe la forma en que la implementación de herramientas analíticas de gestión de operaciones puede ayudar a mejorar la conducción de operaciones navales en tiempo de paz. Se presenta la metodología de identificación de funcionalidades que faciliten el planeamiento, control y ejecución de operaciones, así como el apoyo a la toma de decisiones y su posterior implementación en un sistema de enlace de datos tácticos.

1. INTRODUCCIÓN.

Para la coordinación de las operaciones en fuerzas o grupos de tarea que actualmente realiza la Armada Nacional de Colombia, es necesario que exista un intercambio de información que permita generar un panorama táctico común en tiempo real y que además incorpore herramientas que apoyen la toma de decisiones.

Es por ello que cobra especial importancia, en el entorno operacional latinoamericano, la implementación de herramientas que faciliten las actividades de mando y control relacionadas con la conducción de las operaciones en el nivel táctico, especialmente, cuando las herramientas disponibles comercialmente para satisfacer esta necesidad, se orientan principalmente hacia el control de las armas y de las situaciones de guerra, realidades que no necesariamente corresponden a lo que vive la región.

En este artículo se presentan las herramientas de apoyo a la toma de decisiones que, implementadas en un sistema de enlace de datos tácticos, facilitan la conducción de operaciones navales en tiempo de paz. El documento inicia con la identificación de las necesidades que tiene un comandante a la hora de dirigir una operación; posteriormente, en la sección 3, se presentan las herramientas de apoyo a la toma de decisiones que se contemplan como solución a estas necesidades; finalmente, la sección 4 muestra la forma cómo se incluyen estas herramientas en un prototipo de sistema de enlace de datos tácticos desarrollado por ARC y COTECMAR.

2. ANTECEDENTES.

Hoy en día existen comercialmente un sinnúmero de herramientas para el planeamiento, control y ejecución de operaciones, siendo las más comunes los enlaces de datos tácticos o *Data Links*.

Un Data Link táctico, es un sistema de comunicaciones tácticas, basado en radio comunicaciones, que permite gestionar la información táctica de una fuerza o grupo de tarea y mediante herramientas de explotación de información, mejorar la toma de decisiones y las funciones de mando y control[1]. Por otra parte, empresas como Northrop Grumman, define los Data Link Tácticos como "los medios para diseminar la información procesada desde el radar,

[1] Tomado de: CDL 1.0 - Documento de descripción de las capacidades del sistema. – COTECMAR. 2011

sonar, IFF (Information Friend or Foe), guerra electrónica, auto-reportes y observación visual". (NORTHROP GRUMMAN, 2013)

Muchos de los sistemas de este tipo, nacen como una necesidad operacional para satisfacer requerimientos puntuales de control de operaciones en tiempo de guerra u hostilidad, por lo que cuentan con gran cantidad de funcionalidades orientadas al control de las armas, razón por la cual deben operar directamente con el sistema de combate de las plataformas. De hecho, muchas empresas ofrecen sus sistemas *Data Link* como parte de sus sistemas de combate.

Los países miembros de la OTAN pueden acceder a los *Data Link* estándar que han sido diseñados y probados en entornos operacionales propios de estas naciones. A continuación se presentan brevemente algunos de ellos:

- Link 16: Enlace de datos de alta capacidad, resistente a interferencias, capacidad de saltos en frecuencia. Opera bajo el principio de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA). Cuenta con dos terminales, una para el Sistema de Distribución de Información Táctica (JTIDS) y otra para el Sistema de Distribución de Información Multifuncional (MIDS).
- Link 11: emplea técnicas de comunicación en red y mensajes de formato estándar para el intercambio de información digital entre las unidades. El Link 11 requiere la existencia de una estación de control de red (NCS) para poder operar.
- Link 22: sistema seguro, que propicia comunicaciones más allá de la línea de vista (BLOS). Permite interconectar todo tipo de unidades. (NORTHROP GRUMMAN, 2013)

La tabla 1 presenta un resumen de las principales características de los Link OTAN.

Si bien es cierto que son los sistemas Link más robustos y ampliamente usados (los presentados en tabla 1), no son una opción viable para la conducción de operaciones en países latinoamericanos, ya que no hacen parte de la OTAN. Considerando lo anterior, empresas internacionales han desarrollado sistemas Data Link no OTAN. Sistemas como Link Y Mk2, Link A, SP-100, Link ZZ, son algunos de los data Link comerciales no OTAN más comunes.

CARACTERÍSTICA	LINK 11	LINK 11B	LINK 16	LINK 22
Portadora	UHF/HF	UHF/HF	UHF	UHF/HF
Número de Participantes	20	2	1000	128
Acceso al medio	Sondeo	Punto-punto	TDMA	TDMA
Distribuido	No	N/A	Sí	Sí
Voz	No	No	Sí	No
Velocidad (Kb)	1,8	1,8	57,6 o +	32
Protección a perturbación	No	No	Sí	Sí
Seguro	Sí	Sí	Sí	Sí
Formato de mensajes	M	M	J	F

Tabla 1. Cuadro comparativo Data Links OTAN. Fuente: (CPT/CIA, 2008)

En materia de sistemas Data Link, resulta difícil precisar su nivel de efectividad, ya que esta característica no necesariamente está asociada a la cantidad de funcionalidades con que cuenta, de hecho, puede que muchas de sus herramientas no estén asociadas a realidades operacionales de la región o del país que va a emplearlo, razón por la cual sistemas costosos y sofisticados, en ocasiones no resultan operacionalmente útiles para los usuarios finales. Por ello cobra especial importancia conocer el entorno operacional de cada región y sus necesidades, durante la etapa de diseño de un sistema de este tipo.

3. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES.

Con el fin de conocer las necesidades específicas que tienen los comandantes de grupos o fuerzas de tareas que efectúan operaciones en tiempo de paz y poder diseñar un sistema que incluya funcionalidades que satisfagan esas necesidades, COTECMAR tuvo en cuenta la siguiente metodología:

a) Identificar operaciones que se efectúan en tiempo de paz.
b) Identificar procesos que se efectúan manualmente y que puedan ser automatizados, para mejorar la gestión de las operaciones.
c) Elaborar una matriz de requerimientos y determinar su viabilidad de solución.
d) Diseñar utilidades basadas en teoría de investigación de operaciones, que faciliten los procesos de planeación, control, análisis y ejecución de operaciones tácticas.
e) Implementar estas utilidades en el prototipo de Data Link que desarrollaron COTECMAR y ARC.

3.1 Identificación de Operaciones.

De acuerdo con los intereses marítimos de los países de la región, las Armadas implementan operaciones orientadas a defensa y seguridad, seguridad marítima, desarrollo marítimo, protección del medio ambiente y operaciones internacionales (ayuda humanitaria, presencia naval o ejercicios combinados), las cuales ejecutan con los medios asignados para su mando y control. Identificar el tipo de operación a desarrollar permite sintetizar los dispositivos de tratamiento de la información, con miras a garantizar su óptimo desempeño.

Para los casos de tiempo de paz, comúnmente se efectúan operaciones de disuasión estratégica, presencia naval, de índole policial, de seguridad marítima, ayuda humanitaria, protección del medio ambiente, interdicción marítima, evacuación de no-combatientes, prevención de conflictos, mantenimiento de la paz, fortalecimiento de la paz y construcción de la paz, cada una de ellas, con particularidades que requieren manejo especial de la información.

3.2 Identificación de procesos que se efectúan manualmente.

A partir de la experiencia de los oficiales que participan en este tipo de operaciones, se inventariaron algunos de los procedimientos que se efectúan manualmente (dependiendo de las plataformas que participen) y que podrían ser automatizados, con el fin de mejorar la gestión de las mismas. A continuación se listan algunos de ellos:

- Control positivo de aeronaves
- Plan de búsquedas
- Interdicción marítima (rumbos para la interdicción)
- Problemas de viento
- Cobertura de sensores
- Cadena de custodia de la mensajería

3.3 Matriz de requerimientos.

Para cada uno de los procesos identificados, se recopilaron requerimientos orientados a agilizar y hacer más eficiente las acciones de mando y control de las operaciones. La tabla 2 contiene los requerimientos funcionales asociados a cada uno de los procesos.

PROCESOS	REQUERIMIENTOS
Control positivo de aeronaves	Patrón de aeronaves, basado en: radio de acción y aspectos logísticos
Plan de búsqueda	Reporte de configuración de la unidad Identificación del blanco Condiciones meteorológicas Cálculo de predicción de los sensores
Interdicción marítima (rumbos para la interdicción)	Reporte de configuración de la unidad Identificación de las características del blanco Transmisión de imágenes y videos
Problemas de viento	Reporte de configuración de la unidad Condiciones meteorológicas
Cobertura de sensores	Reportes de configuración inicial de unidades Actualizaciones de configuración Identificación de las características del blanco
Cadena de custodia de la mensajería	Copias de seguridad de la mensajería y panorama táctico No repudio de mensajes Integridad criptográfica del archivo de mensajería

Tabla 2. Requerimientos funcionales por proceso.

La tabla 3 presenta la viabilidad de implementación de estos requerimientos, a través de herramientas de software, tomando como referencia la infraestructura de comunicaciones disponible en la Armada Nacional de Colombia.

Los pasos d) y e) de la metodología planteada al inicio de esta sección, serán detallados en el numerales 4 de este documento.

REQUERIMIENTO	VIABLE	NO VIABLE	OBSERVACIONES
Transmisión de videos e imágenes		X	Ancho de banda limitado
Patrón de aeronaves, basado en: radio de acción y aspectos logísticos	X		
Reporte de configuración de la unidad	X		
Condiciones meteorológicas	X		Alertas meteorológicas para prevención.
Cálculo de predicción de los sensores	X		Áreas de cobertura de los sensores
Actualizaciones de configuración	X		Características actualizadas de la unidad
Copias de seguridad de la mensajería y panorama táctico	X		
No repudio de mensajes	X		
Integridad criptográfica del archivo de mensajería.	X		

Tabla 3. Viabilidad de implementación de los requerimientos

4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UTILIDADES.

En esta sección se presenta la descripción, diseño e implementación de las utilidades de software que satisfacen los requerimientos presentados en la tabla 3.

4.1 Reporte de configuración de la unidad.

Esta funcionalidad permitirá obtener la información necesaria para poder efectuar los cálculos que soportan la toma de decisiones durante la ejecución de una operación.

Este reporte debe contener el detalle de aspectos de configuración de los sensores, las armas y aspectos logísticos de cada unidad. Debe ser enviado previo al inicio de la operación, con miras a que todas las unidades participantes queden con la misma base de información para efectuar los cálculos. El tamaño del mensaje y los parámetros que serán especificados, variarán según el tipo de unidad que se esté configurando. Este será un mensaje con formato[2] dentro del sistema, previo al inicio de la operación.

Los tipos de unidades que podrán ser configurados en el sistema son: buque, lancha, submarino, avión, helicóptero y unidades de tierra (batallón, compañía y pelotón). La figura 1 presenta la ventana de configuración implementada en el prototipo de sistema Data Link, para el caso de las unidades tipo buque de superficie.

Cabe resaltar que todos los reportes de configuración incluyen además de datos técnicos y logísticos, información asociada a la operación en la que participa cada unidad (OROPER) y a la identidad de la unidad tanto física, como en la red, tal como se aprecia en la figura 3.

4.2 Reporte de actualización de datos/configuración.

Esta funcionalidad permitirá mantener actualizada la base de información del mensaje de reporte de configuración, notificando solamente las novedades presentadas durante el transcurso de la operación.

Gracias a este reporte, las unidades participantes en las operaciones, mantienen una base de información común actualizada.

[2]Los menajes con formato son aquellos que están asociados a una longitud predeterminada y cuya información corresponde a datos puntuales solicitados por el sistema, a través de una ventana en la interfaz de usuario.

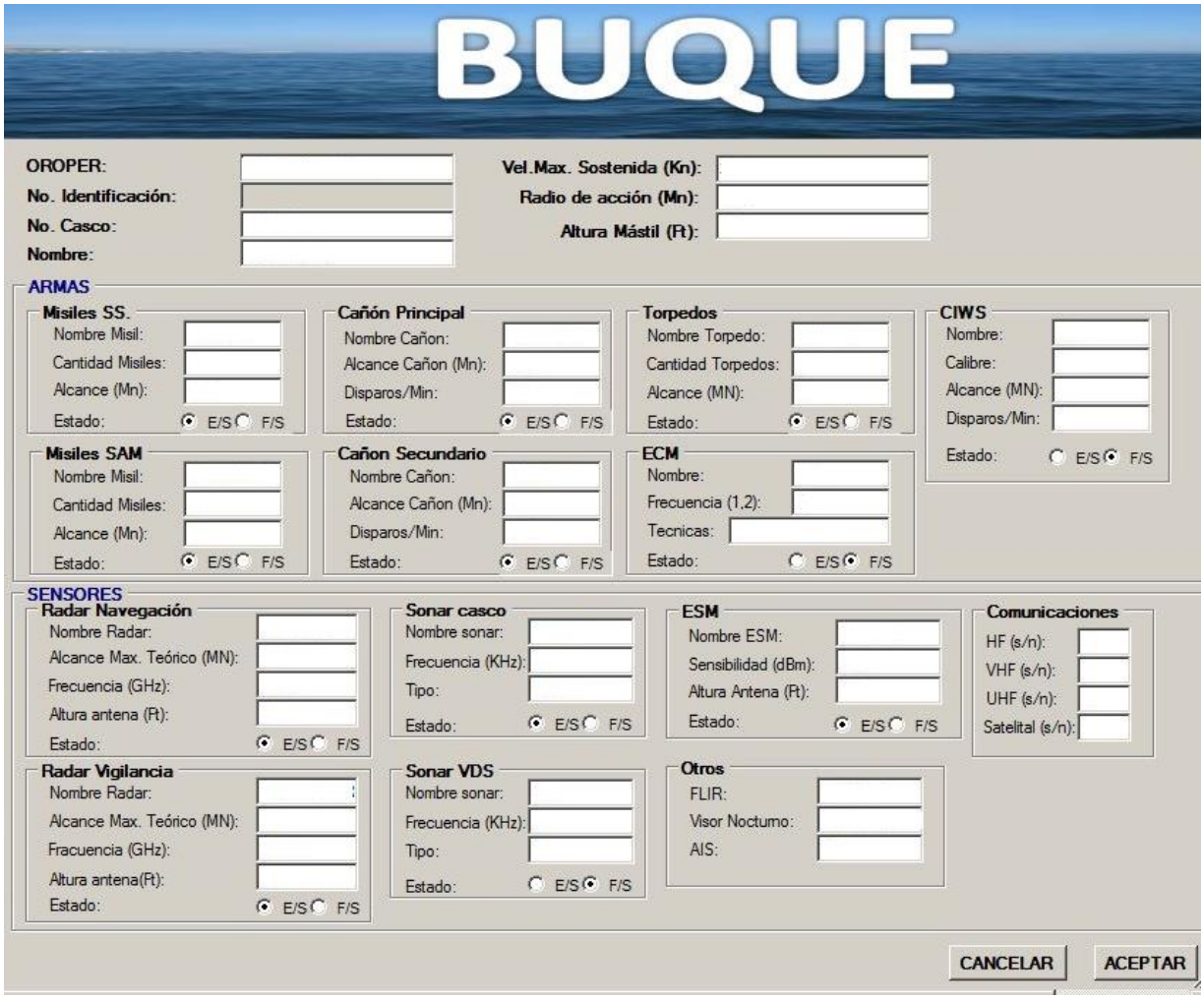


Figura 1. Ventana configuración buques de superficie

Dentro del mensaje de reporte de posición, se incluyen datos logísticos que son altamente variables, con miras a mantener actualizada la base de información del sistema. Lo anterior, debido a que el mensaje de reporte de posición de las unidades es uno de los que con mayor frecuencia se transmite en la red.

El tamaño del mensaje es fijo para cada tipo de unidad. Este será un mensaje con formato dentro del sistema.

La figura 2 presenta la ventana de actualización de configuración implementada en el prototipo de sistema Data Link. Esta ventana contiene pestañas que permiten especificar puntualmente qué tipo de información se desea actualizar: cambios en operación de sensores, armas superficie, aéreas o algunas empleadas en tierra.

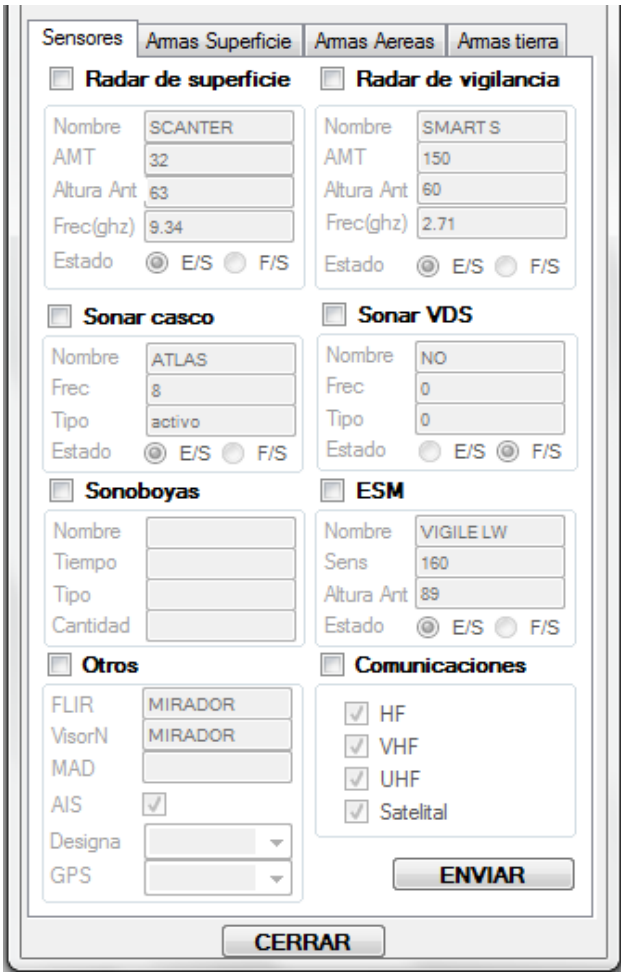


Figura 2. Ventana inicial para cambios en Configuración de la Unidad.

4.3. Patrones.

Esta funcionalidad permitirá crear patrones y áreas de búsqueda o de trayectorias, y transmitirlos a una o más unidades participantes en la operación. Estos patrones pueden ser creados sobre el panorama táctico o a partir de la especificación de las coordenadas de sus vértices.

Para el diseño de estos patrones de búsqueda se tienen en cuenta dos factores: la experticia de los comandantes de las operaciones (para definir el patrón que mejor se adecúa al tipo de situación/operación) y las técnicas propuestas en los capítulos 7, 8 y 9 del libro *Naval Operations Analysis* (como fundamentación matemática para los cálculos en el software). (U.S NAVAL INSTITUTE, 1999).

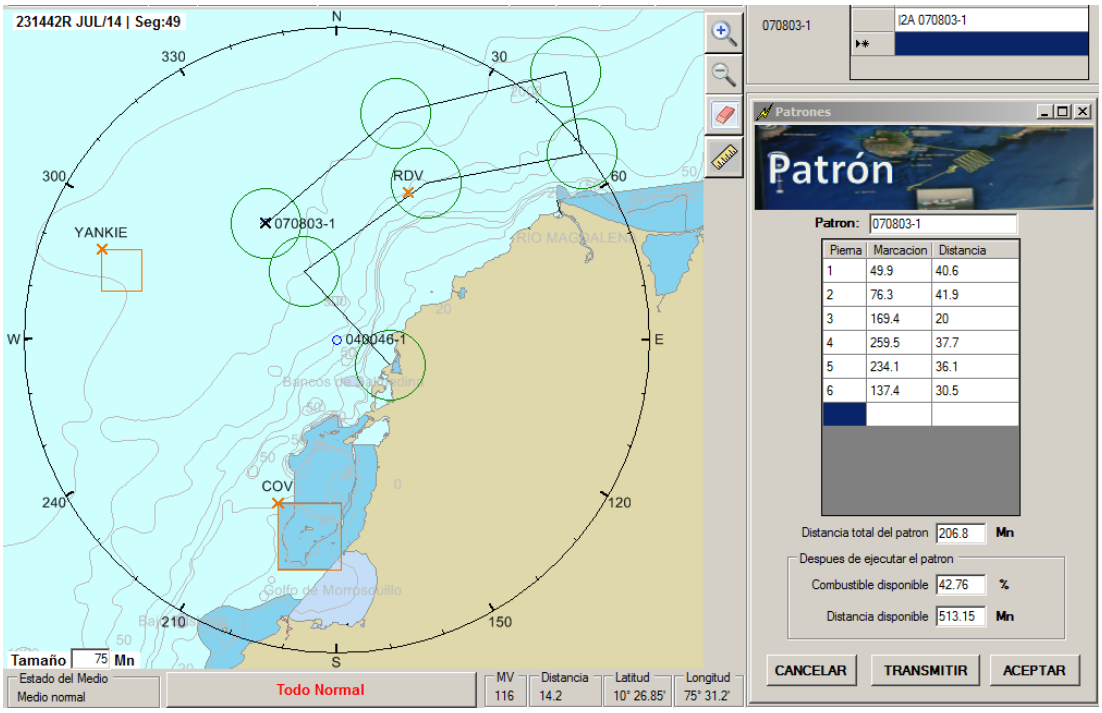


Figura 3. Ventana principal con modelo de patrón y ventana de información del patrón.

La figura 3 presenta la ventana principal del prototipo de Data Link, en cuyo Panorama Táctico se visualiza un modelo de patrón de búsqueda, elaborado por un operador del sistema de forma aleatoria. Cada uno de los vértices del patrón permite identificar la cobertura promedio de la unidad. En la zona derecha de la ventana principal, se despliega la ventana de patrones, a medida que el operador selecciona un vértice del patrón en el Panorama Táctico Común (PTC), aparece la coordenada del mismo en marcación y distancia, con respecto a la posición de la unidad propia.

Adicionalmente, la ventana de patrones permite conocer el estado de aspectos logísticos como el combustible disponible y la distancia equivalente a ese porcentaje de combustible, con que contará la unidad, una vez efectuado el patrón de búsqueda.

Esta funcionalidad también puede ser empleada para efectuar control positivo de aeronaves; de esta forma, el comandante de la operación puede orientar a sus unidades aéreas (helicópteros) respecto a la ruta de vuelo que deben seguir.

La figura 4 presenta un ejemplo de patrón aleatorio, diseñado para control positivo de un helicóptero.

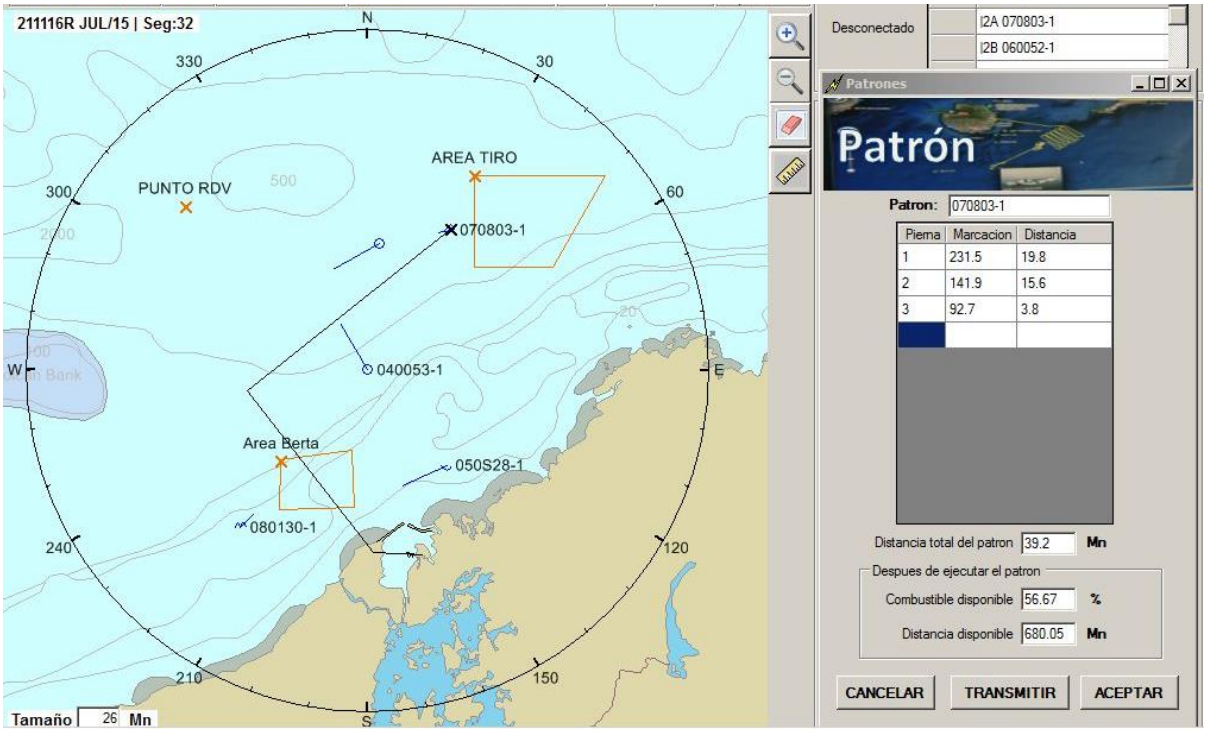


Figura 4. Ventana principal con modelo de patrón para control positivo de aeronaves y ventana de información del patrón.

4.4. Cálculo predicción sensores.

Esta funcionalidad permitirá conocer el área de detección más probable del radar de cada unidad tipo. Con esta funcionalidad, el comandante de la operación, al igual que cada unidad participante, podrá conocer la cobertura de su sensor, con miras a facilitar decisiones asociadas al diseño de patrones de búsqueda y cobertura en un área.

El área de detección más probable del radar, tiene en cuenta las características del blanco que se desea detectar y del propio sensor.

Todas las predicciones de cobertura se calculan tomando como base la ecuación 1.

$$R_{\max} = \left(\frac{P_t G^2(\theta,\phi)\lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{\min} L} \right)$$ Ecuación 1. Ecuación de radar.

Donde:

R_{max}: distancia máxima de detección de un blanco con una probabilidad del 50%, rata de falsa alarma de 10^{-6}a un blanco con una área reflectiva σ.

P_t = densidad de potencia transmitida. [Watt/m^2]

$G(\theta, \emptyset)$ = es la ganancia de antena función de θ y $\emptyset$.

λ = longitud de onda de la señal. [m]

σ = sección transversal radar. [m^2]

S_{min} = señal mínima discernible.

L = perdidas del sistema.

La Figura 5 presenta la implementación de esta funcionalidad en el sistema. En circunferencias de color verde, se aprecia la predicción de detección de tres (03) tipos de unidades diferentes. El diámetro de cada circunferencia es proporcional a las características del sensor de detección de la unidad, su altitud (del sensor) y algunos parámetros del blanco que esté buscando.

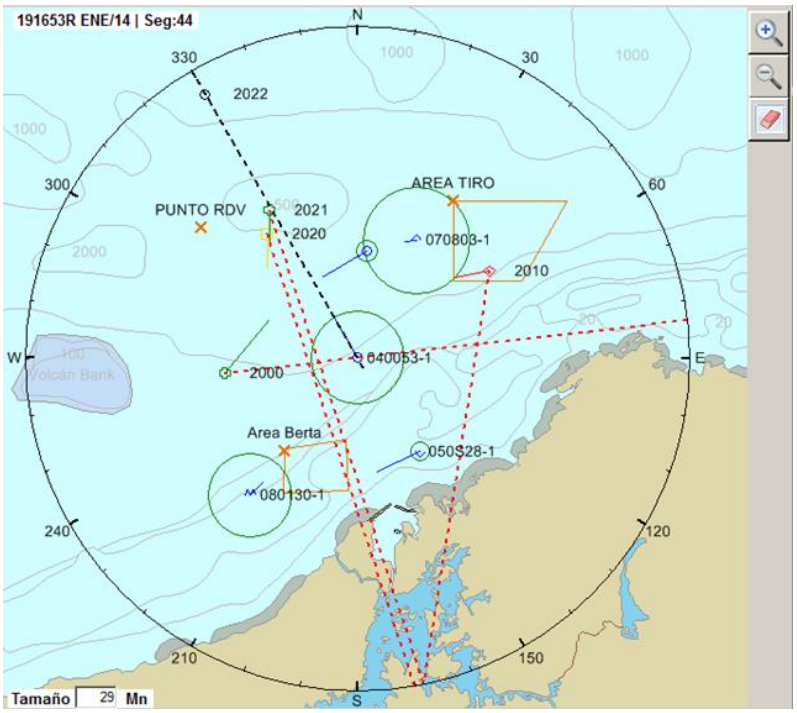


Figura 5. Ventana principal con modelo de predicción de sensores para 3 tipos de unidad diferente.

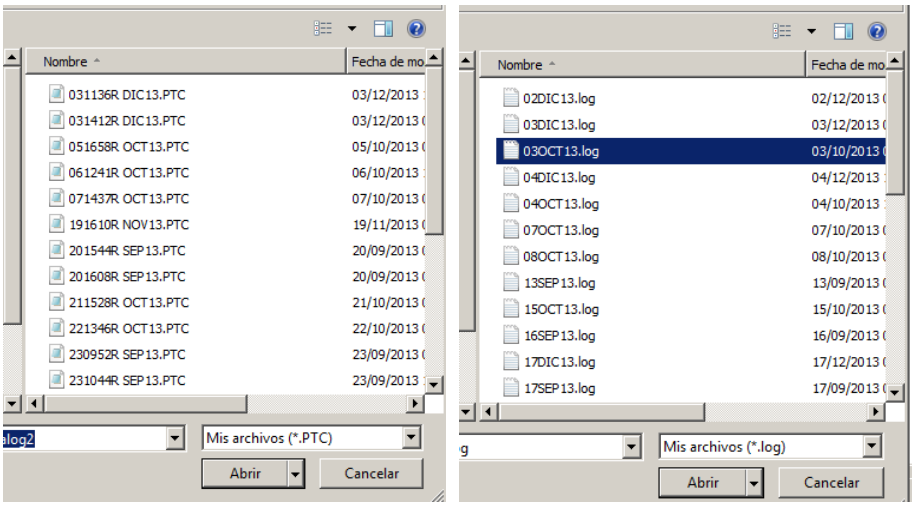
4.5. Copias de seguridad de mensajería y panorama táctico.

Esta funcionalidad permitirá almacenar y posteriormente consultar/recuperar información relevante sobre lo ocurrido durante una operación. La información podrá estar asociada a archivos gráficos (del PTC) o a mensajes de datos intercambiados.

El sistema de copias del PTC será configurable, de tal forma que sea posible grabarlo automáticamente cada determinado intervalo de tiempo, o manualmente mediante una herramienta de fácil acceso en la HMI[3] del sistema.

Para el caso de los mensajes de datos, será necesario guardar un registro de todos los mensajes que se intercambien en la red. Para ello se deberá almacenar los siguientes datos para cada mensaje: tipo, originador, destinatario, Grupo fecha-hora (GFH), prioridad con que fue enviado el mensaje y el cuerpo del mensaje en sí mismo, entre otros datos que sean relevantes.

Toda esta información será almacenada en un servidor general de la red y, como mecanismo de protección de la información se usaran técnicas de encripción para evitar la corrupción de los archivos. La figura 6 presenta evidencia de la implementación de esta funcionalidad en el prototipo de sistema Data Link desarrollado.



(a) (b)

Figura 6. Archivos almacenados. (a) Archivos asociados a PTC y (b) Archivos asociados a mensajes-datos.

[3]Human Machine Interface – Interfaz Hombre-máquina: Punto de acción en que un hombre entra en contacto con una máquina. Para que sea útil a los usuarios, ésta debe estar adaptada a sus requisitos y capacidades.

4.6. Criptografía.

Esta funcionalidad la emplean todos los sistemas data link existentes, durante las transmisiones de información en una operación. Sin embargo, es ideal asociar procedimientos de encripción no solo al intercambio de mensajes, sino también al almacenamiento de los mismos.

Esta funcionalidad permite garantizar que todos los archivos serán grabados de forma encriptada, evitando que sea alterada su integridad.

La información se almacenará en archivos que podrán ser revisados en claro desde un visor de mensajería al interior del aplicativo del sistema, pero que, bajo ninguna circunstancia podrán ser modificados, ya que al abrir los archivos desde otro programa, toda la información aparecerá codificada.

La figura 7 presenta un archivo abierto desde el visor de mensajería del sistema.

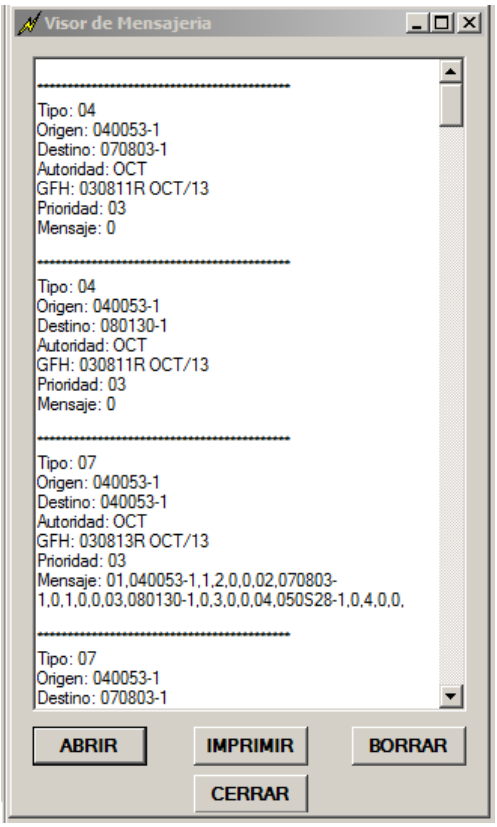


Figura 7. Mensajería - Archivo abierto en visor de mensajes

4.7. Otras funcionalidades.

Además de lo descrito, también se detectó que un aspecto importante en operaciones de interdicción marítima, que toma mucho tiempo efectuar de forma manual, es el cálculo de los factores de interceptación de un blanco.

Con miras a facilitar y agilizar este proceso de cálculo, se diseñó e implementó una funcionalidad que permite, conociendo el rumbo hacia el blanco y la velocidad máxima sostenida de la propia unidad, calcular la distancia (en Yardas) y el tiempo (en minutos), en el cual se interceptará al blanco.

Ahora bien, si lo que se desea es indicar al sistema cuál es la distancia y tiempo en que se desea interceptar al blanco, el sistema calculará el rumbo y la velocidad que debe tener la propia unidad para llegar al objetivo.

La figura 8 presenta la ventana de maniobras implementada en el sistema, a partir de la cual es posible solicitar el cálculo de interceptación del blanco. Esta funcionalidad también permite verificar gráficamente sobre el PTC el punto de interceptación.

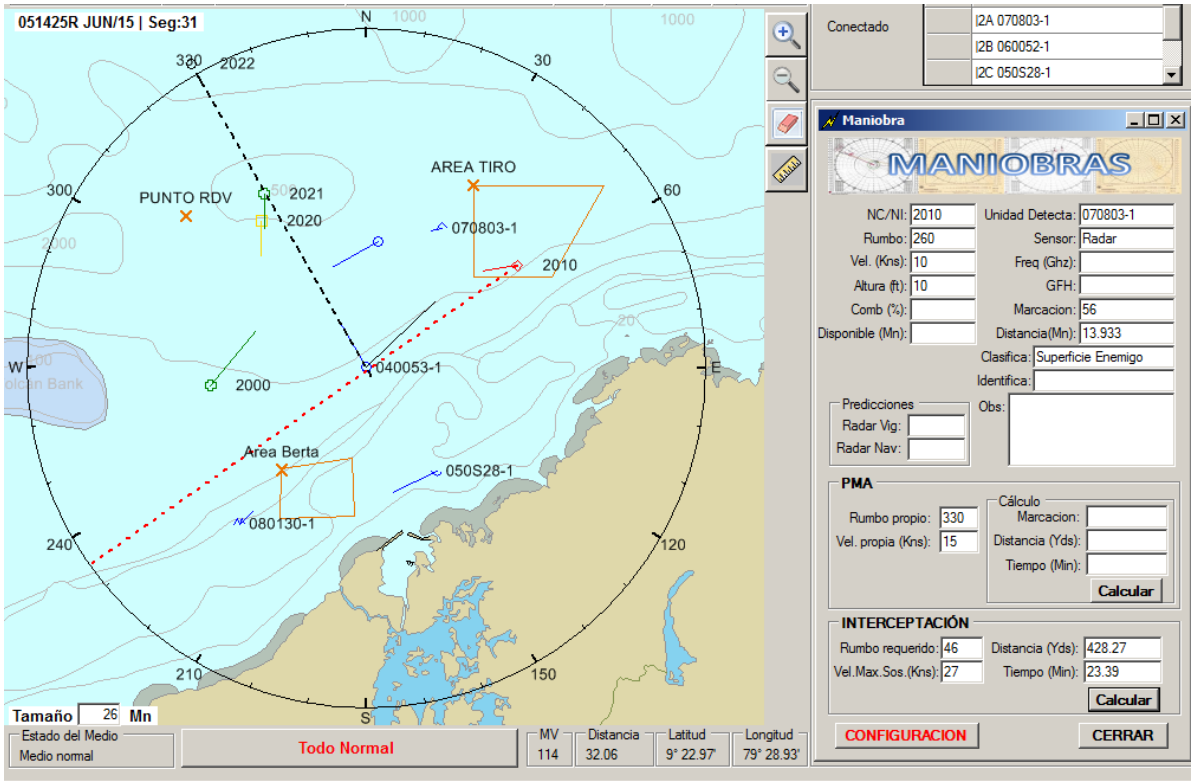


Figura 8. Calculo de interceptación de un blanco.

5. CONCLUSIONES.

- Con la tendencia de la guerra orientada a red (NCW)[4], cada unidad que opere en un grupo/fuerza de tareas, necesariamente será un nodo de información, así la plataforma no cuente con sistema de armas o se encuentre haciendo una operación en tiempo de paz. Por este motivo es fundamental que cuente con las herramientas tecnológicas que le permitan desplegar y compartir información eficientemente, durante la ejecución de las operaciones, de tal forma que satisfaga las "características de la NCW: velocidad, precisión, conocimiento e innovación". (SCHMIDTCHEN, 2005)
- Muchos detalles técnicos y logísticos requeridos durante la ejecución de operaciones, se pueden soportar a partir de herramientas de integración automática de información, que además permitan registrar todos los detalles de mensajería intercambiada en el sistema, garantizando el no repudio y la integridad criptográfica de la información.
- Con el prototipo de Data Link desarrollado y la implementación de estas funcionalidades, desde el punto de vista de apoyo a la toma de decisiones, los comandantes y en general los tomadores de decisiones, tendrán una herramienta que le imprime celeridad y certeza a sus procesos de discernimiento operacional, disminuyendo la incertidumbre y el riesgo de tomar decisiones basados en información técnica imprecisa.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

• CENTRO DE PROGRAMAS TÁCTICOS Y DE INSTRUCCÓN Y ADIESTRAMIENTO – ARMADA ESPAÑOLA - CPT/CIA. (2008, Agosto). Introducción a Link 16. Curso Link 16.
• CENTRO DE PROGRAMAS TÁCTICOS Y DE INSTRUCCÓN Y ADIESTRAMIENTO – ARMADA ESPAÑOLA -CPT/CIA. (2008, Agosto). Sumario de Data Link 16. Curso Link 16.
• COTECMAR. (2011). CDL 1.0 - Documento de descripción de las capacidades del sistema. Cartagena.
• COTECMAR. (2015). Estado del Arte e Informe de Vigilancia tecnológica – Sistemas TDL. Cartagena.
• MOFFAT, J. (2003). Complexity theory and network centric warfare. Washington D.C.: CCRP.
• NORTHROP GRUMMAN. (2013). Underestanding Voice and Data Link Networking. San Diego, CA.

[4]Descrito en términos de lograr superioridad de información con características de asimetrías generales y diversidad de "jugadores". – Vice-Almirante Cebrowski, El Pentagono, U.S DoD. (MOFFAT, 2003)

- SCHMIDTCHEN, D. (2005). Network-Centric Warfare, an idea in good currency. In A. ARMY, Australian Army Journal (pp. 111 - 123).
- U.S NAVAL INSTITUTE. (1999). NAVAL OPERATIONS ANALYSIS. Annapolis, Maryland: NAVAL INSTITUTE PRESS.

ESTUDIO DE FIRMAS DE BUQUES PARA EL USO DE MINAS MULTI-INFLUENCIA

Sánchez, Antonio[1]; Días, Juan Jesús[2];Riola, José María[3]; Niño Pinilla, Eliberto[4]

[1]SAES – Ingeniero Naval
[2]ISDEFE – Ingeniero Naval
[3]ETSIN- UPM – Doctor Ingeniero Naval
[4]COTECMAR – MSc Ingeniería Naval, Coordinador de Ventas de Construcciones. Vía Mamonal Km. 9, Cartagena - Bolívar – Colombia. Tel: (+57) 3164512931

RESUMEN.

Teniendo en cuenta que la mayor parte del tráfico de mercancías a nivel mundial se realiza por vía marítima, se consideró de gran interés evaluar la vulnerabilidad de la flota mercante frente a la existencia de minas marinas con el fin de limitar la posible exposición ante este tipo de amenazas, debido a ello se decidió llevar a cabo un programa dentro del seno de la Agencia Europea de Defensa (EDA) que pretende ampliar el conocimiento de la respuesta a las firmas multi-influencia denominado SIRAMIS (Sánchez, 2013). En este proyecto, las naciones participantes ponen en común sus capacidades de medición y análisis, al objeto de mejorar sus capacidades y conocimientos sobre las firmas del buque en campo cercano tomando como base escenarios reales. El proyecto consiste en la realización de una serie de campañas de medidas realizadas cerca de las rutas de navegación en las aguas nacionales de los países que integran el proyecto, empleándose diferentes sistemas de medidas multi-influencia proporcionados por los participantes. Del análisis de los datos registrados, se permitirá extraer información relevante que permitirá dar a conocer el efecto de las diferencias entre los sistemas de medición y los entornos de las características específicas de los buques analizados, y permitirá potenciar el entendimiento de la interacción de firmas de buques con minas multi-influencia en escenarios reales y relevantes. El conocimiento de estos datos, permitirá reunir todo el conocimiento relativo a los instrumentos y a los procedimientos de medida de las fuentes no tradicionales de ruido acústico, campos eléctricos, magnéticos y alteraciones de presión y sísmicas, así como desarrollar estándares y equipos que garanticen la máxima eficiencia en las medidas a adoptar por la Sociedad, de manera que la Comunidad Internacional pueda avanzar de forma solidaria en la protección del medio submarino.

Palabras Clave: *Multi Influence Sensors, mines, signatures* / Sensores multi-influencia,

minas, firmas

1. INTRODUCCIÓN.

Es de sobra conocido que el uso de minas marinas es un medio relativamente tan económico como el uso de minas terrestres o el uso de explosivos improvisados (IED), sólo precisan de un contenedor estanco que las proteja de la humedad, pero su funcionamiento interno no difiere en los tipos más básicos de cualquier IED usado por un grupo terrorista. Este hecho es lo que las ha convertido a lo largo de la historia en un arma muy tentadora para su uso por cualquier organización. Parece que las primeras referencias a minas en general, y a las navales en particular, nos llevan hacia China, como es el tratado militar de artillería "Huolongjing" de Jiao Yu del siglo XIV o las cajas de madera con explosivos utilizadas a la deriva por el General Qi Jiguang en el siglo XVI para luchar contra los piratas japoneses. En el tratado "Tiangong" escrito por Song Yingxing en siglo XVII las describe con un cordón de apertura que desde la orilla giraba un mecanismo que producía chispas y encendía su mecha. Aunque los libros europeos suelen mencionar un proyecto de Ralph Rabbards en 1574 y a Cornelio Drebbel en el siglo XVII en unos intentos poco afortunados como sus precursores, se suele atribuir al estadounidense David Bushnell en el río Delaware durante su Guerra de Independencia las primeras minas realmente útiles que consistían en barriles con pólvora que se detonaban por un mecanismo de chispas al golpear contra los buques. En el siglo XIX, existen muchas referencias a daños por explosiones bajo el agua por minas navales rusas, tuvieron especial importancia las diseñadas por Alfred Nobel en el Golfo de Finlandia (Guerra de Crimea).

Después de su Guerra Civil, los Estados Unidos adoptaron la mina como su arma principal para la defensa de costa y en las últimas décadas del siglo XIX se realizaron muchos experimentos con minas amarradas que explotaban al ser golpeadas, generalizándose su uso a partir de entonces. En la Rebelión Boxer o en la Guerra entre Rusia y Japón de primeros del siglo XX demostraron su enorme valía como armas. Por ejemplo, se le atribuye a un campo de minas en Port Artur la pérdida de los acorazados japoneses Hatsuse y Yashima. Durante la I Guerra Mundial, las minas se utilizaron ampliamente para defender las costas, puertos y bases navales en todo el mundo.



Figura 1. Proyecto Siramis

Los alemanes pusieron minas en muchas rutas de navegación, en especial para hundir a los buques mercantes que se fletaban hacia Gran Bretaña. Y por su parte los aliados intensificaron sus esfuerzos en sellar las salidas del Mar del Norte. Se estima en 235.000 minas marinas el número total de minas sembradas durante la I Guerra Mundial. En la II Guerra Mundial, su uso fue masivo y la mayoría de las naciones habían desarrollado minas que podrían ser lanzadas desde aviones y flotaban en la superficie. También se empezaron a desplegar minas acústicas, de presión y magnéticas. Se considera que debido a éstas, se perdieron 14 buques de la Armada de Estados Unidos. Así, la mayor profusión de estos medios se produjo recién iniciada esta guerra, cuando la Royal Navy detectó que a lo largo de la costa, algunas de sus naves fueron misteriosamente echadas a pique, además del hundimiento de seis mercantes en el Támesis, y de su acorazado más poderoso, el HMS Nelson, que quedó en malas condiciones por una misteriosa explosión. Ante estos hechos, y como no se informa de presencia de submarinos enemigos en las inmediaciones, el Almirantazgo sostiene que los alemanes poseen un arma desconocida y advierte que hasta que no se descubra de qué se trata, la marina británica no podrá pensar en contramedidas. Sólo en 1939 Inglaterra perdió por esta causa 14 buques barreminas. Los métodos habituales para detectar las minas convencionales que flotaban cerca de la superficie y sólo estallaban por contacto directo ahora se mostraban inútiles. El 22 de noviembre llegó desde la boca del Támesis la noticia de que un avión alemán perseguido por uno de sus cazas vislumbró el lanzamiento de varios objetos

voluminosos, uno de los cuales había sido localizado y que tras su examen descubrieron una de las armas secretas de Hitler, la mina magnética.



Figura 2. Explosión de una mina

Las nuevas minas detectaban la proximidad de los grandes buques y estallaban sin necesidad de contacto. Los alemanes las colocaban en el lecho marino, cerca de las costas y en lugares de poco calado, regulándolas para que detonaran al pasar un barco por encima. Estaban dotadas de un sensor magnético sensible a las variaciones del campo magnético causadas por la masa magnética del buque, y además como segunda medida, contaban con un sensor acústico que las activaban si el campo magnético no era suficiente para activar su sensor magnético.

Al esclarecer cómo funcionaban las minas magnéticas se tomaron una serie de medidas para anularlas. La primera de ellas consistió en desmagnetizar los buques mediante un enrollado de alambre (degaussing) que se energizaba con la planta eléctrica del propio buque, superponiendo a su campo original otro de sentido contrario, que anulaba la magnetización e impedía que la mina detectara el buque. Otra medida empleada para estallar las minas fue el uso de lanchas de madera que arrastraban balsas ligeras con bobinas energizadas, donde al pasar una corriente por la bobina se generaba un campo magnético capaz de detonar las minas sin causar daños. También se usaron aviones con ese fin, ejemplo de ello el Vickers Wellington DWI de la Royal Air Force que portaba una bobina de 4 metros de diámetro

dentro de un anillo de madera de balsa, que volaba rasante sobre el agua y a cuyo paso hacia saltar las minas. Durante la Guerra de Corea, las minas colocadas por Corea del Norte causaron el 70% de los daños sufridos por los buques de Estados Unidos, provocando 4 hundimientos directos. Y seguimos viendo que en los últimos conflictos, las minas navales siguen teniendo su protagonismo, como en la pasada Guerra del Golfo donde minas iraquíes dañaron gravemente al USS Princeton y al USS Trípoli.

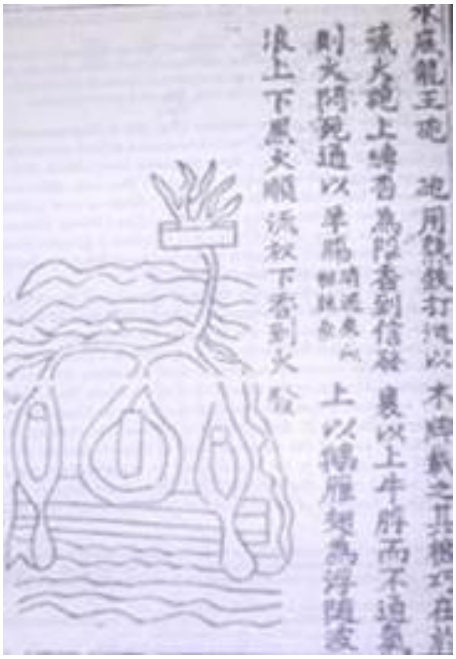


Figura 3. Diseño de Jiao - Yu

Representan una amenaza no sólo para los buques militares, sino para el tráfico marítimo en su globalidad, suponiendo un reto muy importante en una sociedad como la actual. Su mera presencia o incluso la probabilidad de su existencia obliga a cerrar puertos, playas, rutas marítimas, con las terribles pérdidas económicas que eso conlleva hasta que no se realice una limpieza concienzuda del área de influencia u operación. Lanzadas por buques especiales, las minas navales son un grave problema para la navegación civil y comercial, ya que al igual que sus parientes terrestres, permanecen activas incluso cuando la guerra ha terminado, continúan navegando a la deriva o ancladas en sus lugares de destino, pudiendo causar graves daños. Esto hace que la simple sospecha de que existe un campo minado sea motivo de alarma, poniendo en movimiento las fuerzas navales destinadas al dragado y a la caza de minas (Riola y Díaz, 2009), y aún a pesar de que sea una falsa alarma, se pierden días e incluso semanas comprobando la zona, implicando no sólo la movilización de buques especializados, sino el

cierre del puerto, el desvío del tránsito marítimo o incluso su total prohibición. Esto se ve empeorado debido a que las minas son armas comparativamente baratas, silenciosas y difíciles de detectar, atacan en el momento más inoportuno y en el punto más frágil de cualquier embarcación (debajo de la línea de flotación).

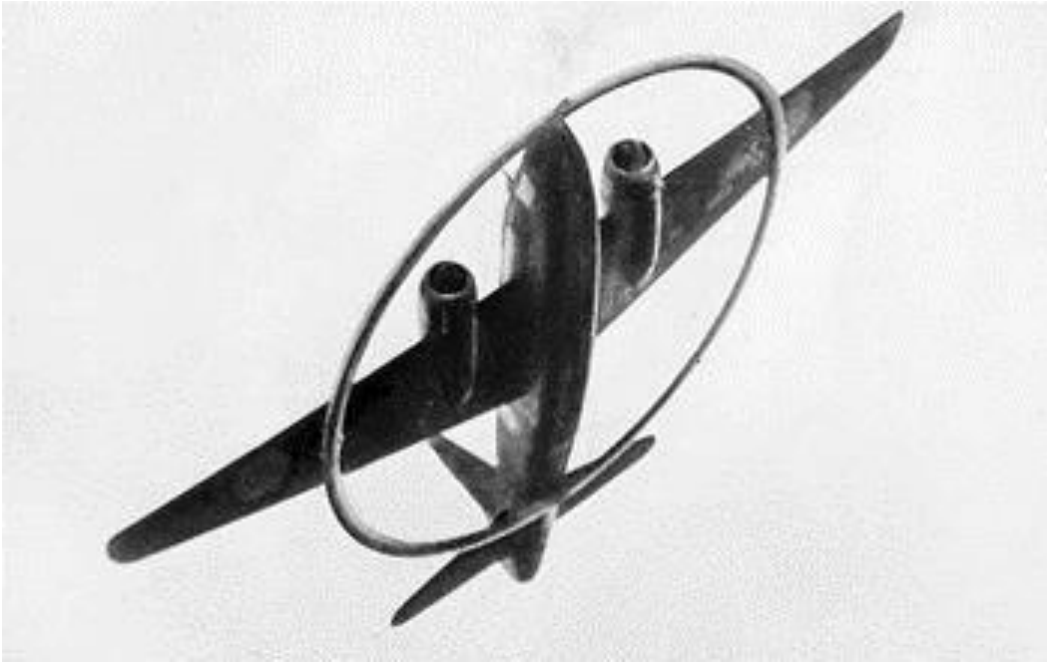


Figura 4. Bombardero Vickers-Wellington

Ahora bien, la mina marina ha venido siendo tradicionalmente un arma para aguas someras o poco profundas, situadas en zonas donde se espera el paso de barcos, ya que situarlas en medio del océano a una fosa marina no proporcionaría los resultados que de ella se esperarían. Si bien es cierto que de esta manera fueron arrojadas miles de minas durante diversos periodos de la historia, aún hoy siguen apareciendo esporádicamente, especialmente en zonas de batallas navales. Sólo en España se produce la explosión controlada de 1 ó 2 minas reales al año, que aparecen súbitamente en zonas donde hubo actividad naval durante la Guerra Civil, mientras que en el resto de Europa la proliferación se multiplica por la aparición de material de las guerras mundiales. Estas viejas minas de orinque, que necesitaban de un contacto físico con el buque, estaban conectadas al suelo por un cable, lo que forzaba su uso en aguas costeras o puertos, y estallaban al rozarse con el barco, provocando diversos daños en el casco.

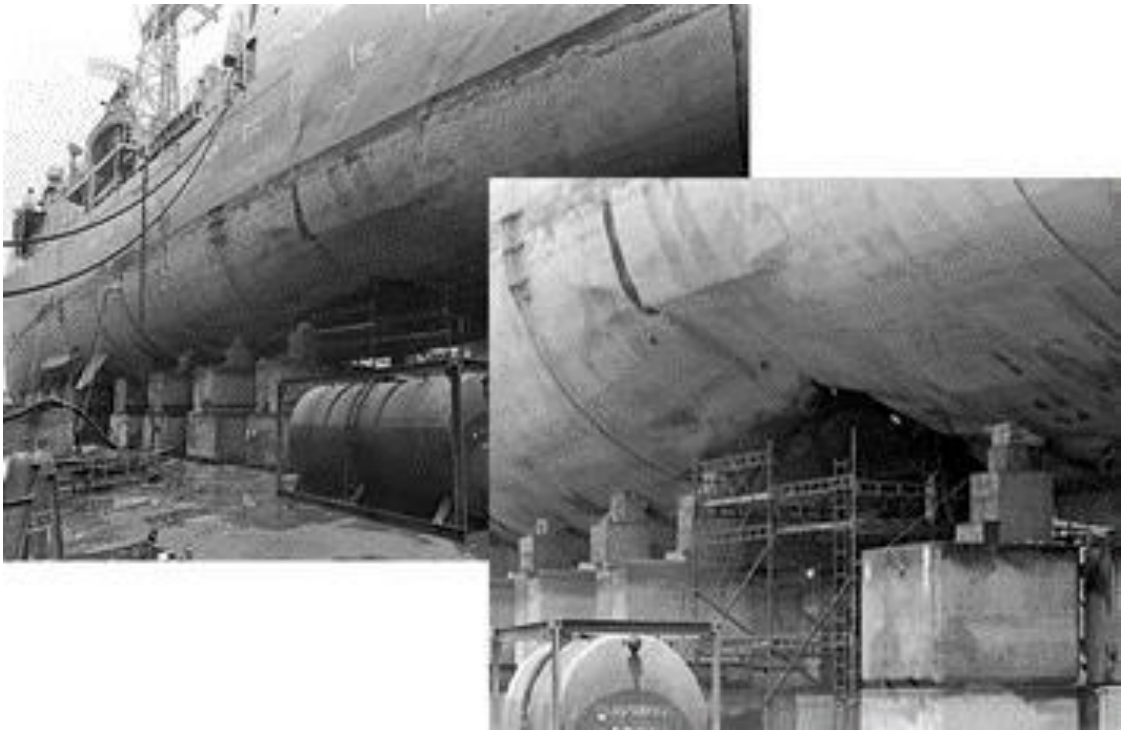


Figura 5. Buque Samuel B. Roberts. Guerra del Golfo – Dubai 1988

Básicamente las minas navales constan de tres partes principales: los sensores (sistemas de ignición), los sistemas de armado y el explosivo. Los sistemas de ignición son los que determinan si hay o no un blanco cercano que sea el adecuado. En el caso positivo, generan una señal a los sistemas de armado, los cuales hacen detonar el artefacto. No existe ninguna mina que sea efectiva contra todos los tipos de embarcaciones. Es por eso que la adaptación de los sistemas de ignición es fundamental. Éste reconoce el acercamiento de un buque y analiza las señales para determinar de qué tipo de embarcación se trata. Si existe una correspondencia entre la distancia del buque y la posibilidad de destrucción, el dispositivo de ignición genera la orden de fuego. Las específicas condiciones de propagación de las señales de las diferentes influencias en el área que rodea a la mina influencian las señales captadas, por lo que el ajuste del dispositivo de ignición depende de la cabeza de guerra, la misión de ataque y la situación geográfica. El dispositivo de ignición evalúa dichas señales, ya sean magnéticas, eléctricas, acústicas, sísmicas o de presión. Las señales del buque son recibidas por los sensores de la mina, teniendo en cuenta que pueden variar bastante desde que son emitidas, al ser modificadas por todo tipo de condiciones climáticas y geográficas (forma y material del fondo marino, mareas, corrientes submarinas, etc.). De aquí la importancia de la firma global de un buque, aspecto que se tratará en el siguiente apartado.

En la actualidad las zonas donde existen más minas o barcos hundidos con munición sensible de estallar son el Mar Báltico, el canal de Malta y la costa francesa de Normandía. Se trata de material que permanece hundido desde la II Guerra Mundial. Otra zona donde se realizó una importante labor de desminado fue en el Adriático donde se neutralizaron minas colocadas durante el reciente conflicto de Kósovo. Otra referencia la tenemos en el estrecho de Ormuz, donde Irán cuenta con diversos medios para cerrar una arteria vital para el conducto del petróleo, entre ellos podemos citar un tipo de "cohete-mina" que es activado por el rastro magnético-acústico de un buque y que luego lanza una cabeza de 600 libras sobre el blanco, o el difícil de detectar MDM6 ruso, que se encuentra en el fondo del mar y que activa una cabeza de torpedo cuando detecta a un buque.

2. FIRMA GLOBAL DE UN BUQUE.

La firma global de un buque está compuesta por la suma de diferentes elementos radiados que comprenden principalmente las firmas: radar, infrarroja, acústica, magnética, de campo eléctrico, de presión y sísmica (Sánchez et al, 2013). A lo largo de los últimos años, se han venido realizando grandes esfuerzos en el desarrollo de medidas orientadas a reducir la influencia acústica, con el doble objetivo de disminuir la detectabilidad del buque (Vílchez y Sierra, 1999) y reducir el nivel de contaminación acústica generada en el entorno marino (Rodrigo, 2012), al objeto de aumentar la discreción de los buques (*stealth*), la seguridad en puertos e infraestructuras críticas y la protección ambiental. En este sentido destacar que se han venido realizando importantes avances en materia de diseño (García y Riola, 2013) y (Riola et al, 2013). Todos los buques, independientemente de su forma y tamaño, emiten al mar un conjunto de radiaciones que configuran la denominada firma del buque, que lo caracteriza e identifica de forma unívoca del mismo modo que las huellas dactilares identifican al ser humano. Un adecuado estudio de estas firmas desde las fases iniciales de diseño de los buques, permite tomar en consideración medidas apropiadas que inciden en su reducción. Ya se ha destacado durante el apartado anterior la importancia de esta firma y como es conocida desde comienzos del siglo pasado, especialmente en el ámbito de defensa y centrada de forma particular en las denominadas firmas acústica y magnética. A continuación se realizará una descripción de cada una de ellas, centrándonos principalmente en los principios físicos que se refieren a las influencias de propagación submarina (acústica, eléctrica, magnética, presión y sísmica).

Firma radar - Aquella que está relacionada con la energía electromagnética reflejada por el buque. Es evidente que una baja firma radar disminuye la distancia de detección reduciendo la vulnerabilidad de la plataforma frente a ataques en los que la señal radar juega un papel predominante. El mecanismo de actuación se basa en un sensor radar que emite un pulso de energía electromagnética y detecta la presencia de un objetivo por la energía que éste refleja en la dirección del sensor. El parámetro que describe la firma radar de un buque es la sección equivalente radar (RCS - Radar Cross Section) que se define como el área de un dispersor isotrópico (sección de una esfera metálica) que retorna al radar la misma potencia que el objetivo en la orientación particular del radar emisor. La ecuación básica que determina esta RCS es:

$$\sigma = 4\,\pi\, r^2 \frac{S_r}{S_t} \qquad \text{(Ecuación 01)}$$

σ es la capacidad del objeto para reflejar las señales de radar en la dirección del receptor (m^2)
S_r es la densidad de potencia que es interceptada por el objeto (W/m^2)
S_t es la densidad de potencia dispersada en el rango (W/m^2)
Esta RCS, depende entre otros factores de la geometría y orientación del objetivo, la relación entre el tamaño del objeto y la longitud de onda del radar, el tipo de material de la superficie, la polarización, y las propias características del radar.

Firma infrarroja - Es aquella firma que está asociada con la radiación electromagnética emitida en la franja infrarroja del espectro. En este caso y como es conocido, todos los objetos, por estar a una temperatura por encima de 0 Kelvin, emiten energía térmica en la región infrarroja (IR) del espectro electromagnético. Esta radiación puede ser empleada como fuente para su detección y seguimiento por un arma dotada de sensores infrarrojos. Cuanto más caliente está la fuente mayor energía emitirá y más corta será la longitud de onda de la señal emitida. Existe una primera clasificación en bandas que las subdivide en región ultravioleta, región visible, y región infrarroja. Los principios sobre los que se basa la reducción de la firma IR consisten principalmente en reducir las diferencias de temperatura entre las superficies del buque y el ambiente y en la reducción de la temperatura de los gases de exhaustación. La ley de desplazamiento de Wien es una ley de la física que establece que hay una relación inversa entre la longitud de onda en la que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro (aunque puede aplicar de manera aproximada a cuerpos reales de alta

emisividad) y su temperatura. La ley implica que cuanto mayor sea la temperatura del cuerpo menor es la longitud de onda en la cual emite el máximo de radiación.

$$\lambda_{max} = 0{,}0028976\, m\, K/T \qquad \text{(Ecuación 02)}$$

λ_{max} es la longitud de onda en la que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro y su temperatura y T es la temperatura del cuerpo negro en Kelvin.

Firma acústica - Es la firma asociada a la energía vibratoria transmitida al agua. El sonido creado por una fuente que vibra se propaga en el medio marino como una onda dentro de un medio elástico originando cambios de presión que son susceptibles de ser medidos. Constituye la forma de radiación conocida que se propaga de forma más eficiente en el medio acuático, y depende de parámetros ambientales (temperatura, salinidad, presión, corrientes marinas) y físicos (relieve del fondo, superficie, partículas en suspensión) (Urick, 1993). Existen a bordo diversas fuentes que contribuyen a radiar, en general podríamos clasificarlas en fuentes de ruido estructural y fuentes de ruido hidrodinámico. El ruido estructural se produce en el interior del casco y es originado por la vibración inducida por la operación normal de los diferentes componentes que constituyen los sistemas de a bordo tales como la propulsión, la planta eléctrica, el aire comprimido, el aire acondicionado, la estabilización, el gobierno y otros servicios. El ruido generado por el contacto directo del casco con el agua y por aquellos componentes que actúan sobre ésta, se denomina ruido hidrodinámico, englobando principalmente el generado por la hélice y el originado por el flujo del agua alrededor de la carena y sus apéndices. Algunas de las medidas para minimizarlo pasan por la selección de maquinaria de bajo nivel de ruido estructural y aéreo, el montaje apropiado de la maquinaria propulsora y de los grupos diésel generadores, la correcta selección y diseño de las conexiones flexibles apropiadas para conectar la maquinaria propulsora y los grupos diésel generadores con el resto del buque, el diseño adecuado de la carena y sus apéndices y propulsor. Las ecuaciones que modelizan tanto al sonar activo como al pasivo son:

$$SNR_R = NF - 2PT + NB - (NR - ID) \qquad \text{(Ecuación 03)}$$

$$SNR_R = NF - PT - (NR - ID) \qquad \text{(Ecuación 04)}$$

Donde SNR es la relación señal ruido del receptor, NF es el nivel de emisión del transmisor (cantidad de energía suministrada por el transmisor al medio), PT es la pérdida de energía en

el camino debida a la atenuación y divergencia, NB es el nivel del blando definido como la relación entre la energía incidente y la reflejada en el blanco, NR el nivel de ruido en el escenario acústico, e ID el índice de directividad del sistema. La propagación del sonido en un medio elástico como es el agua del mar se describe matemáticamente mediante la resolución de la ecuación de ondas, usando las condiciones de contorno en los límites y del medio apropiadas para un entorno particular (Lurton, 2010).

$$\Delta p = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2(x,y,z)} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \qquad \text{(Ecuación 05)}$$

Donde p es la presión acústica de una onda que se propaga en el espacio (x, y, z) como una función del tiempo t, y $c(x, y, z)$ es la velocidad local del sonido. Δ es el operador Laplaciano. Debido a la complejidad de esta ecuación en derivadas parciales, se han desarrollado diferentes aproximaciones teóricas a su solución como las basadas en la teoría de rayos y la teoría de modos normales (Etter, 2003).A nivel práctico, el principal efecto de la propagación acústica submarina es la disminución de la amplitud de la señal por efecto de la divergencia geométrica por un lado y la absorción por otro. Las pérdidas por divergencia tienen su origen en la disminución del nivel de la señal al propagarse desde la fuente al exterior, distinguiéndose entre divergencia esférica, caracterizada porque la potencia emitida por la fuente se radia igual en todas las direcciones y divergencia cilíndrica correspondiente a condiciones de propagación canalizada, donde la señal acústica en su propagación se encuentra limitada por dos planos horizontales paralelos. Por su parte, la absorción consiste en un proceso de conversión de la energía acústica en calor y por tanto representa una pérdida real de energía acústica en el medio en el que se propaga la señal.Las pérdidas por transmisión debidas a las divergencias esférica y cilíndrica y la absorción, vienen dadas respectivamente por las siguientes ecuaciones:

$$TL = 20 \log r + \propto r.10^{-3} \qquad \text{(Ecuación 06)}$$

$$TL = 10 \log r + \propto r.10^{-3} \qquad \text{(Ecuación 07)}$$

Donde TL referencia las pérdidas por transmisión expresadas en dB, $\propto$ es el coeficiente de absorción expresado en $dB.km^{-1}$ y r la distancia expresada en m. Estas ecuaciones representan una aproximación al valor real de las pérdidas sin tener en cuenta otros factores

como los efectos de la reverberación debida a la interacción de las ondas acústicas con la superficie y el fondo del mar y dispersores de volumen en la columna de agua.

Firma magnética - Aquella que está asociada con los campos magnéticos originados por el buque, la presencia de materiales con características magnéticas en los buques determina que éstos produzcan en su entorno una modificación del campo magnético terrestre. La influencia magnética está formada por dos componentes, la estática y la alterna. De forma genérica podríamos decir que un barco puede considerarse como un imán cuya intensidad es suma de una porción permanente y otra inducida, variable con la posición y el rumbo, como suma de los elementos que lo integran. Está formada por la firma magnética estática como una de las cuatro componentes de campo electromagnético y cuyas principales fuentes de contribución son los campos ferromagnéticos y los campos debidos al sistema de protección catódica (corrosión) y por la firma magnética alterna cuyas principales fuentes de contribución son los campos dispersos (campos magnéticos necesarios para que funcionen las máquinas eléctricas, principalmente motores, alternadores y transformadores, pero que salen de su propio entorno y campos producidos por circuitos de corriente continua (CC) siempre que sean lazos cerrados) y los campos debidos a corrientes de Foucault (eddy currents). El campo magnético generado por un buque se puede caracterizar por una combinación de campos generados por bobinas y volúmenes magnetizados, de manera que el campo magnético en un punto generado por una bobina por la que circula una corriente viene determinado por la siguiente ecuación.

$$H_M = \frac{1}{4\pi} \oint_{circuito} I \frac{\vec{dl}_p \wedge \vec{u}_{PM}}{r^2} \qquad \text{(Ecuación 08)}$$

Donde *HM* referencia la intensidad de campo magnético, $\vec{dl}_p$ un elemento de corriente de longitud dl y sentido el sentido de circulación de la corriente, $\vec{u}_{PM}$ el vector unitario y r la distancia entre el elemento lineal de corriente y el punto de medida. El campo magnético generado en un punto por un volumen viene determinado por:

$$H_M = \nabla . \left(\frac{1}{4\pi} \int_{\substack{volumen \\ magnetizado}} \frac{\vec{M} dV_p \wedge \vec{u}_{PM}}{r^2} \right) \qquad \text{(Ecuación 09)}$$

Donde $\vec{M}$ referencia el momento magnético y V_p un elemento en volumen de corriente. Para resolver las ecuaciones de campo magnético generado generalmente se realizan simplificaciones como el método de los dipolos o el método de las elipsoides.

Firma de campo eléctrico - Está formada por una componente estática y una componente alterna. La componente estática se denomina UEP (*Underwater Electric Potential*) y representa la influencia en campo cercano. Se mide al paso del buque sobre un sensor o antena de sensores de campo eléctrico y su variación temporal depende de la velocidad y tamaño del buque. La firma eléctrica alterna se denomina ELFE (*Extremely Low Frequency Electric*). La firma eléctrica estática es la que se debe a las corrientes eléctricas generadas en el proceso de corrosión galvánica, empleándose sistemas de protección catódica principalmente para evitarla. La firma eléctrica alterna se origina por diferentes causas, como la modulación de la corriente galvánica o el rizado en la alimentación de la maquinaria del buque. Se denomina dipolo eléctrico a una configuración de dos cargas puntuales iguales y de signo opuesto situadas en el espacio, donde estas cargas generan un campo eléctrico en dicho espacio tridimensional. La intensidad del campo eléctrico no se puede medir en términos absolutos, es por ello que hay que determinar el potencial en dos puntos del espacio a partir de electrodos y calcular su valor en base a la siguiente ecuación.

$$E = \frac{(V_1 - V_2)}{d} \qquad \text{(Ecuación 10)}$$

Donde E referencia la intensidad de campo eléctrico medida en $\mathrm{V/m}$, $\mathrm{V_1}$ y $\mathrm{V_2}$ el potencial en los puntos de medida seleccionados y d la distancia entre estos puntos. Las corrientes estáticas que se generan en los buques de superficie tienen su origen en el fenómeno de la corrosión, sobre la base de la formación de uno o varios dipolos. Comúnmente las hélices actúan como cátodo y el casco como ánodo, realizándose la conexión a través del cable de masa del buque y de su casco. La celda de corrosión se completa con la presencia del electrolito que en este caso es el agua del mar. La intensidad de campo viene determinada por:

$$E = \rho\, J = \frac{1}{\sigma}\, J \qquad \text{(Ecuación 11)}$$

Donde ρ referencia la resistividad (Ωm), σ la conductividad (S/m) y J la densidad de corriente (A/m^2). La densidad de corriente vendrá determinada por la diferencia de potencial entre el

ánodo y el cátodo, de manera que si varía la conductividad, para una misma densidad de corriente, el campo eléctrico varía de manera inversa a la conductividad.

Firma de presión - La variación de presión que origina un buque a su paso constituye su firma de presión, origina un incremento de presión en la proa y popa y una disminución de presión en su zona central, cuyo pico es directamente proporcional a la velocidad del buque y depende en gran medida de la forma de la obra viva. En este caso, la presión hidrostática es la presión existente en un punto de un medio, en nuestro caso el agua del mar, debida a la acción de la columna de fluido que actúa sobre él. Esta presión se ejerce en todas direcciones y sigue el principio de Pascal. Para una columna de mar de altura *h* metros tomando como referencia la superficie, la presión hidrostática *P* generada, medida en Pascales, viene dada por la ecuación siguiente.

$$P= \rho.g.h \qquad \text{(Ecuación 12)}$$

Donde ρ referencia la densidad del agua del mar (kg/m^3) y g la constante gravitacional (m/s^2).

Firma sísmica - Finalmente nos referimos a la influencia sísmica, donde las ondas sísmicas se encuadran dentro de la categoría de ondas elásticas, que corresponden a perturbaciones tensionales que se propagan a lo largo de un medio elástico. Las ondas sísmicas se clasifican en ondas internas y ondas superficiales. Las ondas internas viajan a través del interior de la Tierra, mientras que las superficiales se propagan a través de su superficie. Cuando una onda sonora alcanza una superficie la mayor parte de su energía se refleja, pero un porcentaje de ésta es absorbida por el nuevo medio. De este modo, las señales acústicas de muy baja frecuencia se transmiten hasta el subsuelo del fondo marino y se propagan a través de éste como perturbación de tipo sísmico. Así este tipo de perturbaciones viajan más rápidamente por el fondo marino que por el agua. La energía acústica que penetra en el fondo puede contribuir de forma considerable en ocasiones a transmisiones a media y larga distancia. La distancia de transmisión depende de las características de los materiales y capas que componen el fondo. Las ondas internas se subdividen en ondas *P* y ondas *S*. Las ondas *P* o primarias son ondas longitudinales que se propagan produciendo oscilaciones del material en el mismo sentido en el que se propagan. Su velocidad de propagación es genéricamente 1.73 veces superior a las ondas *S*. En un medio isótropo y homogéneo, la velocidad de propagación de las ondas *P* viene dada por la siguiente ecuación.

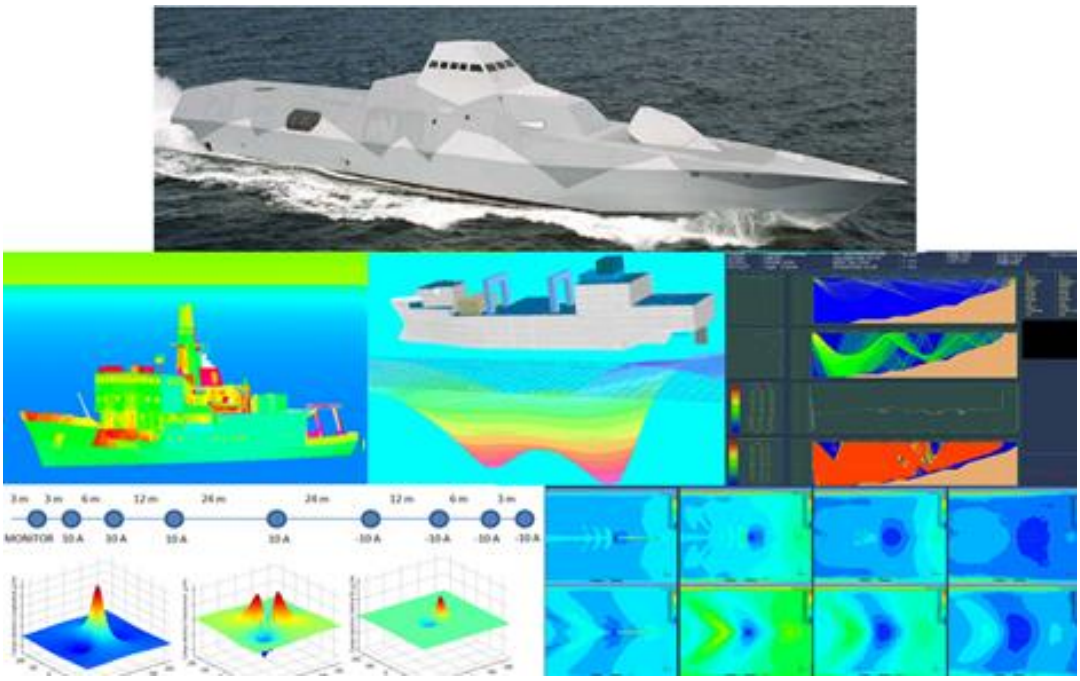


Figura 6. Firma radar (sup.), IR (medio izq.), magnética (medio cen.), acústica (medio dcha.), eléctrica (inf. izq.) y presiones bajo quilla en planos horizontales (inf. dcha.

$$v_p = \sqrt{\frac{K+\frac{4}{3}\mu}{\rho}} \qquad \text{(Ecuación 13)}$$

Donde v_p viene expresada en m/s, K referencia el índice de compresibilidad, μ el módulo de corte o rigidez y ρ la densidad del material a través del cual se propaga la onda mecánica. Las ondas *S* o secundarias se caracterizan por un desplazamiento transversal a la dirección de propagación, por una velocidad de propagación inferior a la de las ondas *P* (dependiente como en estas ondas del tipo de material en el que se propagan) y por una amplitud mayor a la amplitud de las ondas *P*. La velocidad de propagación de las ondas *S* en un medio isótropo y homogéneo viene dada por la siguiente ecuación.

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \qquad \text{(Ecuación 14)}$$

Donde v_p viene expresada en m/s, μ referencia el módulo de corte o rigidez y ρ la densidad del material a través del cual se propaga la onda mecánica. Las ondas superficiales se

propagan a lo largo de la interfase tierra-agua y se subdividen en ondas Rayleigh y ondas Love. Ambas son ondas transversales y viajan a velocidades muy inferiores a las ondas *P* y *S*. Al igual que las ondas *S* poseen amplitudes mayores que las ondas *P*, pero sus periodos son mucho más largos. Por último señalar, que existen diversos equipos y sistemas orientados a minimizar los valores de firma (deperming, sistemas de desmagnetización, sistema de protección catódica, filtros, etc.) que de forma conjunta con los métodos de diseño y construcción adecuados permiten dotar sobre todo a los buques de guerra de mejores prestaciones. Destacar los sistemas degaussing para reducir el magnetismo del buque de manera que su firma magnética no se encuentre dentro del rango que active la mina, estos equipos suelen ir instalados a bordo y se conforman de bobinas instaladas paralelas a los principales planos del buque y que son energizadas con corriente continua controlada, de manera que los campos que generan se oponen a las componentes del magnetismo del buque compensando las componentes permanente e inducida.

3. ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA MULTI-INFLUENCIA.

Los sistemas de medida multi-influencia de última generación actuales incorporan genéricamente características como la integración de varios sensores capaces de medir campos físicos de diferente naturaleza como: magnético, eléctrico, sísmico y de presión; operación de los sensores de forma síncrona entre ellos y con otros elementos externos como GPS, sistemas de identificación automática de buques tipo AIS, videocámaras, etc.; y capacidad de grabación y análisis de todos los datos grabados. Los sensores comúnmente integrados en estos sistemas multi-influencia son: acústicos, magnéticos, eléctricos, sísmicos y de presión. Típicamente, los sensores acústicos se basan en un hidrófono omnidireccional; los sensores magnéticos integran magnetómetros triaxiales tipo fluxgate; los sensores eléctricos corresponden a pares de electrodos eléctricos para configurar los tres ejes (vertical, longitudinal y transversal) de medida, siendo los electrodos de plata/cloruro de plata o carbón; los sensores sísmicos están basados en acelerómetros y suelen ser también triaxiales y los sensores de presión se basan en transductores piezoresistivos para medir la variación de la presión en la columna de agua al paso del buque respecto a la presión atmosférica y no suelen ser direccionales. Una vez captada la señal (acústica, magnética, eléctrica, sísmica o de presión) mediante un transductor, esta señal es acondicionada (amplificada y filtrada) y convertida al dominio digital para su envío, almacenamiento y procesado. En la actualidad, los sistemas adquieren las señales con un máximo de 24 bits, lo que permite tener canales con

un amplio margen dinámico (hasta 140 dB). Debido a que son sistemas de medida de alta precisión, el nivel de ruido propio requerido para los sensores es muy bajo, estando por debajo al menos del nivel de ruido medioambiental.

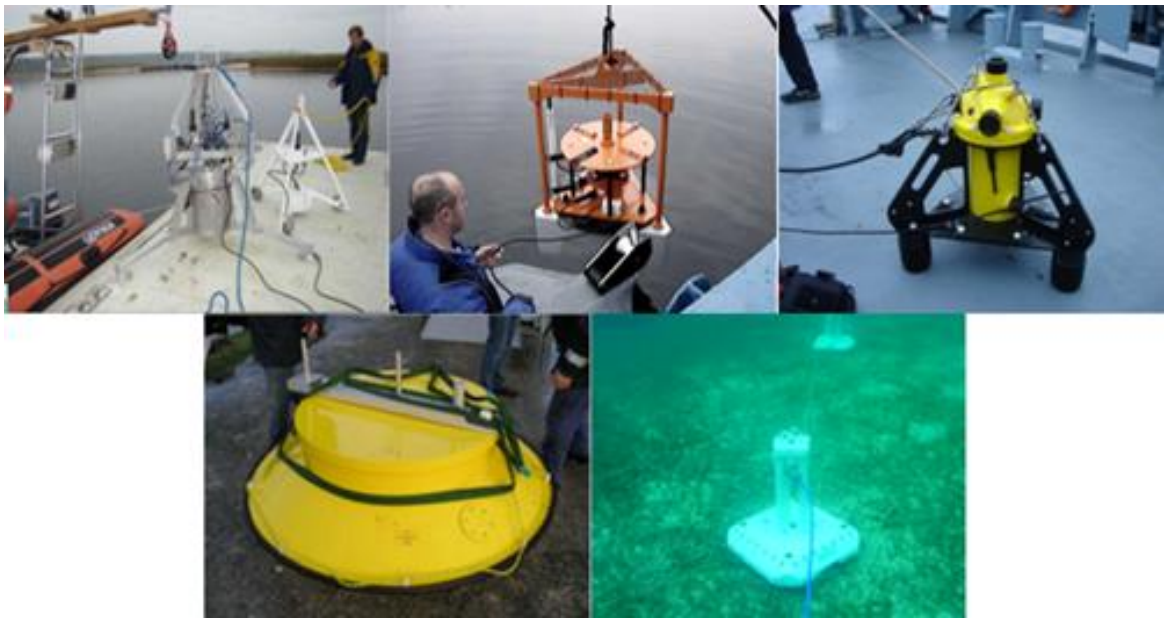


Figura 7 Estaciones de medida portátiles: IGLOO y Mini IGLOO (POL, sup. izq.), OMEGA (FRA, sup. cen.), MOUSE (SUE, sup. der.), PRIME (HOL, inf. izq.) y MIRS (ESP, inf

Los diferentes países participantes en el programa SIRAMIS disponen de sistemas de medida multi-influencia de vanguardia, lo que permite obtener medidas de alta precisión y resolución. Con relación a los procedimientos de medida, en la actualidad no existen estándares internacionales comúnmente adoptados por las diferentes naciones, a continuación se identifican aquellos que han sido acordados como referencias dentro del programa SIRAMIS: STANAG 1136. Edition 3. Standards for use when measuring and reporting radiated noise characteristics of surface ships submarines, helicopters, etc, in relation to SONAR detection and Torpedo Acoustic Risk. March, 1994; ICES Cooperative Research Report Nº 209. May 1995; ANSI/ASA 12.64-2009. Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships; AMP-14. Protection of vessels from electromagnetic mines; AMP-15. Standards for mine warfare acoustic measurements. Aunque no de forma significativa, los requisitos de las medidas varían en función del estándar utilizado. Sobre esta base, la primera tarea de cada grupo de análisis ha consistido en definir los requisitos de

medida de las diferentes influencias, basado en los diferentes parámetros configurables: profundidad de calado de los sensores, anchos de banda para cada señal, separación entre sensores multi-influencia, distancia lateral máxima permisible entre el buque bajo medida y el sensor, duración de la medida, precisión de los sensores en términos de sensibilidad, margen dinámico, ruidos de los sensores, etc., recurrencia de los sistemas de posicionamiento del buque bajo medida.

En el proyecto SIRAMIS participan un total de 12 entidades pertenecientes a 7 países (Alemania, España, Francia, Holanda, Noruega, Polonia y Suecia), de las doce entidades mencionadas, 7 son de carácter gubernamental: Maritime and Technology Research Center (WTD-71) y Center for Ship Signature Management (CSSM) por Alemania, siendo éste último centro compartido con Holanda; la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) y en particular la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDGPLATIN) por España; la General Directorate for Armament (DGA) y en concreto el Atlantic Underwater Research Group (GESMA), por Francia; el antes referenciado CSSM y la Defence Materiel Organization (DMO) por Holanda; el Norwegian Defence Research Establishment (FFI) por Noruega y la Swedish Defence Materiel Administration (FMV) por Suecia. El consorcio industrial está representado por 5 empresas: SAES, TNO, PNA y Kockums y Saab. El proyecto tiene una duración de tres años a partir de su comienzo a finales de marzo de 2012, y tiene prevista su finalización a finales de 2015, cuenta con dos paquetes de trabajo principales el WP-100 dedicado a medidas y el WP-200 centrado en el análisis de las medidas. Los objetivos específicos para el grupo de trabajo encargado del primer paquete de trabajo (WP-100) son: (1) el establecimiento de los requisitos de las medidas (procedimientos, formatos de datos, etc.), (2) la realización de pruebas de calibración en una estación fija con la participación de los sistemas de medida móviles, con objeto de analizar el efecto de los sensores, la adquisición de datos y el acondicionamiento de señal en cada sistema en los datos de las firmas, (3) la realización de pruebas con fuentes calibradas y los mismos parámetros en diferentes localizaciones, para evaluar la influencia del entorno en los datos adquiridos y (4) la recolección de datos de buques mercantes por los diferentes sistemas de medida para configurar una base de datos. Las tareas desarrolladas en el ámbito del segundo paquete de trabajo (WP-200) se centran en: (1) el análisis de los datos provenientes del WP-100, enfocado inicialmente a obtener datos calibrados en relación a los sistemas y el entorno a partir de la aplicación de métodos de normalización y modelos de transformación a los datos inicialmente medidos con las fuentes calibradas, (2) el análisis de las características

de las firmas individuales y (3) el estudio de una posible correlación entre las firmas, sobre la base de posibles relaciones entre características de buques individuales y características de diferentes clases de firma.

Durante la fase de medidas se utilizan el conjunto de estaciones de medida puestas a disposición del programa por los diferentes países participantes. Estas medidas se han desarrollado en dos ámbitos operacionales: área de operación de una estación fija con la presencia de fuentes calibradas y buques mercantes y área de operación en sus respectivos países de las estaciones de medida fijas y móviles midiendo fuentes calibradas y buques mercantes. Estas medidas son la base para la configuración de la base de datos de medidas multi-influencia de buques mercantes y para su posterior análisis. Cada país participante aporta al proyecto una estación de medida fija o portátil. Las siete estaciones participantes en SIRAMIS poseen capacidad de medida de las firmas acústica, eléctrica, magnética, de presión y sísmica de los buques. Dentro de ellas, dos son instalaciones fijas, ubicadas en Alemania y Noruega. La estación alemana está localizada junto al Mar Báltico, en la localidad de Aschau (Bahía de Eckernförde), y se halla desplegada en un área de aguas poco profundas (profundidad media de 22 m), mientras que la estación noruega se encuentra ubicada en la localidad de Herdla, cercana a Bergen, situada junto al Mar del Norte, y consta de cuatro grupos de sensores para medir las diferentes influencias. Las portátiles, fueron desplegadas en aguas de sus respectivos países: los sistemas polacos IGLOO y mini IGLOO en Gdynia (Bahía de Gdansk), en el Mar Báltico; la estación portátil francesa OMEGA en Roscoff y Saint Malo (Bretaña francesa), en el Océano Atlántico; la estación de medidas sueca MOUSE en el Mar del Norte (Galtero, área de Goteborg) y en el Mar Báltico (Oaxen, área de Estocolmo); el sistema holandés PRIME en el área de Ámsterdam, en el Mar del Norte y la estación española MIRS en el entorno del Puerto de Cartagena en el Mar Mediterráneo.

Nación	Estación de medida	Tipo
ALE	Aschau	Fija
ESP	MIRS	Portátil
FRA	OMEGA	Móvil
HOL	PRIME	Portátil
NOR	Herdla	Fija
POL	IGLOO / Mini IGLOO	Portátil
SUE	mouse	Portátil

Tabla 1. Relación de estaciones de medida fijas y portátiles en SIRAMIS

Las medidas con fuentes calibradas en la estación fija alemana de Aschau se llevaron a cabo en noviembre de 2012 y diciembre de 2013, a partir de la programación de medidas y los requisitos establecidos por los integrantes, esta estación es gestionada por el Centro Técnico Alemán para Buques y Armas Navales, WTD-71. El objetivo planteado fue disponer de medidas con las diferentes estaciones portátiles en un entorno controlado para evaluar el impacto en las medidas de los sensores, los sistemas de adquisición de datos y los procesos de acondicionamiento de señal de cada sistema, sobre la base de su comparación con las señales de referencia medidas por los sensores de la estación, con el fin de desarrollar métodos de normalización que permitiesen obtener medidas comparables. En las medidas, además de la estación fija de Aschau que proporcionaba las señales de referencia, participaron todas las estaciones móviles involucradas en SIRAMIS excepto la holandesa PRIME, de la que se disponían de datos de calibración procedentes de un proyecto previo denominado RIMPASSE. En las medidas de noviembre de 2012, participaron los sistemas español, polaco y sueco, mientras que se realizaron medidas específicas de calibración en diciembre de 2013 para la estación de medidas francesa, debido a que no pudo participar por problemas técnicos en las previas de 2012. Para la generación de las influencias a ser medidas se emplearon tres fuentes calibradas y un buque mercante. Dos fuentes calibradas fueron proporcionadas por la Marina alemana, consistentes en los drones para medidas contraminas Seehund 4 y Seehund 13, con capacidad de generación de influencias acústica, eléctrica y magnética. La embarcación Seehund 4 fue utilizada adicionalmente para remolcar la fuente calibrada PRIME proporcionada por el Ministerio de Defensa holandés, y con capacidad de generación de influencias acústica, eléctrica y magnética. Por último, el buque mercante Beringdiep, contratado por el WTD-71, permitió en particular disponer de firmas de presión y sísmicas, más pronunciadas que en el caso de las proporcionadas por las embarcaciones Seehund.

En paralelo a las medidas con la fuente calibrada PRIME, los diferentes países han llevado a cabo campañas de medidas de buques mercantes, para obtener una base de datos multi-influencia de este tipo de buques, cubriendo un amplio rango de los mismos como: buques portacontenedores, buques petroleros, cruceros, barcos de pasajeros, buques pesqueros, etc. Las localizaciones y fechas de estas medidas se presentan en la siguiente tabla, y a esta base de datos de medidas en la mar se le aplicó los métodos de normalización y modelos de transformación obtenidos a partir del análisis de los datos recolectados en las medidas de calibración, para disponer de una base de datos de medidas comparables.

Nación	Sistema	Localización	Periodo
ALE	Aschau	Bahía de Eckernförde	2012
ESP	MIRS	Puerto de Cartagena	2013-2014
FRA	OMEGA	Puerto de Roscoff	2012-2013
HOL	PRIME	Rotterdam / Ámsterdam	2014
NOR	Herdla	Herdla	2013
POL	IGLOO / Mini IGLOO	Bahía de Gdansk	2013
SUE	MOUSE	Galtero / Oaxen	2013

Tabla 2. Localizaciones y fechas de medidas de buques mercantes en SIRAMIS

Posteriormente se entró en la fase de análisis, definiéndose cinco grupos, uno centrado en cada influencia: influencia acústica, análisis Influencia Magnética, análisis Influencia Eléctrica, análisis Influencia de Presión y análisis Influencia Sísmica. Las tareas de cada grupo de análisis son comunes y se dividen en: Elaboración de los requisitos de medida: tarea completada como paso previo a las medidas de calibración en la estación fija de Aschau, proporcionando requisitos de: profundidad de calado de los sensores, anchos de banda para cada señal, separación entre sensores multi-influencia, distancia lateral máxima permisible entre el buque bajo medida y el sensor, duración de la medida, precisión de los sensores (en términos de sensibilidad, margen dinámico, ruidos de los sensores, etc.) y recurrencia de los sistemas de posicionamiento del buque bajo medida. Análisis de las medidas con fuentes calibradas en Aschau, donde todos los países participantes desplegaron su sistema de medida en Aschau sobre una trayectoria predefinida y sobre todos los sensores se hicieron pasar diferentes fuentes calibradas con distintas configuraciones (estática y alterna). El objeto del análisis fue determinar las variaciones en la medida que produce cada sensor utilizando como sensores de referencia los desplegados de manera fija en Aschau por el WTD-71. Con el objeto de evaluar la homogeneidad de las medidas, se realizó una comparación in situ de los datos proporcionados por cada sistema de medida. Una vez verificada la comparabilidad de las medidas preliminares (Schael, 2013), se llevó a cabo el total de la campaña de medidas. Análisis de las medidas con fuentes calibradas en cada localización, las fuentes calibradas utilizadas en Aschau se trasladaron a cada uno de los países participantes para realizar una campaña de medidas en cada uno de ellos. El objeto de estas campañas de medida y su correspondiente análisis era la comparación de las medidas realizadas con una misma fuente calibrada en diferentes entornos marinos (ambiente). El resultado final del análisis consistió en determinar la influencia del entorno en la medida. Análisis de las medidas de buques mercantes, en esta fase se realiza el análisis de las medidas de los buques mercantes medidos

por cada país participante. El objeto final del análisis es la realización de un escalado / agrupamiento de determinadas características de las medidas (frecuencias propias, amplitudes, ancho de banda, etc.), en función de determinadas características de los buques (velocidad, desplazamiento, tamaño, etc.). Se ha proporcionado un análisis preliminar de los buques mercantes y el informe final está en fase de finalización. Una vez finalizada la fase de análisis de cada influencia por separado, se realizará la fase de correlación de datos obtenidos del análisis.

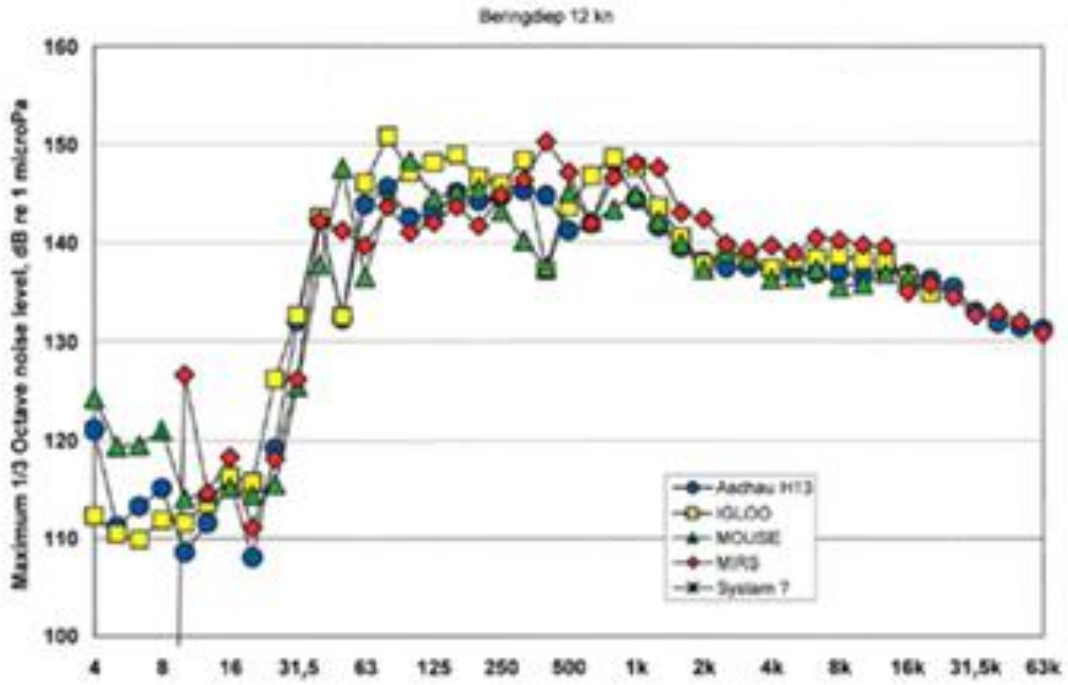


Figura 8. Comparación influencia acústica

4. ÁMBITO DE APLICABILIDAD

Los resultados derivados del programa, centrados en la compilación de una extensa base de datos de medidas multi-influencia de buques mercantes y su posterior análisis a nivel de firmas individuales y combinadas, tiene importantes implicaciones tanto en el ámbito de defensa, como en los ámbitos de seguridad y medioambiente. El interés en el ámbito de defensa de SIRAMIS es claro al tratarse de un proyecto desarrollado en el marco de la EDA. La base de datos de medidas multi-influencia de buques mercantes y su posterior análisis permitirá a los organismos de defensa disponer de información contrastada sobre la interacción entre las firmas de los buques y los sensores que integran las modernas minas multi-influencia, en entornos relevantes de operación y diferentes condiciones de propagación. Asimismo, posibilitará un desarrollo más preciso de diferentes tareas, entre las

que se encuentran: la evaluación operacional de sistemas de rastreo de minas existentes y futuros y el establecimiento de herramientas operativas que apoyen el uso de sistemas MCM durante su ciclo de vida, y permitan capacitar a las naciones participantes a la hora de mejorar y establecer puntos de referencia en sus modelos de interacción buque-mina.



Figura 9. Ámbitos de aplicabilidad

Adicionalmente, es de resaltar que los buques mercantes son elementos estratégicos para el comercio internacional, por lo que los resultados de SIRAMIS permitirán avanzar en el desarrollo de medidas preventivas para la protección de este tipo de buques en áreas de conflicto, incluyendo procedimientos de neutralización de minas multi-influencia. En particular en el ámbito de la seguridad, contribuirá al diseño de sistemas más efectivos para la prevención sobre las denominadas amenazas asimétricas en el entorno submarino, que se caracterizan por ataques aislados llevados a cabo por grupos reducidos de buceadores que se desplazan de forma autónoma o mediante sistemas propulsados, o mediante vehículos no tripulados o dispositivos que alojan explosivos y que pueden causar un daño apreciable sobre infraestructuras críticas como instalaciones portuarias, centrales térmicas o refinerías de petróleo, o contra buques. En estos entornos, los sistemas de detección, seguimiento y localización de amenazas que incorporan sensores que miden diferentes influencias presentan una clara ventaja sobre los sistemas de detección que se basan en un único sensor, sobre la base del aumento de la probabilidad de detección y la disminución de la probabilidad de falsa alarma, con lo que se incrementa la efectividad en la protección.

Por último mencionar el creciente interés internacional sobre la protección medioambiental en el medio marino, incluyendo el efecto de la contaminación por diferentes tipos de energía, como acústica, eléctrica o magnética en este medio, por su influencia negativa sobre la flora y en especial la fauna marina. En este ámbito cabe resaltar la promulgación en 2008 de la Directiva Marco sobre Estrategia Marina de la Unión Europea (Comisión Europea, 2008), que establece un marco operativo en el cual se deben tomar las medidas necesarias para alcanzar o mantener, para el año 2020, un buen estado ambiental de las aguas sobre las que tienen

soberanía o jurisdicción. Para determinar este buen estado ambiental se han establecido un conjunto de descriptores cualitativos. Entre ellos, el número 11 hace referencia a que "La introducción de energía, incluido el ruido subacuático, se sitúe en niveles que no afecten de manera adversa el medio marino".

5. CONCLUSIONES.

Como se ha visto, todos los buques al desplazarse en el medio marino radian al mar un conjunto de influencias (acústica, magnética, eléctrica, de presión y sísmica) que conforman su firma multi-influencia. Algunas de estas firmas vienen siendo medidas desde hace décadas para caracterizar a los buques en particular dentro del ámbito de defensa debido a la importancia de las mismas frente al empleo de minas navales. Adicionalmente, durante la última década ha despertado el interés de la comunidad internacional el disponer de la firma completa de los buques para evaluar de forma global su impacto en el medio marino. Los resultados obtenidos hasta el momento se muestran como ampliamente positivos, a pesar de la complejidad de los procesos llevados a cabo por el número de sistemas de medida empleados, los diferentes entornos operativos seleccionados y el número de parámetros analizados. La cooperación internacional en SIRAMIS ha mostrado su efectividad en términos de relación coste-beneficio y utilización de protocolos comunes. El desarrollo del programa se enmarca en la tendencia actual de creciente importancia de los sistemas con capacidad de registro y análisis de medidas multi-influencia y de las bases de datos obtenidas a partir de estos sistemas, dentro del ámbito de defensa, así como en los ámbitos de seguridad y medioambiente. Entre otros aspectos, en defensa permiten la evaluación operacional de sistemas de rastreo de minas y la mejora de la capacidad operativa de los sistemas MCM a lo largo de su ciclo de vida. En seguridad permiten incrementar el grado de protección de instalaciones críticas, buques y áreas de valor cultural. En el ámbito medioambiental, estudios preliminares llevados a cabo en el Mediterráneo han mostrado los elevados niveles de radiación eléctrica y magnética emitidos por los cruceros. En general, los datos obtenidos constituyen la base para la realización de análisis que permitan determinar las medidas más adecuadas para la preservación de la fauna marina.

6. REFERENCIAS.

European Commission, (2008). *Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for community action in the field of marine environmental*

policy (Marine Strategy Framework Directive). Off. J. Eur. Union L164, 19–40.

Etter, P. (2003). *Underwater Acoustics modeling and simulation*, Spon Press, New York.

García, A. y Riola, J. (2013). Proyecto hidrodinámico de un buque de escolta oceánico tipo trimarán: Dimensionamiento, diseño, estudio numérico y experimentación. *Congreso DESEi+d 2013*, Madrid, España.

Lurton, X. (2010). *An introduction to underwater acoustics*. Principles and applications, Springer, New York.

Riola, J. y Díaz, J. (2009). Aplicación de los USV al rastreo de minas - Proyecto SIRAMICOR. *48º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima*, Vigo, España.

Riola, J., Pérez, R. y Díaz, J. (2013). Análisis del Comportamiento en la Mar de Buques de Guerra Multicasco. *52º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima*, Madrid, España.

Rodrigo, F. & Sánchez, A. (2014). Main Characteristics of the MIRS measured electric and magnetic underwater fields emitted by cruise ships in the Mediterranean Sea. *In Proceedings of the MAST EurAsia 2014 Conference*, Istanbul, Turkey.

Rodrigo, F. (2012). La Contaminación Acústica Submarina: Fuentes e Impacto Biológico. *Las Tecnologías de Doble Uso: La Transferencia entre Ejército, Empresa y Universidad. II Jornadas / Curso de Verano*. Centro Universitario de la Defensa (CUD) de San Javier, 131-136, Murcia, España.

Sánchez, A. (2013). Programa SIRAMIS. *Jornadas Técnicas de Acústica Submarina*, Madrid, España.

Sánchez, A., Hernández, A., Rodrigo, F. & Muñoz, P. (2013). Underwater multi-influence measurements as a mean to characterize the overall vessel signature and protect the marine environment. *In proceedings of the 3rd International Ship Design and Naval Engineering Congress*, Cartagena de Indias, Colombia.

Schael, F. (2013). Underwater noise pollution by merchant ships. *In Proceedings of the 1st Underwater Acoustics Conference*, Corfu, Greece.

Urick, R. (1983). *Principles of Underwater sounds*, Mc Graw Hill, New York.

Vílchez, F. y Sierra, H., (1999). Detectabilidad de Buques de Combate. *Congreso Panamericano de Ingeniería Naval*, COPINAVAL 99, Colombia.

3. CONSTRUCCIÓN Y REPARACIÓN

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO PARA A PRODUTIVIDADE E COMPETITIDADE DOS ESTALEIROS DO VALE DO ITAJAÍ

João Luiz Francisco[1]; Quinhões Pinto, Ricardo Aurélio[2]; Gomes Lopes, Francisco Jorge[3]; Botter, Rui Carlos [4]

[1]USP. Universidade de São Paulo. Avenida Professor Mello Moraes, 223. Cidade Universitária. São Paulo – SP – Brasil. CEP: 05.508-970.
jlfranciscoh@hotmail.com
[2]UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. Rua Presidente Prudente de Moraes, 406 - Santo Antônio. Joinville – SC – Brasil. CEP: 89218-000.
ricardo.pinto@ufsc.br
[3] IST. Instituto Superior Técnico. Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa. Portugal.
gmslps@yahoo.com,
[4]USP. Universidade de São Paulo. Avenida Professor Mello Moraes, 2231. Cidade Universitária. São Paulo – SP – Brasil. CEP: 05.508-970.
rcbotter@usp.br

RESUMO

O objetivo do trabalho foi analisar os principais Fatores Críticos de Sucesso (FCSs) da indústria da construção naval na região do Vale do Itajaí, do estado de Santa Catarina, Brasil, comparando-os com os dados levantados por Moura (2008) referentes à indústria de construção naval do Brasil. A fim de se alcançar esse objetivo, aplicaram-se questionários estruturados a diretores de quatro estaleiros da construção naval da região. Os resultados encontrados apontam uma forte relação de confiança com fornecedores, flexibilização da dimensão das embarcações produzidas e mão de obra de alta qualidade, com capacidade técnica e gerencial, como os FCSs mais recorrentes para esta indústria, além da prática de encaminhar antecipadamente o programa de produção aos fornecedores. A proximidade de universidades nacionais, com possibilidade de ganhos tecnológicos, é outro FCS que provavelmente colabora para a produtividade e competitividade dos estaleiros do Vale do Itajaí, contudo, tendo em vista os dados coletados, tal aspecto poderia ser mais desenvolvido. Ao se comparar estes FCSs com os identificados por Moura (2008), perceberam-se grandes semelhanças entre eles.

1. INTRODUÇÃO.

Moura (2008) desenvolveu uma pesquisa em estaleiros brasileiros para entender segundo o ponto de vista de seus gestores, quais são os principais Fatores Críticos de Sucesso (FCSs) necessários para que melhorassem a sua competitividade. A pesquisa foi feita de um modo abrangente e os resultados estatísticos apresentados sugerem uma média de todos os estaleiros pesquisados sem caracterização regional.

A proposta deste trabalho foi fazer um levantamento dos FCSs na região do Baixo Vale do Itajaí, em Santa Catarina, usando os mesmos padrões de pesquisa de Moura (2008) e comparar os dois resultados, um específico regional e outro uma média nacional.

A região do baixo Vale do Itajaí é considerada um polo de empresas relacionadas com a indústria da construção naval, abrigando alguns dos mais renomados estaleiros brasileiros de construção de rebocadores e embarcações de apoio a plataforma *offshore* de exploração e produção de petróleo e gás. Vale a pena mencionar também a importância do segmento da indústria pesqueira, com inúmeros estaleiros de construção e reparo vocacionados para esse tipo de embarcações.

A importância que a região tem no setor naval nacional é evidenciada com as encomendas de 11 rebocadores da Vale do Rio Doce ao Estaleiro Detroit (REUTERS BRASIL, 2009), com o investimento de US$ 80 milhões do estaleiro Keppel Sigmarine (PORTOS e NAVIO, 2014) em suas novas instalações e com a expressiva carteira de encomendas do estaleiro Navship, sendo três dos navios para iniciar a construção no terceiro trimestre de 2015 (SINAVAL, 2015). Ainda segundo a entidade, o Fundo da Marinha Mercante (FMM) também aprovou prioridade de financiamento de quase R$ 500 milhões para ampliação e modernização do estaleiro Navship, incluindo a construção de um dique flutuante.

Este trabalho torna-se importante, uma vez que poderá colaborar no fortalecimento das empresas relacionadas com a indústria da construção naval situadas no polo de construção naval de Santa Catariana, podendo também servir de embasamento para outros estaleiros que queiram se instalar na região do Vale do Itajaí e ser uma forma das empresas entenderem as suas deficiências para melhor se capacitarem para se tornarem mais competitivas.

Em relação ao meio acadêmico, e nomeadamente para Universidade Federal de Santa Catarina, que agora possui o Curso de Engenharia Naval, a temática também se torna

relevante ao adicionar uma linha de pesquisa tão fundamental como o desempenho dos estaleiros navais catarinenses.

2. FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO (FCSs).

Leidecker e Bruno (1984) definem FCSs como as características ou variáveis que quando mantidas, sustentadas e gerenciadas corretamente, podem ter um impacto significativo para o sucesso de uma empresa que compete numa determinada indústria.

De acordo Grunert e Ellegar (1992) os FCSs são as habilidades e recursos que explicam os valores percebidos pelos clientes. Tais habilidades e recursos vão além dos pré-requisitos para se estar no mercado, ou seja, são os fatores que diferenciam as empresas de um mesmo mercado. Seguindo este conceito, os produtos ou serviços tidos como de maior valor pelos clientes e que, ao mesmo tempo, tem menor custo, trazem melhor desempenho e competitividade para a empresa. Os autores expõem quatro formas diferentes de se entender os FCSs:

- Algo necessário a um sistema de informação de gestão;
- Uma característica única de uma empresa;
- Uma ferramenta heurística para orientar gestores;
- Descrição das principais habilidades e recursos necessários para uma empresa ser bem-sucedida no seu mercado.

Os FCSs percebidos pelos gestores podem ser distorcidos por diversos motivos, salientando-se as limitações de informação e mecanismos psicológicos. No entanto, a análise de FCSs como ferramenta utilizada na gestão do conhecimento e na pesquisa científica de determinantes de sucesso contribui para superar essas distorções entre os fatores reais e os percebidos. Quando os FCSs são adequadamente identificados e gerenciados, as organizações, dentro do seu segmento de negócio específico, passam a ter melhor desempenho e tornam-se mais competitivas (MAGNANI, 2004).

São 14 os FCSs cuja recorrência foi avaliada junto aos estaleiros de construção naval do Vale do Itajaí e apresentados a seguir:

F1 - Existência de uma área de pesquisa e desenvolvimento de produtos: de acordo com Coutinho et al (2006), dentre os FCSs para os estaleiros de construção naval está um corpo técnico capacitado e pesquisas focadas na área do desenvolvimento e design de novos produtos.

F2 - Dotado de equipamentos e máquinas tecnologicamente atualizados: dentre FCSs analisados por Moura (2008), ter equipamentos e máquinas industriais tecnologicamente atualizados foi considerado o sétimo mais importante segundo a visão dos gerentes dos estaleiros pesquisados pelo autor.

F3 - Serviço de assistência técnica pós-venda bem desenvolvido: a Cadeia de Valores de Poter, como expõe Morri e Zilber (2003), é composta por atividades que tornam a empresa competitiva. Dentre estas atividades, chamadas de atividades de valor, encontra-se a assistência técnica, que tem como função intensificar ou manter o valor do produto.

F4 - Relação forte e de confiança com fornecedores: todos os estaleiros de construção naval entrevistados por Moura (2008) possuem mecanismos de controle para mensurar o comprometimento do fornecedor em relação aos prazos de entregar. O autor expõe que dentre os FCSs considerados essenciais para a competitividade da indústria de construção naval está o comprometimento dos fornecedores com o prazo de entrega.

F5 - Programa de produção enviado com antecedência aos fornecedores: de acordo com Moura (2008), os fornecedores de itens considerados essenciais para os negócios dos estaleiros recebem com antecedência a programação de produção dos estaleiros, como, por exemplo, os motores principais para as embarcações.

F6 - Parcerias com universidades nacionais: dentre os 38 FCSs apontados como os mais importantes segundo os estaleiros brasileiros na pesquisa realizada por Moura (2008), a integração entre estaleiros e as universidades nacionais para o desenvolvimento de pesquisas ficou em sexto lugar. No que tange a área de construção naval, o autor expõe que há parcerias na maioria dos estaleiros pesquisados.

F7 - Utilização de recursos do Fundo da Marinha Mercante: em pesquisa realizada por Moura (2008), este foi um FCS considerado essencial e necessário para a competitividade da indústria de construção naval brasileira, sendo que parte dos estaleiros entrevistados utiliza o Fundo da Marinha Mercante.

F8 - Posse de certificados internacionais: a existência de certificados internacionais que permitam inserir os produtos no mercado internacional foi o quinto FCS tido como mais importante pelos estaleiros da indústria marítima brasileira de acordo com levantamento feito por Moura (2008). Segundo o autor, a maioria dos estaleiros de construção naval possuem certificados internacionais e quem não possui é porque não projeta exportar produtos.

F9 - Mão de obra competente, com capacidade técnica e gerencial: segundo pesquisa realizada por Moura (2008), o principal FCS na opinião dos estaleiros da indústria marítima brasileira é a existência de mão-de-obra técnica qualifica.

F10 - Terceirização de parte da produção: Moura (2008) expõe que os estaleiros asiáticos atualmente se assemelham bastante com as empresas montadoras de veículos, que possuem como foco serem apenas montadores de subconjuntos, terceirizando tudo que não faça parte de sua competência central.

F11 - Existência de subsídios/incentivos governamentais: em pesquisa realizada por Moura (2008), constatou-se que as políticas industriais focadas para o segmento da construção naval são consideradas importantes, no entanto são necessárias melhorias pra que contribua para a competitividade da indústria marítima brasileira.

F12 - Flexibilização do volume de produção: Hauguenauer (1989) expõe que a competitividade de uma empresa pode ser conceituada como a sua capacidade de perceber oportunidades, implementá-las e se beneficiar dos ganhos advindos.

F13 - Tributação que não torne o segmento menos competitivo: de acordo com Moura (2008), a redução de tributos poderia ser um grande avanço para as exportações.

F14 - Flexibilização do tipo de produção: no que se refere às indústrias que trabalham com produtos de alto valor agregado, Hauguenauer (1989) considera que uma fonte de competitividade de uma empresa seria sua capacidade de se adaptar a mudanças e aos níveis de exigência dos mercados de destino.

3. METODOLOGIA UTILIZADA.

O objetivo geral deste trabalho foi comparar FCSs encontrados nos estaleiros de construção naval do Baixo Vale do Itajaí com os FCSs identificados por Moura (2008) na sua

abrangência de âmbito nacional. A fim de atingir tal objetivo, o processo de pesquisa teve início com uma revisão bibliográfica sobre a indústria marítima, com maior enfoque para o Brasil e nomeadamente no estado de Santa Catarina, e também sobre os parâmetros evidenciados na gestão industrial dos estaleiros navais, seguindo-se a realização de um mapeamento da indústria marítima do Vale do Itajaí e, ao mesmo tempo foi efetuado o levantamento dos contatos de vários estaleiros, para se iniciar o processo de aplicação dos questionários.

O mapeamento da indústria marítima do Vale do Itajaí teve início com um levantamento dos estaleiros presentes em Santa Catarina através de sites. Após esta fase, entrou-se em contato, por telefone, com os estaleiros da região do Vale do Itajaí a fim de coletar mais informações. O Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias Metalúrgicas, Mecânicas, Material Elétrico e de Construção Naval de Itajaí e Região também foi visitado para se obter mais informações sobre os estaleiros de construção naval da região.

A segunda fase do processo de pesquisa consistiu na aplicação de questionários preenchidos pelos a estaleiros do setor de construção naval indicados no mapeamento acima descrito. Como ponto de partida para a elaboração do questionário, utilizou-se a tese de Delmo Alves de Moura (2008), intitulada *Análise dos principais segmentos da indústria marítima brasileira: estudo das dimensões e dos fatores críticos de sucesso inerentes à sua competitividade,* no entanto algumas alterações foram feitas com o objetivo de tornar o questionário mais sintético, de modo a obterem-se repostas da gestão dos estaleiros.

3.1 Estaleiros participantes.

Os estaleiros que fazem parte do escopo desta pesquisa estão situados no Baixo Vale do Itajaí, pertencentes ao setor de construção naval, e que foram identificados por meio de buscas realizadas pela internet e validadas através de visita realizada ao Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias Metalúrgicas, Mecânicas, Material Elétrico e de Construção Naval de Itajaí e Região. Dos cinco estaleiros identificados, quatro se mostraram dispostos a participar da pesquisa, o que pode ser considerado um número representativo, sendo que cada estaleiro indicou a pessoa que estaria mais apta a preencher o questionário.

Algumas características dos estaleiros estão apresentadas na Tabela 1, vale ressaltar que eles são tratados como estaleiros “A”, “B”, “C” e “D” para manter o seu anonimato, como acordado antes da aplicação dos questionários.

Tabela 1 - Características dos estaleiros entrevistados

Estaleiro	Tipo de embarcação	Embarcações produzidas por ano	Dimensão média (TPB)	Número médio de funcionários
A	PSV e rebocadores portuários	4	8600	1100
B	PSV	3	4000	1000
C	PSV, AHTS e estimulação de poços	3	5000	1800
D	PSV e AHTS	3	7000	850

3.2 Técnicas de pesquisa utilizada.

A primeira e mais importante condição para a diferenciação entre vários métodos de pesquisa, segundo YIN (2010), é classificar o tipo de questão de pesquisa sendo feito. Neste trabalho, as perguntas estão focadas no “*Quem, O quê, Onde, Quantos, Quanto?”*, não sendo exigido o controle dos eventos comportamentais e tendo como foco eventos contemporâneos. De acordo com o autor, este tipo de questões favorecem os métodos de levantamento (*survey*) ou a análise dos dados, em que a *survey* se torna vantajosa quando a meta da pesquisa é descrever a incidência ou a prevalência de um fenômeno, o objetivo deste trabalho.

Para coleta dos dados, enviou-se por e-mail um questionário aos estaleiros de construção naval do Vale do Itajaí, sendo que os estaleiros referentes ao setor náutico, reparação naval e offshore não faziam parte deste projeto. Os questionários foram aplicados com o objetivo de analisar como os FCSs são percebidos segundo a visão dos próprios estaleiros e organizados em duas etapas:

1ª - Questões gerais, referindo-se às características de cada estaleiro,

2ª – Identificação dos seus FCSs.

Seguindo o modelo adotado por Moura (2008), utilizou-se uma escala de Likert na qual os estaleiros entrevistados expressaram sua opinião em relação à existência de cada FCS. No entanto, diferentemente do autor que utilizou uma escala com sete alternativas, no projeto que aqui se expõe usaram-se quatro. Esta decisão foi tomada pois, conforme exposto por Alexandre *et al*. (2003), a inclusão de uma escala com quatro alternativas pode conduzir a uma tendência e forçar os entrevistados a marcarem a direção que eles estão mais "inclinados". Segundo artigo publicado pelo mesmo autor, o respondente tende a selecionar a resposta do meio quando não sabe ou não têm experiência. Como existem escalas de quatro a onze categorias, as mais usuais são as de quatro ou cinco.

A análise estatística dos dados foi feita de formar descritiva e as conclusões baseadas nelas, sem qualquer aplicação de outra técnica.

4. RESULTADOS DA *SURVEY.*

Como exposto anteriormente, a identificação dos FCSs presentes nos estaleiros de construção naval do Vale do Itajaí foi realizada por meio de questionário análogo ao utilizado por Moura (2008). A análise realizada consistiu do cálculo percentual de cada alternativa assinalada pelos estaleiros entrevistados e da comparação deste resultado com o apresentado pelo autor em sua tese.

Observando os dados da Tabela 2, pode-se visualizar, respectivamente, a porcentagem de alternativa "concordo" e "mais concordo do que discordo" que cada FCS obteve, é possível afirmar que, dentre os FCSs avaliados neste trabalho, os mais recorrentes na indústria de construção naval do Vale do Itajaí são o F4, F14 e F9. Junto na Tabela 2 também se encontra a percentagem alcançada no cenário nacional.

Em alguns casos, a comparação entre os FCS nacionais e regionais não foi possível ser feita de maneira direta, sendo esses casos descritos a seguir.

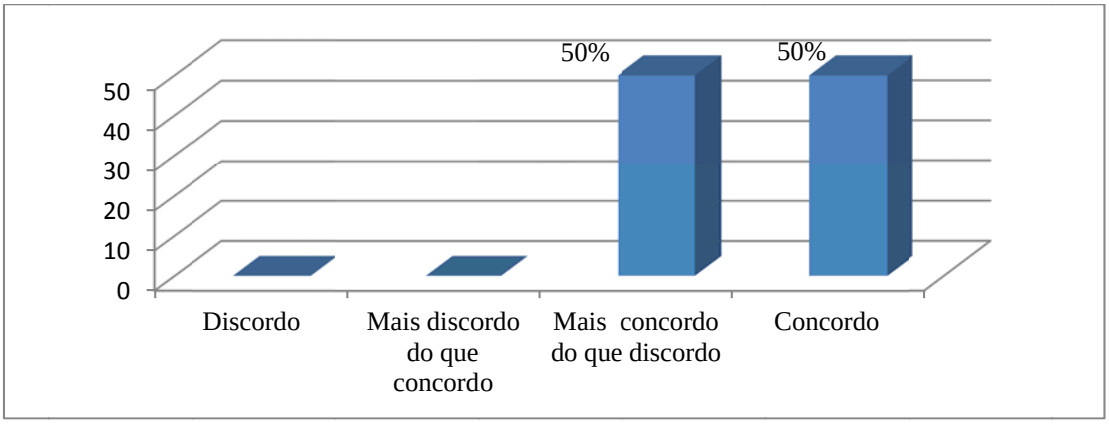
Na pesquisa realizada por Moura (2008), 66,7% dos estaleiros de construção naval afirmaram receber os produtos dentro dos prazos acordados quando se trata de empresas nacionais, já quando a compra é feita a empresas internacionais a porcentagem cai para 50%.

Tabela 2 - Adesão aos FCSs

	Fatores Críticos de Sucesso	**Concordo**	**Concordo parcialmente**	**Total estaleiros SC**	**Estaleiros nacionais Moura (2008)**
F4	Relação forte e de confiança com fornecedores	50%	50%	100%	66,7% - 50%
F14	Flexibilização do tamanho de embarcações produzidas	50%	50%	100%	Possível
F9	Mão de obra de alta qualidade, com capacidade técnica e gerencial	25%	75%	100%	14,30%
F2	Dotado de equipamentos e máquinas tecnologicamente atualizados	75%	0%	75%	50%
F11	Existência de subsídios/incentivos governamentais	50%	25%	75%	86,70%
F7	Utilizar recursos do Fundo da Marinha Mercante	50%	25%	75%	83,3
F1	Existência de uma área de pesquisa e desenvolvimento de produtos	50%	25%	75%	45,16%
F13	Tributação que não torne o segmento menos competitivo	25%	50%	75%	50%
F12	Flexibilização do volume de produção	25%	50%	75%	33,3
F5	Programa de produção enviado com antecedência aos fornecedores	25%	50%	75%	50%
F6	Parcerias entre o estaleiro e as universidades nacionais	0%	75%	75%	66,70%
F8	Posse de certificados internacionais	25%	25%	50%	66,70%
F10	Terceirização de parte da produção	25%	25%	50%	45,60%
F3	Serviço de assistência técnica pós-venda bem desenvolvido	0%	50%	50%	60%

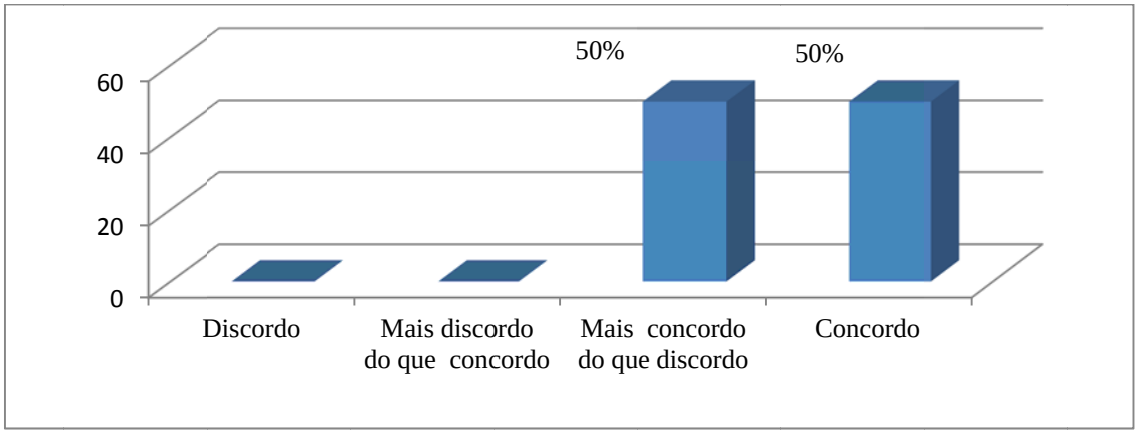
A mesma questão não foi feita diretamente aos estaleiros de construção naval pesquisados no Vale do Itajaí, no entanto, perguntou-se se eles possuem uma relação forte e de confiança com seus fornecedores, sendo que a metade deles mais concordar do que discordar e a outra metade afirma concordar com essa boa relação. Os valores são apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Relação forte e de confiança com fornecedores (F4)



Um dos FCSs ds estaleiros de construção naval do Vale do Itajaí é a flexibilização da dimensão das embarcações por eles produzidas. Como mostrado de forma porcentual no Gráfico 2, dois dos estaleiros afirmam mais concordar do que discordar com a possibilidade de alterarem a dimensão das embarcações produzidas e dois estaleiros concordaram. Na pesquisa realizada por Moura (2008), os estaleiros do segmento de construção naval demonstraram que há a possibilidade de produção de navios de tamanho superior aos habitualmente produzidos. No entanto, é necessário que investimentos sejam feitos para que a demanda seja suprida, entre esses investimentos salienta-se a ampliação ou construção de novos diques.

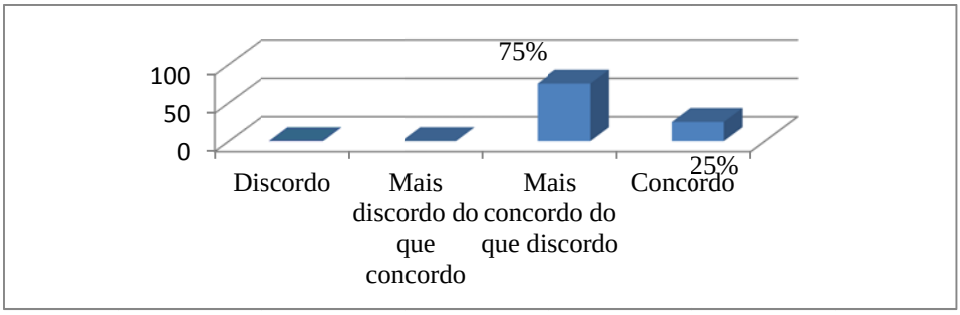
Gráfico 2 - Flexibilização do tamanho de embarcações produzidas (F14)



Os estaleiros entrevistados por Moura (2008) foram unânimes em dizer que a mão-de-obra especializada atual não supre a necessidade das empresas e que são necessárias ações por parte do Governo a fim de qualificar profissionais para atuarem nos diversos segmentos da

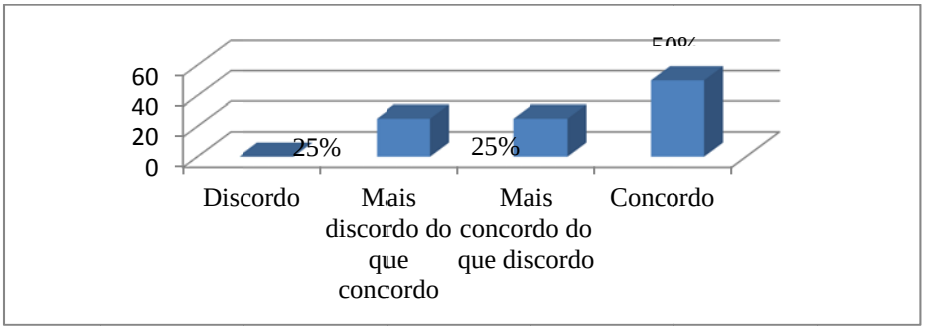
indústria marítima nacional. De acordo com o autor, atualmente há falta de recursos humanos nas diversas áreas dos estaleiros, independente do segmento o qual ele pertença, sendo que no setor de Produção e de Engenharia Naval há uma necessidade ainda maior. Mesmo com esta falta de recursos humanos apontada por Moura (2008), no levantamento realizado no presente trabalho, três estaleiros do Vale do Itajaí afirmam mais concordar do que discordar e um diz concordar, quando questionado se o estaleiro possui mão de obra de alta qualidade, com capacidade tanto técnica quanto gerencial. As porcentagens são mostradas no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Mão de obra de alta qualidade, com capacidade técnica e gerencial (F9)



Moura (20008) conclui no seu estudo que um o FCS "existência de uma área de pesquisa e desenvolvimento de produtos" está ordenado na posição 21, de 38 FCSs, mais importantes para a indústria marítima brasileira. Este fato contrasta com os dados colhidos através da pesquisa realizada com os estaleiros de construção naval do Vale do Itajaí, já que dois deles concordam que possuem uma área de pesquisa e desenvolvimento de produtos em sua empresa, um mais concorda que discorda e um mais discorda que concorda, como se pode visualizar no Gráfico 4.

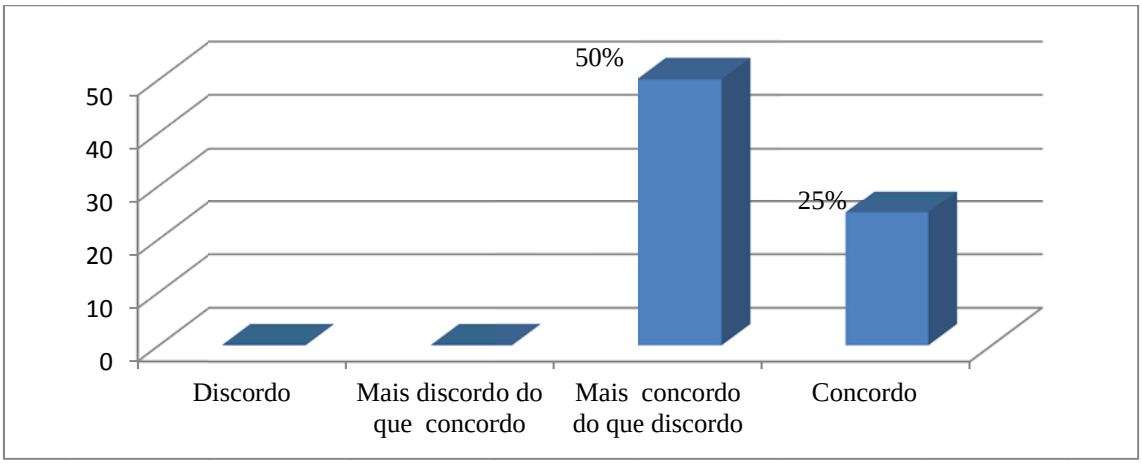
Gráfico 4 - Existência de uma área de pesquisa e desenvolvimento de produtos (F1)



Em relação aos impostos cobrados, um estaleiro acredita que tributação inserida no segmento torna a indústria de construção naval menos competitiva, dois estaleiros mais concordam do que discordam com essa afirmação e um dos entrevistados não soube responder. No Gráfico 5

é possível ver estes dados representados. No levantamento feito por Moura (2008), também houve bastante reclamação em relação a taxa de impostos cobrada pelo Governo, no entanto, as maiores queixas foram oriundas do segmento de construção náutica. De acordo com a pesquisa realizada pelo autor, os estaleiros acreditam que há espaço para a redução dos impostos em toda a cadeia de suprimentos, como maneira de incentivar o crescimento industrial no Brasil e, consequentemente, aumentar a competitividade das empresas nacionais.

Gráfico 5 - Tributação inserida no segmento torna o estaleiro menos competitivo (F13)



5. CONCLUSÕES.

A partir das entrevistas realizadas com os estaleiros de construção naval do Vale do Itajaí é possível avaliar a recorrência de alguns FCSs desta indústria. Dentre deles, vale destacar a relação forte e de confiança com fornecedores, a mão de obra de alta qualidade e a flexibilização do tamanho de embarcações produzidas que 100% dos entrevistados afirmaram possuir. É importante salientar que em relação a mão de obra de alta qualidade, os estaleiros entrevistados por Moura (2008) foram unânimes ao dizer que este é o FCS mais importante para a produtividade e competitividade de um estaleiro.

A prática de encaminhar o programa de produção com antecedência aos fornecedores é outro FCS que contribui para a produtividade e competitividade dos estaleiros da Vale do Itajaí, mas, tendo em vista os dados coletados através dos questionários aplicados, pode-se dizer que há espaço para que esse FCS seja mais desenvolvido. No entanto, se comparado com os dados obtidos por Moura (2008), os estaleiros do Vale do Itajaí apresentam maior recorrência deste FCS, 75%, pois, segundo o autor, 50% dos estaleiros nacionais enviam com antecedência seu programa de produção aos fornecedores. Este é um FCS de grande relevância, pois a

integração entre os estaleiros e suas respectivas cadeias de suprimentos, de acordo com Moura (2008), contribui para maior cooperação entre as partes, de modo que os próprios fornecedores possam planejar sua produção a médio e longo prazo. Assim todas as partes envolvidas no processo da construção naval se beneficiam deste tipo de informação, acabando por permear toda a cadeia de valor da indústria marítima.

Ainda de acordo com Moura (2008), as parcerias entre os estaleiros e as universidades nacionais são FCS de grande peso e se forem mais desenvolvidas provavelmente colaborariam para a melhoria da produtividade e competitividade destes estaleiros, além deste aspecto mencionado pelo autor, vale destacar que tais acordos colaborariam para o próprio tecido acadêmico. Estas parcerias fomentariam o desenvolvimento de pesquisas nas várias áreas da cadeia de valor que contribuiriam para o desenvolvimento de produtos e serviços, promovendo o crescimento do setor.

Ao se observar que 75% dos estaleiros que responderam ao questionário afirmaram que mais concordam do que discordam com a existência de parcerias entre seu estaleiro e universidades, mas nenhum optou pela alternativa concordo, pode-se afirmar que já aconteceram grandes avanços no intercambio entre o setor de construção naval e as universidades, mas há espaço para que eles cresçam. Comparando os números obtidos por Moura (2008) para o cenário nacional com os dados dos estaleiros do Vale do Itajaí, percebe-se que os números regionais são ligeiramente superiores, pois os dados apresentados na pesquisa de Moura (2008) revelam que somente 66,7% dos estaleiros de construção naval possuem parcerias com universidades.

Vale a pena salientar que Moura (2008) considerou um FCS o fato de um estaleiro exportar parte de sua produção um ser FCS, e nenhum dos estaleiros de construção naval do Vale do Itajaí se coloca como uma empresa exportadora. Esta característica certamente é estimulada pela grande carteira de encomendas para a Petrobrás, pelos incentivos governamentais e também pelo reaparelhamento da Vale do Rio Doce que demanda muitas embarcações na região dos estudos.

6. RECOMENDAÇÕES.

Para um próximo trabalho seria interessante identificar outros FCSs da indústria de construção naval do Vale do Itajaí e desenvolver estratégias para o melhoramento desses, além de se realizar um levantamento dos FCSs dos estaleiros dessa região que atuam no setor de construção náutica e de reparo naval.

7. REFERÊNCIAS.

ALEXANDRE, João Welliandre **Carneiro et al. Análise do número de categorias da escala de Likert aplicada à gestão pela qualidade total através da teoria da resposta ao item**. In: ENCONTRO NAC. DE ENG. DE PRODUÇÃO, 23. 2003, Ouro Preto. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0201_0741.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2014.

COUTINHO, L. G., SABBATINI, R., RUAS, J. A. G.. **Documento:** forças atuantes na indústria. NEIT-IE-Unicamp. PR-011 PROTRAN – Programa Tecnológico da Transpetro. Centro de Estudos em Gestão Naval. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo. 2006.

GRUNERT, K. G.; ELLERGARD, C. **The concepet of success factors:** theory and method. MAPP Working Paper, N. 4, Oct. 1992.

HAUGUENAUER, L. **Competitividade:** conceitos e medidas – uma resenha da bibliografia recente com ênfase no caso brasileiro. Texto de discussão n. 211, IEI/UFRJ, Rio de Janeiro. 1989.

LEIDECKER, J. K..; BRUNO, A. V. **Identifying and using critical success factors**. Long Range Planning, Londres, v. 17. 1984.

MAGNANI, Marcio. **Identificação de fatores críticos de sucesso para a formulação de estratégias que minimizem a perda de competência organizacional de um centro de P&D agropecuário.** Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.

MOURA, Delmo Alves de. **Análise dos principais segmentos da indústria marítima brasileira**: estudo das dimensões e dos fatores críticos de sucesso inerentes à sua

competitividade. Tese (doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo. 2008.

PORTER, Michael E. **Vantagem competitiva das nações**. Campus, Rio de Janeiro, Campus. 1999.

REUTERS BRASIL. Vale encomenda 49 navios a estaleiros no Brasil. 2009. Disponível em: http://br.reuters.com/article/topNews/idBRSPE50L06I20090122 . Acessado em 18/07/2015.

SCANDELARI, Vanessa do Rocio Nahhas Scandelari; CUNHA, João Carlos da. **Fontes de vantagem competitiva sustentável para empresas da construção civil:** Uma análise segundo a perspectiva da visão Baseada em recursos. IV Encontro de Estudos em Estratégia, Recife. 2009.

SINAVAL. Bram Offshore encomenda MPSVs ao estaleiro Navship. 2015. Disponível em: http://sinaval.org.br/2015/01/bram-offshore-encomenda-mpsvs-ao-estaleiro-navship/. Acessado em 18/07/2015.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso:** Planejamento e Métodos. Porto Alegre: Bookman. 2010.

ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SHIPBREAKER SUSTENTÁVEL NA AMÉRICA DO SUL

Kramel, D.[1]; Garcia, J.R.[2]

[1]Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, Santa Catarina, Brasil.

diogo.kramel@grad.ufsc.br

[2]Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, Santa Catarina, Brasil.

janaina.garcia@ufsc.br

RESUMO.

No decorrer dos últimos anos, grande parte dos setores da economia tem tomado atitudes mais sustentáveis e ecologicamente corretas. Esse movimento é resultado de esforços governamentais e de conscientização da população que tem procurado produtos com certificações de conformidade ambiental. Na indústria naval, a situação não é diferente. Segmentos industriais no setor náutico têm buscado tornar toda sua cadeia produtiva mais sustentável, incluindo a fase final do uso de embarcações: o descarte. Atualmente, grande parte das embarcações em estágio final é enviada a países subdesenvolvidos no sudeste asiático, onde são encalhadas na costa, para o desmanche de forma primitiva por trabalhadores sem preparo técnico ou preocupação com segurança. Projetos que fomentem a melhoria destas condições são, portanto, uma oportunidade de impactar positivamente o mercado global, os atuais trabalhadores deste ramo e o meio ambiente. Em vista da falta de estudos focados no descarte de embarcações no Brasil, este artigo realiza uma análise da implementação de uma instalação para o desmanche e reaproveitamento de embarcações de forma sustentável.

Palavras chaves: Shipbreaking, Reverse Logistic, Sustentabilidade

1. INTRODUÇÃO.

O processo de reaproveitamento de embarcações é conhecido por *shipbreaking*. Realizado em uma doca ou em praias, embarcações obsoletas são desconstruídas, passando por processos de retirada do sistema de máquinas, equipamentos, estruturas elétricas, para então desconstruirse

a infraestrutura metálica. Tal processo pode ser muito dificultoso devido a complexidade da estrutura e dos riscos ambientais, de saúde e segurança envolvidos [1]. Cerca de 700 navios, entre os 45000 ativos, são enviados para descarte anualmente, correspondendo a 1,55% da frota atual. Dependendo do seu tamanho e função, navios sucateados têm um peso entre 5.000 e 40.000 toneladas (em média 13.000 toneladas), das quais 95% é de aço, revestido com uma quantia entre 10 e 100 toneladas de tinta contendo chumbo, cádmio, organoestanhos, arsênio, zinco e crômio. As embarcações ainda contêm outros materiais tóxicos como selantes contendo PBC (Bifenilos Policlorados), amianto e óleo restante de sua operação [2].

A desmontagem de embarcações tornou-se muito importante ao final da Segunda Guerra Mundial quando matéria-prima para a indústria era escassa. No mesmo período, o crescimento do mercado de gás e petróleo no oriente médio fez crescer o número de embarcações de grande porte. Porém, o processo de desmanche era realizado exclusivamente em instalações europeias. Na década de 70, estas embarcações alcançaram seu ponto de descarte e a atividade de *shipbreaking* atingiu grande demanda nos países ocidentais. Porém, quando a primeira recessão da indústria naval despontou em 1984 e os proprietários das frotas decidiram descartar navios em grande escala, houve uma grande solicitação deste serviço. Por conseguinte, a mão de obra tornou-se mais cara conforme a crescente especialização dos trabalhadores, a sucata de aço diminui de valor, e destinos mais baratos foram procurados. Países como Taiwan e Coréia foram o destino deste mercado, países que estavam em grande crescimento industrial e precisavam da sucata de aço. Mas novamente a mão de obra tornou-se cara e países mais pobres do continente asiático foram destino deste mercado. Associando a falta de minas de ferro e a possibilidade de crescimento econômico, países com Bangladesh, Paquistão e Índia abriram suas portas para esse empreendimento [3]. Hoje, a maior parte das embarcações é descartada de forma manual e intensa em praias com uma enorme falta de instalações para auxiliar o processo, onde a preocupação com o meio-ambiente é geralmente uma prioridade secundária [4].

Nos últimos anos, a regulamentação da demolição de embarcações tornou-se um tópico de grande interesse na *International Maritime Organization (IMO*) devido ao crescente foco na preservação ambiental e direitos humanos liderados por ativistas, além de importantes interesses econômicos de estados membros da IMO, a favor de operações mais verdes e o fim das condições inseguras de trabalho [5].

Entre as companhias que mais enviaram embarcações no ano de 2014 à Ásia Meridional está a Petrobras Transporte S.A., ocupando o quarto lugar internacional com um número de 6 embarcações. Além disso, a empresa já enviou 18 embarcações para o sul asiático desde 2011, indo na contramão de grandes petrolíferas (e.g. Shell, Total, BP) que enviam suas embarcações para destinos ecologicamente corretos. Apesar de um compromisso interno claro em relação à proteção ambiental, a companhia age de forma incoerente e irresponsável enviando suas embarcações para Alang, na Índia [6].

A fim de assegurar que as embarcações, quando recicladas depois de atingir o final de suas vidas operacionais, não criem nenhum risco desnecessário para a saúde humana, segurança e meio ambiente, foi realizada a *Hong Kong International Convention for the Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships*, conhecida também como *Hong Kong Convention*. Esta convenção ocorreu em Hong Kong durante 11 e 15 de maio de 2009, com a presença de delegados de 63 países. O texto produzido e publicado nesta convenção define regulamentos nas seguintes áreas: descarte de materiais perigosos (como amianto, hidrocarbonetos e metais pesados), construção e operação de *Shipbreakers*, preparação das embarcações, normas de segurança, requisições de relatórios e emissão de certificados. Ao todo, 15 nações assinaram o tratado que entrou em vigor em maio de 2011, sem a participação do Brasil, correspondendo a 40% em peso da frota internacional, comprometendo-se até 2021 a possuir mais de 3% da tonelagem da sua frota em reciclagem de acordo com o tratado [7].

Na indústria naval, o ferro reciclado de embarcações pode reduzir também a degradação do meio ambiente reduzindo a exploração de minas de ferro. Recentes estudos mostram que a produção de aço provinda do minério de hematita necessita de 7400MJ de energia para ser processado, enquanto sucata de ferro precisa de somente 1350MJ. Além disso, o mesmo estudo mostra que o CO_2 lançado na transformação de minério de hematita em ferro é de 2200kg por tonelada de aço, enquanto a transformação de sucata de ferro lança apenas 280kg por tonelada de aço [8].

A relação com o meio ambiente, especialmente no que diz respeito ao descarte de material, provocou mudanças em várias esferas de negócios à nível internacional. Entre elas, regulamentações mais severas e mudanças na filosofia de gestão ambiental, gerando uma necessidade de desenvolvimento de novas medidas operacionais e padrões para auxiliar as organizações a adotar novas práticas ecologicamente sustentáveis. Uma dessas ferramentas, a

série ISO 14000, é designada justamente para essas necessidades [9]. Há pouco tempo, o Organização Internacional de Padronização (ISO) adotou a série ISO 14000 como uma especificação internacional para sistemas que envolvem o meio-ambiente, com os seguintes objetivos: (1) Encorajar uma abordagem internacional em comum para a gerência sob aspectos ambiental. (2) Aumentar a capacidade das empresas de medir a qualidade destas medidas tomadas, através de sistemas de auditoria contínua. (3) Melhorar os negócios a nível internacional removendo barreiras. Aquelas empresas no ramo naval que decidirem seguir um padrão internacional de gestão, aumentando a possiblidade de negócios ao redor do globo, deve estar atenta ao destino dado para suas embarcações, evitando assim os típicos *Shipbreakers* asiáticos.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a nova versão da sua norma NBR 10.004 - Resíduos Sólidos. Esta Norma classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Nas atividades de gerenciamento de resíduos, a NBR 10.004 é uma ferramenta imprescindível, sendo aplicada por instituições e órgãos fiscalizadores. A partir da classificação estipulada pela Norma, o gerador de um resíduo pode facilmente identificar o potencial de risco do mesmo, bem como identificar as melhores alternativas para destinação final e reciclagem. Esta nova versão classifica os resíduos em três classes distintas: classe I (perigosos), classe II (não-inertes) e classe III (inertes) [10].

2. OBJETIVOS.

Este trabalho visa propor a criação de um negócio sustentável para um processo que atualmente ocorre de forma não sustentável. Questões ambientais se tornam a cada dia mais relevantes, fazendo surgir nas grandes companhias a necessidade de certificados internacionais de qualidade para manter a competitividade. Na indústria naval, quando um navio deve ser descartado, essa dinâmica econômica atinge não apenas os *Shipbreakers* atuais como também a companhia à qual pertence a embarcação. Mais do que uma questão ambiental, este ramo de negócio tende a se tornar uma necessidade global. O mercado sul-americano, graças a sua posição geográfica distante dos demais continentes, possui uma demanda de mercado por um empreendimento de descarte de embarcações, visto que até então não há nenhuma instalação relevante nesta área.

3. MATERIAIS E MÉTODOS.

3.1. O mercado internacional.

Apesar das embarcações estarem espalhadas por todo o globo, a grande maioria (cerca de 89%) ainda é levada à Ásia para desmanche. Há ainda algumas que são levadas a países europeus, como Holanda e Noruega, para um processo sustentável que não agrida o meio ambiente, entretanto, devido ao maior custo, não ocupam mais do que 4% da frota internacional. Pode-se verificar a divisão por país de destino das embarcações na tabela 1.

A indústria naval possui nos últimos anos um considerável número de embarcações perto da idade de descarte devido ao grande crescimento de produção da década de 70. Em contra mão, as regulamentações têm se tornado mais rígidas devido a introdução do *International Safety Management (ISM) Code*, além da implementação de novas regras para embarcações antigas, fazendo com que a demanda pelos *Shipbreakers* irregulares asiáticos, caia ao longo dos próximos anos [4].

A demanda mundial por serviços é estimada por relatórios emitidos pela BIMCO [11]. A previsão é que em 2016, a quantidade de embarcações desmanchadas (que possuem mais de 2 mil toneladas) será entre 6 e 8 milhões de toneladas de deslocamento leve.

País	**Número de embarcações**	**Toneladas**	**Porcentagem de embarcações**	**Porcentagem de toneladas**
Índia	2.245	16.135.949	57,91	45,22
Bangladesh	529	7.737.562	13,64	21,68
China	379	4.749.533	9,78	13,31
Paquistão	192	3.521.888	4,95	9,87
Vietnã	29	372.882	0,75	1,04
Méxic	18	75.746	0,46	0,21
Turquia	109	379.641	2,81	1,06
Espanha	18	59.439	0,46	0,17
Desconhecido	241	1.255.762	6,22	3,52
Outros	117	1.348.003	3,02	3,78
Total	3.877	35.681.405	100,00	100,00

Tabela 1. País de destino das embarcações recicladas.

3.2. O mercado da sucata.

No Brasil, a sucata tem cerca de 30% de participação na produção de aço. A média internacional, entretanto, é de cerca de 45%. Além de mais sustentável, essa prática é altamente rentável economicamente [12]. O mercado brasileiro acompanha esta tendência, o que pode ser visto pelo Gráfico 1.

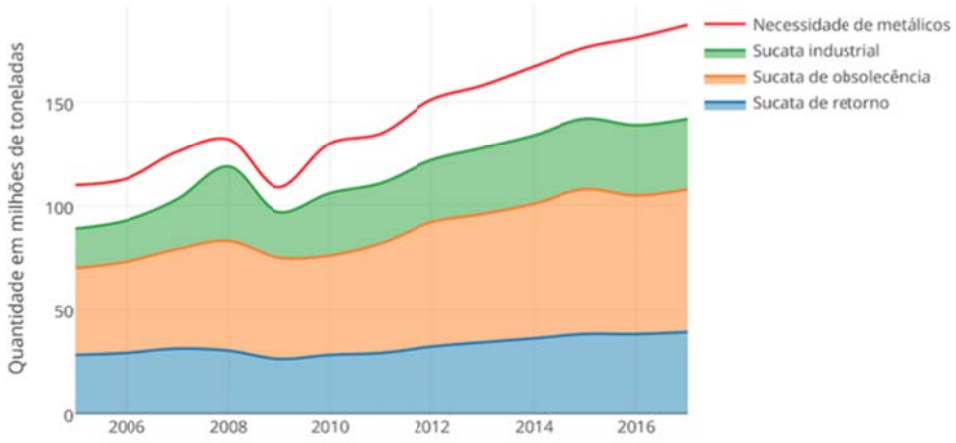


Gráfico 1: Consumo e geração de sucata no Brasil.

Há uma insuficiência de sucata provida no Brasil, que tende a aumentar nos próximos anos. Segundo o relatório técnico sobre reciclagem de metais no país desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia (MME) no ano de 2009, tanta a demanda nacional como as exportações obtiveram aumento nos últimos anos.

Além da sucata de aço, a sucata de alumínio também pode ser extraída de algumas embarcações. Atualmente, 35,2% do alumínio brasileiro provém da sucata, tendência que deve aumentar nos próximos anos devido ao alto preço do alumínio se comparado ao aço.

Segundo o estudo econométrico realizado por Knapp et al. [5], existem dois fatores principais que influenciam o mercado de demolição de embarcações. O primeiro deles é o valor dos salários que tem uma relação negativa, ou seja, quando maior os rendimentos, menor a probabilidade da embarcação ser reciclada. Já o preço da sucata tem uma relação positiva, quanto maior o valor da tonelada de sucata, mais embarcações tendem a ser recicladas. Estas conclusões validam corroboram a abertura de uma instalação deste tipo na América do Sul, já

que o consumo da sucata vem aumentando e os salários são inferiores as nações desenvolvidas.

3.3. O mercado brasileiro e sul-americano.

Segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), o Brasil possuía uma frota de 1944 embarcações no ano de 2013 em navegação interior. Já as embarcações de cabotagem e longo curso correspondem a 176, e embarcações de apoio marítimo e portuário são ao todo 1903. Tem-se portanto um montante de 4023 embarcações em todo o território brasileiro. A idade média para a frota brasileira, ainda segundo a ANTAQ, é de 17 anos [13]. Como a idade média de uma embarcação é entre 25 e 30 anos, uma grande quantidade de embarcações deverão ser descartas nas próximas duas décadas. A tabela 2 relaciona a quantidade e idade média em anos de cada tipo de embarcação passível de recuperação via *Shipbreaker*.

Tipo de embarcação	**Quantidade**	**Idade média**
Balsa	124	10,9
Barcaça	72	8,6
Cargueiro	30	23,0
Chata	54	35,5
Draga	17	29,1
Ferry Boat	8	12,8
Gases Liquefeitos	9	22,8
Graneleiros	19	16,9
Multi-propósito	1	13,0
Navio cisterna	1	37,0
Pesquisa	2	15,5
Petroleiro	43	22,4
Porta-contêiner	15	12,8
Rebocador	431	10,9
Roll-on/Roll-of	2	31,5
Supridores de plataformas marítimas	162	7,4
Tanque GNL	1	1,0
Tanque químico	1	2,0

Tabela 2. Características das embarcações brasileiras.

A maior parte das embarcações, devido ao seu porte, não são levadas a *Shipbreakers*, mas sim muitas vezes atracadas enquanto deterioram-se até alcançar estados irreversíveis.

Além do mercado a ser explorado no Brasil, pode-se analisar conjuntamente o mercado sul-americano. Existem ao todo 386 embarcações de cabotagem ou longo curso espalhadas pelo 15 países que compõe a América do Sul. Os principais são Argentina, Chile, Colômbia e Peru com respectivamente 66, 77, 31, 30 embarcações. Devido a proximidade destas nações e da falta de empreendimentos do tipo *Shipbreakers*, o mercado sul-americano torna-se muito promissor [14].

3.4. Análise *SWOT.*

Um melhor entendimento do cenário encontrado para implementação de um *Shipbreaker* é sintetizado na análise *SWOT* representada pela tabela no quadro 1.

Forças	**Fraquezas**
Importância de questões ambientais crescente	Subordinação ao preço da sucata
Brasil possui uma economia forte e sólida	Pouco valor tecnológico no processo
Desenvolvimento constante da indústria naval	
Baixa quantidade de *Shipbreakers* sustentáveis	
Oportunidades	**Ameaças**
Tendência de investimento global em setores verdes	Alto investimento inicial
Grande número de embarcações em idade de descarte	Falta de *know-how* brasileiro na área
Demanda crescente por sucata	Exigências de órgãos regulamentadores

Quadro 1. Características das embarcações brasileiras.

4. RESULTADOS.

4.1 Estrutura de um modelo para implementação de um *Shipbreaker.*

A estrutura de um Shipbreaker assemelha-se muito a de um típico estaleiro, já que processos semelhantes são desempenhados. Baseado nisto, o modelo a seguir foi elaborado a partir das futuras instalações do estaleiro CMO em São Francisco do Sul, Santa Catarina. A estrutura foi modificada para representar um empreendimento de médio porte com toda infraestrutura necessária para que o empreendimento seja um modelo de sustentabilidade, eficiência e conformidade com normas e instituições reguladoras. Os círculos representam os principais componentes da estrutura associados com números descritos a seguir.

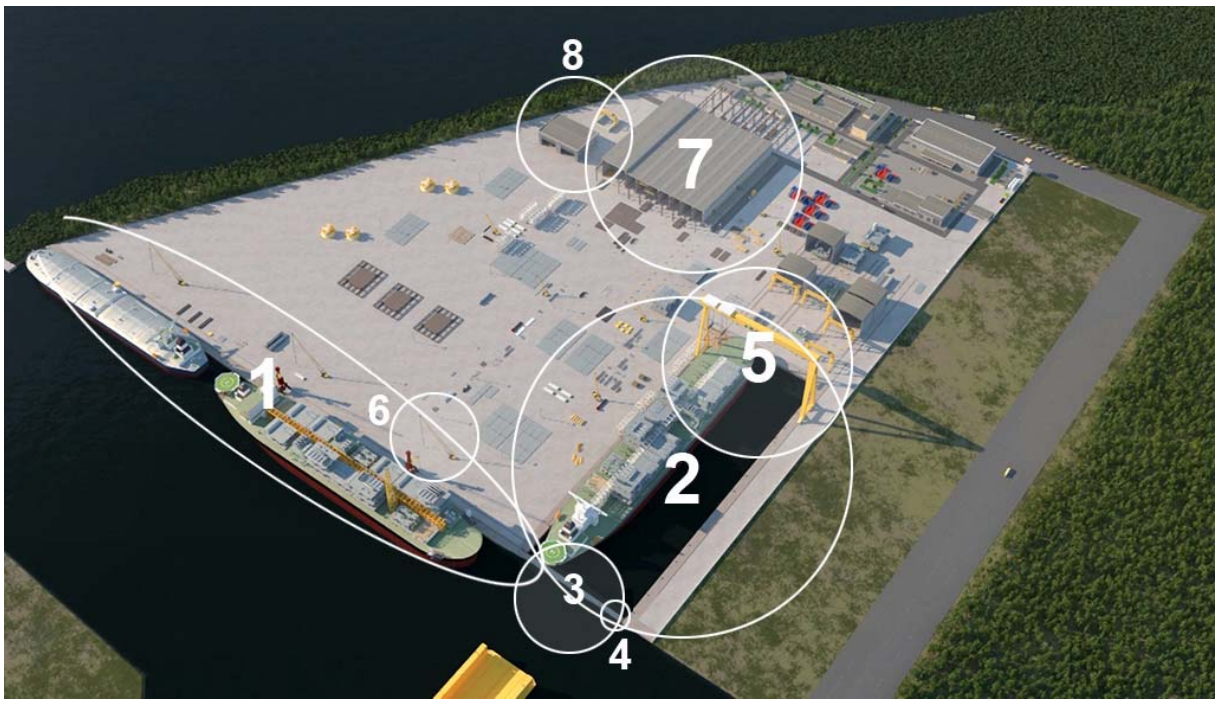


Imagem 1. Estrutura de um Shipbreaker modelo

Existem três formas de reciclar uma embarcação: encalhando na costa, dentro de docas ou em rampas [15]. Encalhar a embarcação é o método mais usado em países em desenvolvimento, já que não exige nenhuma estrutura tecnológica. Logo, o processo se dá de forma mecânica, realizada por uma grande mão de obra com baixo conhecimento técnico. O uso de docas é o mais recomendado quando se deseja atender as normas de segurança e meio ambiente. Este formato exige maiores investimentos financeiros e é adotado em países desenvolvidos. Por último, o método de rampas é mais dificultoso de ser realizado do que em docas, mas em compensação exige investimentos bem menores. Este método é adotado em alguns empreendimentos turcos.

A estrutura desenvolvida é baseada em uma instalação que usa docas para a demolição. Sua escolha no presente estudo se justifica pela intenção deste trabalho priorizar uma solução sustentável em detrimento de uma economicamente mais viável.

0. Rebocador: um rebocador é necessário para que as embarcações que não podem mais se deslocar por conta própria possam ser trazidas até o terminal. Além desta função, ele auxilia a manobra das embarcações no local levando-as até a doca.

1. Atracador: antes que as embarcações entrem na doca, elas são atracadas para que se dê início nas inspeções necessárias. Logo em seguida, todo o material perigoso e tóxico é removido. O desmanche tem início quando a parte acima do convés e o interior da embarcação começam a ser removidos, separando os materiais reaproveitáveis: motores, parte elétrica e cabos. Quando terminada, a embarcação é rebocada até a doca.

2. Doca: a doca deve ter dimensões suficientes para comportar as embarcações que serão desmanteladas. As medidas dependem do mercado a ser atingido. Se as embarcações alvo forem de grande porte, como graneleiros, petroleiros e cargueiros, as dimensões poderão alcançar 500 metros de comprimento e 100 metros de largura, com áreas laterais inclusas, e uma profundidade de 20 metros a fim de suportar o calado que pode chegar a 15 metros. As dimensões podem ser menores se apenas embarcações de médio e pequeno porte forem atendidas, como rebocadores e embarcações de apoio, necessitando de uma doca de 70 metros de comprimento e 15 metros de largura. Um tamanho grande de doca pode servir para suportar múltiplas embarcações de médio porte simultaneamente.

3. Entrada da doca: após a entrada da embarcação, a passagem se fecha para que seja interrompida a troca de fluídos entra a doca e seu exterior. É importante que ele seja totalmente impermeável e evite qualquer contaminação gerada pelos resíduos contidos na embarcação. Além disso, é essencial que sua estrutura resista a pressão da coluna de água externa.

4. Bomba: bombas instaladas ao lado da entrada da doca realizam a retirada da água antes da operação de desmanche. Dependendo das dimensões da doca a ser instalada, do tamanho da embarcação e da altura da maré, a quantidade de água a ser bombeada pode alcançar valores altos e exigir uma grande quantidade ou maior potência de bombas hidráulicas.

5. Pórtico-guindaste: instalado ao longo da doca, é responsável por içar os fragmentos da embarcação e posicioná-los para transporte até o hangar. O interior da doca contém instalações de corte que dividem a embarcação em partes menores, seguindo a modularização da estrutura.

6. Guindaste e gruas: as partes extraídas da embarcação enquanto atracadas são movidas por estruturas do tipo magnético. Cada parte é então levada ao hangar para o início da sua subdivisão.

   Para que o material retirado das embarcações possa deslocar-se até o hangar com facilidade, uma estrutura sobre trilhos é montada em paralelo ao atracador e a doca.

7. Hangar: o processo de desconstrução acontece manualmente nesta etapa. A primeira etapa é a limpeza final da estrutura para a retirada de qualquer material tóxico remanescente. Após a divisão das partes maiores em partes menores, elas são levadas a um depósito em anexo para que sejam carregas por guindastes em caminhões para as siderúrgicas que adquiriram a sucata. O objetivo dessa estrutura é diminuir a quantidade de docas necessárias para a desconstrução das embarcações, aumentando a produtividade e qualidade das operações.

8. Estação de tratamento: os resíduos líquidos são tratados nessa etapa e devolvidos ao mar (quando possível), caso contrário, são armazenados em local seguro e devidamente descartados.

4.4. Processo de desmanche.

A Convenção de Hong Kong estabeleceu diretrizes de desmanche através da Resolução MEPC.196(62), os principais processos são [16]:

Antes da chegada da embarcação: o planejamento deve incluir uma descrição de qualquer trabalho prepara- tório necessário. Cada um destes trabalhos deve ser detalhado e devem incluir informações sobre identificação da embarcação, estrutura e potenciais materiais perigoso. Estas informações são fornecidas pelo dono da embarcação e verificadas por uma equipe durante a chegada. Além disso, deve-se incluir os planos de onde a embarcação ficará após a chegada e datas para início e término da operação de desmanche.

Chegada da embarcação: uma checagem a bordo deve ser conduzida com o intuito de identificar qualquer perigo a segurança ao meio ambiente ainda não percebidos. Todos os riscos identificados devem ser marcados dentro da embarcação para que não haja problemas devido a falta de comunicação. As áreas onde os riscos são duvidosos, devem ter análises feitas para aferir certeza.

Gerenciamento dos materiais perigosos: o relatório da embarcação deve conter informações como tipo e quantidade de materiais perigosos na embarcação, além de como cada um deles será administrado pelo *Shipbreaker*. Se o material não for processado pelas instalações locais, o local para onde eles serão levados deve ser informado. Também é responsabilidade que o manuseio deste material seja conduzido estritamente por pessoas autorizadas e treinadas para tal.

Segurança: informações sobre definição, manutenção e monitoramento de lugares que os operários não devem acessar dentro da embarcação e locais que não devem ter contato com calor devem ser incluídos no relatório. Estas informações são levantadas através de análises da estrutura, configuração e carga anterior.

Desmanche: deve ter início com todo material perigoso, e este deve sempre ser removido primeiro quando possível. Caso nem todos sejam removidos antes das atividades, eles devem ser levados em contas na configuração das etapas de desmanche. O processo deve sempre ser específico para cada embarcação, levando em conta todas suas peculiaridades.

4.5. Localização.

Grande parte do sucesso de um empreendimento brasileiro no setor de demolição de embarcações diz respeito à sua localização. Avaliando o setor de *Shipbreaking*, pode-se extrair 5 fatores de sucesso:

- Importância do polo naval: ao longo da costa brasileira estão distribuídos nove polos de construção naval que podem ser agrupados em cinco diferentes regiões: Santa Catarina, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Região Nordeste e Região Norte. A relevância de cada um deles envolve fatores como incentivos fiscais, proximidade à cadeia de suprimentos, consolidação de mercado, acesso tecnológico e infraestrutura de operação;

- Demanda de aço: para que a cadeia de suprimentos seja otimizada, as instalações devem estar próximas a uma região que demande o uso de sucata de aço, como siderúrgicas ou fundições;

- Conexão de modais: são as rodovias e em especial ferrovias e portos marítimos que dão acesso a região, tanto para entrada de insumos como para saída do material processado;

- Mão-de-obra especializada: devido ao caráter de serviço excepcional empregado, é necessário forte investimento em pesquisa e desenvolvimento, baseado especialmente na área metalúrgica, mecânica e naval. Logo, deve haver instituições de ensino próximas que forneçam este tipo de formação;

- Potencial do mercado: a localização do *Shipbreaker* deve estar posicionado de forma a atender dentro de seu raio embarcações tanto brasileiras quanto sul-americanas.

Neste contexto, os principais polos navais brasileiros foram avaliados através de uma pesquisa com especialistas na área naval, o resultado é apresentado na tabela 3. Foram fornecidas notas graduais de 1 a 5 que avaliam a influencia de cada um dos fatores, sendo eles: muito negativa (1), negativa (2), indiferente (3), positiva (4), muito positiva (5).

	Santa Catarina	**Rio de Janeiro**	**Rio Grande do Sul**	**Nordeste**	**Norte**
Importância do polo naval		5	3	3	2
Demanda de aço	5	5	4	3	2
Conexão de modais	4	3	3	3	2
Mão-de-obra especializadas	5	5	3	3	3
Potencial de mercado	5	4	3	2	2
Total	**23**	**22**	**16**	**14**	**11**

Tabela 3: Características dos polos navais brasileiros.

Com a maior pontuação, destaca-se a região de Santa Catarina, onde encontram-se duas regiões de grande potencial para tal instalação. A mais favorável delas localiza-se ao norte do estado. A instalação de um *Shipbreaker* nesta região o deixaria próximo dos dois maiores

polos navais brasileiros: o de Itajaí e o de Rio de Janeiro, além de facilmente conectar-se com países como Uruguai, Argentina e Chile, um grande mercado internacional a ser explorado. A região possui ainda uma malha ferroviária capaz de escoar facilmente a sucata de ferro para o polo industrial de Joinville e Jaraguá do Sul que têm alta demanda de produção de aço, além de outros mercados mais distantes através dos portos marítimos de São Francisco do Sul e Itapoá localizados em um raio de 100 km. Por último, as universidades da região tem uma constante formação de profissionais e desenvolvimento de pesquisa na área naval e metalúrgica, provendo mão-de-obra qualidade e desenvolvimento tecnológico.

5. CONCLUSÃO.

O desenvolvimento de projetos sustentáveis que não agridam o meio-ambiente exigem o cumprimento de muitas obrigações solicitadas por órgãos regulamentadores. Pelo perigo que um *Shipbreaker* oferece, localizado obrigatoriamente na costa marítima, as exigências são ainda maiores. Este pode ser um dos fatores que inibiu este tipo de empreendimento no Brasil até hoje. Entretanto, este nicho inexplorado é uma grande oportunidade de investimento para toda a América do Sul, carente de um destino ecologicamente correto para os navios da região, além de uma economia estável que demanda sucata para seu crescimento.

Este estudo aponta alguns fatores que podem determinar o sucesso de *Shipbreaker* brasileiro: (1) Uma localização adequada, onde o norte de Santa Catarina mostrou ser uma ótima oportunidade; (2) Uma estrutura de operação objetiva e eficiente que permita o maior número de operações simultâneas em uma embarcação; e (3) O cumprimento de normas nacionais e internacionais que regularizam este tipo de empreendimento e garantem selos de qualidade que atraem as empresas alvo neste negócio.

6. REFERÊNCIAS.

[1] OSHA - Occupational Safety & Health Administration, 2001, “Ship Breaking Fact Sheet”, pp.1.

[2] GREENPEACE, 2000, “Shipbreaking: A Global Environmental, Health and Labour Challenge”, Greenpeace Report for IMO MEPC, pp.2.

[3] Kumar, R., “Ship Dismantling: A status report on South Asia”.

[4] Legaspi, R. D., 2000, “Ship Recycling: analysis of the problems it represent to shipbreaking countries in asia”.

[5] Knapp, S., Kumarb, S. N., Remijnc, A. B., 2008, “Econometric analysis of the ship demolition Market”, Marine Policy, pp. 1023–1036.

[6] Shipbreaking Platform, 2014, “List of Global Dumpers”, Press Release from the NGO Shipbreaking Platform, pp. 3.

[7] IMO - International Maritime Organization, “Recycling of Ships”. Disponível em: <http://www.imo.org/OurWork/Environment>. Acesso em: 22 fev. 2015.

[8] Neser, G., Unsalan, D., Tekogul, N., Stuer-Lauridsen, F., 2006, “The Ship-breaking industry in Turkey: environmental, safety and Journal of Cleaner Production”, pp. 350-358.

[9] Beamon, B. M., 1999, “Designing the green supply chain”, Logistics Information Management, Vol. 12, pp. 332-342.

[10] Kraemer, M. P. E., 2005, “A questão ambiental e os resíduos industriais”, XXV ENEGEP Porto Alegre, pp. 3.

[11] Neser G., “Present situation of the shipbreaking industry in Turkey and some proposals for its improvement”, Proceedings of the second national conference on the coastal and marine zones of Turkey, pp. 439-446.

[12] INESFA - Instituto Nacional das Empresas de Preparação de Sucata Não Ferrosa e de Ferro e Aço, 2013, “Políticas de Estímulo ao Comércio Atacadista de Sucata Ferrosa”, pp. 8.

[13] ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2012, “Panorama de Navegação Marítima e de Apoio”, pp. 14.

[14] UNCTAD - United Nations Conference on Trade and Development, 2014, “Review of Maritime Transport”, pp. 33-37.

[15] Sarraf, M., Stuer-Lauridsen, F., Dyoulgerov, M., Bloch, R., Wingfield, S., and Watkinson, R., 2010, “The Ship Breaking Industry and Recycling Industry in Bangladesh and Pakistan”, Report No 58275-SAS, World Bank.

[16] IMO - International Maritime Organization, 2011, “Annex 2 - Resolution MEPC.196(62) - Guidelines for the Development of the Ship Recycling Plan”, pp. 1-6.

DIFICULTADES EN EL DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INGENIERÍA DE DETALLE

Saret, Fernando[1]

[1]TN (CIME). Armada Nacional. fernandosaret@hotmail.com. Teléfonos 0059899387844-0059899678460

ANTECEDENTES.

Inicialmente debemos decir que la Construcción Naval ha resurgido nuevamente entre los años 2006 y 2008 en el Uruguay con motivos de los nuevos proyectos Industriales y el desarrollo de la Infraestructura que ello implica para el país.

Como un punto de partida la Industria papelera y de celulosa ha obligado al país a generar nuevas vías de transporte y de comunicación para en éste caso transportar la mercadería hasta los puertos de mayor calado y de ésta forma permitir la exportación de esa materia prima de una forma más efectiva, rentable, sustentable, etc.

Tal es así que la Armada conjuntamente con Tsakos emprenden el desafío y llevan a cabo la construcción de cuatro Barcazas para el transporte de celulosa originada en UPM (ex BOTNIA) en el año 2006 y con ello se desarrolla la Industrial Naval nuevamente luego de un receso de unos 20 años aproximadamente.

Es de destacar que la ubicación de la planta esta comprendida al Centro Norte del País sobre la ciudad de Fray Bentos, en el litoral Oeste sobre el Río Uruguay, siendo de navegabilidad restringida y con poco calado, propiciando el desarrollo de éstas embarcaciones para la navegabilidad, así como ocurre en la totalidad de la hidrovía.

Por lo cual las embarcaciones "Barcazas" deben de satisfacer las necesidades en tal sentido y evidentemente tienen en la hidrovía, un enorme potencial de rentabilidad frente al transporte carretero; llevado adelante por camiones con un alto coste, e inclusive en comparación con el transporte ferroviario puesto que el desarrollo de las vías de ferrocarril,

es prácticamente inexistente para esa zona del país y por tanto sin competencia para el transporte fluvial.

Luego de estas circunstancias y en razón de optimizar el transporte de combustible hacia el litoral oeste del país, la Administración Nacional de Combustible, Alcohol y Portland ANCAP, toma iniciativa en el marco del transporte de Combustibles por el Río Uruguay mediante la adquisición de un Proyecto de Construcción de dos Barcazas y un Buque Empujador para tal fin.

En éste marco el Servicio de Construcciones, Reparaciones y Armamento de la Armada (SCRA) es seleccionado por la ANCAP para cumplir el rol de constructor mediante un contrato firmado entre ambos en el año 2009, involucrando a las partes para la Obra de construcción propulsada de mayor porte en el Uruguay.

Para ello se inicia la construcción de las Barcazas en Marzo de 2009 con el primer corte de chapa e inicio de la Obra, siendo la primer Barcaza llamada "Garzas Viajeras".

En Octubre de ese año se inicia la construcción de la segunda Barcaza llamada "Río de los Pájaros".

Para éste proyecto de construcción naval los servicios de Ingeniería Básica de Diseño fueron provistos por la Empresa RN Consultores, que fuera seleccionada por el Cliente o Armador ANCAP a los efectos de proveer el Proyecto de Diseño e Ingeniería Básica que requieren las embarcaciones y que deban satisfacer las necesidades del trasporte de combustible en su totalidad, según el marco normativo de OMI, Autoridad Marítima y de las propias Sociedades Clasificadoras de Buques.

Para cumplir con los procesos de certificación de los Buques a construir se utilizaron los servicios de una sociedad de clasificación de Buques RINA (Registro Italiano NAvale) seleccionada de común acuerdo entre el cliente (ANCAP) y el constructor (Armada Nacional).

1. INTRODUCCIÓN.

En el Desarrollo de la Construcción Naval, la Armada Nacional mediante el Servicio de Construcciones, Reparaciones y Armamento ha desarrollado la infraestructura necesaria para

la Obra de referencia, siendo necesarios la capacitación de los recursos humanos, contrataciones de personal idóneo, adquisición de equipos y tecnologías adecuadas para tal fin, así como servicios relacionados a la Ingeniería de la Construcción Naval.-

Como Astillero de la Armada, el Proyecto ANCAP, ha significado la máxima expresión de la construcción Naval en el Uruguay por la envergadura y la complejidad del mismo, desde la consecución de las Barcazas Petroleras hasta su Buque de Empuje.

Como ya se ha mencionado anteriormente el proyecto fue concebido y realizado por el Estudio de Ingeniería Naval RN Consultores de Bs. As. Argentina. En tal sentido la Armada mediante el Servicio de Construcciones, Reparaciones y Armamento ha desarrollado la Ingeniería de Detalle de las embarcaciones, hecho que constituye toda la concreción de la Obra más allá de lo meramente metalúrgico, constructivo, o desde el punto de vista del tratamiento de superficie, montajes de equipos, etc.

2. OBJETIVOS.

El Objetivo Principal es la exposición de las dificultades que ha implicado para la Industria Naval Estatal (Astillero de la Armada); él poder desarrollar la Ingeniería de Detalle necesaria para las concreción del Proyecto ANCAP; como la construcción de un Empujador de 2600BHP de potencia en la modalidad “llave en mano” con clasificación RINA. Se pretende exponer la obra del Buque “Ky Chororo”, siendo este el de mayor complejidad constructiva, mediante la puntualización de las siguientes áreas:

1. Personal de Ingeniería de Proyectos.
2. Planificación y Proyección de Obra.
3. Rotación del Personal Contratado y Presupuestado.-
4. Asesoramiento jurídico en los aspectos legales, comerciales y laborales por parte del Estado para operar fondos de terceros y ejecución de las operaciones logísticas.
5. Protocolo de comunicaciones del Astillero con el Cliente y el Personal propio.
6. Compromiso de la Gerencia con el SGC (Sistema de Gestión de Calidad) y la auditoría del proyecto.
7. Electricidad, cálculo, montaje y distribución.
8. Motores y sistema asociados a la propulsión.

9. Carpintería en general, mampostería, ojos de buey y uniones para armonizar.
10. Sanitaria y albañilería.
11. Sistemas de Servo, adquisición, certificación e instalación.
12. Sistemas de Navegación y Comunicaciones.
13. Sistemas Hidráulicos para Guinches, Grúa y Cabrestante.
14. Sistemas de Pruebas de Equipos y Sistemas.
15. Personal para pruebas de mar.
16. Planta de Tratamiento de Aguas Negras.
17. Electro válvulas de combustible.
18. Líneas de Combustibles “extra”, involucra el cambio de planos aprobados.
19. Ventilaciones adicionales, para diferentes locales, como lavandería, con la particularidad de no estar solicitado en la memoria descriptiva.
20. Asesoramiento legal en referencia a los detalles de la “Memoria Descriptiva”.
21. Línea de Aire Comprimido de Servicio.

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

Proyecto de Ingeniería básica del Estudio RN Consultores e información de obra del Astillero de la Armada, quién desarrollara el 100% de la Ingeniería de Detalle del Empujador “Ky Chororo” perteneciente a la Administración Nacional de Combustible, Alcohol y Portland; cliente del Proyecto de Construcción Naval más importante del País y que la Armada Nacional llevo acabo en las Instalaciones del Servicio de Construcciones y Armamento de la Armada.

El proyecto es enteramente propiedad intelectual del Estudio RN Consultores, que una vez adquirido por ANCAP ha sido designado por contrato de Arrendamiento de Obra como Director del Proyecto. Por razones logísticas y de interés principalmente del cliente fue pasando gradualmente a manos de la Armada Nacional en su totalidad, dicha la conducción del mismo fue generando contratiempos y aprendizajes graduales en las diferentes áreas técnicas y de supervisión.

Estos métodos de supervisión pasan por el área de Control de Calidad, Logística de adquisición de equipos, implantación y seguimiento del Sistema de Gestión de la Calidad, Auditoría Externa, reuniones de directorio, registro de actas y comunicaciones oficiales, así como el llenado del Libro de Obra por ejemplo han contribuido al registro de todo el Proyecto.

4. RESULTADOS.

El Proyecto "ANCAP" que consistió en la construcción de un tren de Barcazas y un Empujador para tal fin, el cual le ha permitido a la Armada concretar la construcción naval en el Uruguay de un Buque de empuje y tiro que ha significado la máxima expresión de construcción naval propulsada para el País 100% con desarrollo local en cuanto a la Obra y su Ingeniería de Detalle.

Así mismo, esto le ha permitido a la Armada Nacional desarrollar un verdadero "know how" en la construcción naval con certificación RINA.

4.1. Personal de Ingeniería de Proyectos.

En términos generales el personal integrante de Ingeniería de Proyectos ha sido insuficiente en cantidades y cualificación para cubrir las necesidades del desarrollo de la tarea de construcción naval, puesto que se contó con un estudiante de ingeniería naval, un dibujante técnico operador del pantógrafo y un oficial de la armada formado en el área de ingeniería máquinas y electricidad.

Estos han sido responsables del diseño de detalle, especificación de compras para obra, contratación de empresas específicas, realizar las solicitudes de trabajos por terceros, así como la supervisión de la soldadura, control de calidad, inspección de planos y seguimientos de obra, pruebas de equipos entre otras tareas, además de las administrativas como la documentación del avance de obra y planos finales de obra para presentar y certificar por parte de la sociedad clasificadora, etc.

4.2. Planificación y Proyección de Obra.

La planificación debe de ser la condición "sine qua non" que debe programarse para cumplirse, es decir ejecutarse para obtener el éxito de la consecución de la obra.

Evidentemente ocurren imprevistos en toda obra, los mismos involucran retrasos, moras y sobre costos al proyecto en general, pero además de la previsión que puede tomarse en una planificación de obra, para la Ingeniería del Astillero en el caso del Proyecto ANCAP, no ha sido posible contemplar el 100% de los contratiempos que han ocurrido en todo el proceso de la construcción naval.

En tal sentido, la realimentación de la obra, los apuntadores, el sistema de registro de datos, etc.; todo lo que significa la información de avance de obra genera en el Diagrama de Gant, Project, o simplemente un cronograma; modificaciones varias y éstas deben de ser meticulosamente completadas día a día para ir salvando las etapas cumplidas, las que deberán postergarse en el tiempo y las nuevas que terminan originándose en virtud de los nuevos requerimientos no planificados.

Para llegar a ésta instancia en necesario una planificación lo más amplia posible, sabemos de todas formas que nunca será 100% por que no podemos contemplar los imprevistos originados, etc.

4.3. Rotación del Personal Contratado y Presupuestado.

Nos referimos con esto al personal eventual o que se contrata por el período de arrendamiento de la obra por un lado; siendo parte de la plantilla fluctuante y del personal de obra en sí mismo que no es permanente y que estuvo antes del proyecto, durante el arranque del mismo y a posteriori para cierta parte del personal. En este sentido durante el avance en la Construcción Naval y durante el transcurso del proyecto se ha generado un “know how”, que tiene su valor agregado en el personal de obra con la adquisición de experiencia y aprendizaje. Pero con la dificultad de que migra con él mismo cuando deja el Astillero, sea por la demanda laboral externa o por motivos institucionales propios de la eventualidad y el modo de contratar por parte del Estado.

Estas situaciones han generado en el Astillero retrasos por desconocimiento de la organización de los nuevos integrantes, relevos muy rápidos de los cargos fundamentales, como la Jefatura, Ingeniería, Construcción Naval, Financiero, Control de Calidad, etc., todo producto del alto nivel de rotación, hecho que generan vicios en el personal de la plantilla permanente y nuevos procesos de adaptación a nuevos mandos que en las primeras etapas, requieren tiempo para la reorganización y conocimiento de los procedimientos en general.

4.4. Asesoramiento jurídico en los aspectos legales, comerciales y laborales por parte del Estado para operar fondos de terceros y ejecución de las operaciones logísticas.

La falta de un marco legal adecuado repercutió negativamente en la gestión del SCRA para la concreción del proyecto. Siendo los aspectos más comprometidos la administración de recursos financieros y las adquisiciones desde el exterior.

Las compras estatales, deben manejarse de acuerdo al TOCAF (Tratado Ordenado de Contabilidad y Administración Financiera) esto se tradujo en dificultades de ejecución, trabajo bajo norma exclusiva para SCRA, lo que provocó un permanente trabajo de la Auditoría Interna de la Nación (AIN).

También es claro que la forma de manejarse una dependencia del estado en un sentido-marco "privado" no está previsto, y por razones de tiempos y agilidad en los procesos de adquisición, el procedimiento es por contratación directa y con fondos propios obtenido de las rentas de obras, este ha sido el camino para realizar las adquisiciones necesarias de suministro de la obra en una etapa inicial hasta comenzar a tener ingresos.

En particular surgieron beneficios económicos por adquisición de equipos y materiales desde el exterior, pero siempre con las dificultades administrativas que se convierten en un inconveniente y más que ello en una dificultad para la organización, sin embargo la legislación no contempla todas las situaciones y se genera una dependencia muy grande del flujo de caja que se recibe por concepto del contrato existente y los ingresos recibidos por avances de obra, cuando ésta esta en ejecución.

4.5 Protocolo de comunicaciones del Astillero con el Cliente y el Personal propio.

Las comunicaciones con el cliente son parte de la realimentación natural del avance de obra y seguimiento de la misma por parte del propio cliente, así mismo para el Astillero constituye una obligación más de control que lo obliga a supervisar el final de la obra con el control del cliente, dicha supervisión de los trabajos que se ha llevado a cabo por parte del cliente ha generado también inconvenientes por los tiempos en que se realiza y los efectos de sugerencias, cambios, reestructura, incorporación de nuevos equipos y otros elementos operativos y estéticos del buque.

En tal sentido la construcción tiene en sus detalles finales mucho tiempo de dedicación del personal a ultimar los propios detalles, terminaciones, etc. Así se compone una etapa en donde los cambios suponen retrasos importantes y contratiempos para finalizar con las tareas.

Esto es debido a que todas las tareas “adicionales” del proyecto han podido ser producto de la supervisión externa que ha ejercitado el cliente, y en razón mayormente de las apreciaciones de la dotación que va a tripular el buque es que se han generado las mencionadas tareas adicionales al proyecto.

Todo esto ha supuesto cambios en la última fase de ejecución del proyecto, cuando se estaba cerrando el mismo y justamente cuando los cambios pequeños, agregados y modificaciones producen un retraso muy importante.

Ello ha implicado problemas durante las comunicaciones oficiales del avance de obra por falta del cumplimiento del protocolo establecido inicialmente. Es decir que la realimentación con el cliente es efectiva cuando se realice en tiempo real y paso a paso por etapas, no así cuando se da a destiempo, fuera de lo previsto en la Memoria Descriptiva acordada en el contrato de arrendamiento de obra, esto ha obligado a la toma de decisiones por parte de la Jefatura del Astillero de forma independiente en relación al cliente cuando éste no esta presente para realizar el contralor y seguimiento de la obra.

4.6. Compromiso de la Gerencia con el SGC y la auditoría del proyecto.

Es fundamental en la gestión de un proyecto el compromiso de todas las partes, pero siempre es la gerencia la responsable fundamental de implementar, impartir, conducir y generar el compromiso o conciencia en la gestión de la calidad de los procesos y del tratamiento de las observaciones realizadas por las auditorías externas por ejemplo.

Es así que el Astillero implementa un Sistema de Gestión para el registro y trazabilidad de las horas hombres, compras, órdenes de trabajo, ingreso de proveedores, tareas de ingeniería, tratamiento de superficie, cortes, etc., y otros datos para el fin de mejora de la gestión.

Así se desarrolla el SAA, (Sistema de Administración de Astillero); sistema que cuenta con una auditoría que realiza entrega informes con las observaciones en diversas áreas como compras, control de calidad, capacitación entre otros aspectos y otras actividades que merecen un seguimiento.

Estas observaciones no han sido tratadas en su totalidad producto de la voracidad del trabajo en la explanada, de los tiempos apremiantes y producto de los tiempos que requieran el tratamiento de las no conformidades, la aplicación del control durante el transcurso de la obra genera o provoca correcciones hacia el mejoramiento del producto final, pero aún así implican más horas hombres y sobre costes al proyecto, además de un natural retraso de las obras.

4.7. Electricidad, cálculo, montaje y distribución.

Con respecto a la Instalación eléctrica, la misma en su totalidad ha requerido de certificación desde el plano proyectado, la autorización para ejecución de la instalación por parte de la "Clase", la adquisición de los insumos ha involucrado la programación de adquisición de material necesario para la obra con los correspondientes certificados.

La distribución eléctrica debió ser sub-contratada para realizarse la misma en razón de la falta de personal idóneo en la plantilla del Astillero y también por el alto coste de contratar personal propio, así como mantener dicha plantilla, capacitar él mismo para una obra finita y que además en las circunstancias de la construcción naval en el Uruguay, donde la continuidad del trabajo y la regularidad no permite asumir costes que no involucran un retorno del capital invertido en tal sentido.

Esta situación genera por un lado la posibilidad real de determinar el coste definitivo de la Instalación Eléctrica, pudiéndose programar la erogación de los recursos en una planificación con terceros, pero ésta misma ventaja nos ha situado en una dependencia total de terceros en cuanto a la eléctrica y los sistemas relacionados, sea por la calidad de la empresa, retrasos de los terceros, inconvenientes propios de la relación con la empresa, así como la poca disponibilidad en plaza de empresas instaladoras para abordo y que además cumplan y conozcan sobre normas y requisitos para cumplir con la "Clase".

Es así que esto genera un riesgo potencial en la concreción de la Obra; una vez iniciada la misma no es posible o no es conveniente cambiar de empresa, y pasa a estar ligada a ese tercero elegido para la obra y es una dependencia estratégica importante que también tiene sus efectos.

Por lo tanto las dificultades más que técnicas; que las hay y son reales, son comerciales por lo antes expresado, se dificulta tener el personal necesario cuando no hay una seguridad en la continuidad de obras y además genera un aumento en los costos fijos.

Debe tenerse en cuenta que la tercerización genera en el personal del Astillero una cierta empatía que no es siempre conveniente, de hechos existen competencias donde se deben trabajar en conjunto y las responsabilidades son compartidas, por ejemplo en pasa-mamparo, amurado de tableros, inserción de paneles, etc.

4.8. Motores y sistema asociados a la propulsión.

En referencia a los sistemas propulsores, debemos especificar que los mismos fueron adquiridos al igual que los equipos moto generadores certificados y aprobados por la "Clase", para uso marino y a bordo de la embarcación proyectada.

Para contemplar el 100% del Sistema debe incluirse los reductores, la línea de ejes, apoyos, cojinetes y bocina, así como las toberas y timones que van asociados a dicho equipamiento. En cuanto al equipamiento adquirido de fábrica como los motores y reductores no existen mayores dificultades, más que la propia para la instalación, amurado y/o fijación de los mismos al buque y sus estructuras, dichas estructuras deben ser generadas y calculadas para tal fin de manera que también se certifiquen y sean aprobados.

En cuanto a la línea de ejes, cojinetes, caja de empaquetadura y hélice los mismos se han tenido que adquirir certificados de fábrica desde el exterior puesto que la plaza nuestra no posee fundiciones o fabricas de tales insumos. Por lo cual las dificultades de éste equipamiento consiste en el suministro en tiempo y forma de los materiales, con el requisito de la previa certificación y aprobación de los materiales ya mencionados.

4.9. Carpintería en general, mampostería, ojos de buey y uniones para armonizar.

La carpintería que ha sido propia para la mayoría de los equipos como escritorios, repisas, bibliotecas, ha tenido que recurrir a terceros para trabajos especiales, como aros postizos para ojos de buey, armonización de la mampostería, marcos de ventana, muebles especiales, pasa bandejas, mesas, sillones, barandas, pupitres para comando, etc.

La dificultad más grande ha sido generar el mobiliario en estilo naval en los tiempos de alistamientos mínimos posibles para no generar demandas de tiempo de montaje. Todo ello genera un sobre costo y una dificultad real en la etapa final de obra puesto que el mobiliario es él último en ser instalado y prácticamente cierra los ambientes interiores, debiendo

armonizar con la estructura y los equipos, así como generar una cierta agradabilidad al usuario, es decir la tripulación.

4.10. Sanitaria y albañilería.

En general ha sido generada poca obra en cuanto al volumen de la misma para un Buque de servicios, pero bastante compleja y debiendo ser muy cuidadosos en el montaje de la misma, tanto por la conjunción de ambas así como la integración de ambientes, plantas, sistemas de válvulas, uniones a la mampostería, por ejemplo. Esta compleja tarea que debe ser estanca permitiendo los sistemas de desagües tanto de aguas grises, aguas negras, por separados y con algunas modificaciones por requerimientos del cliente que han surgido de último momento como pueden ser en la cocina, sala de calentadores, lavandería, etc.

En todos lo locales, así como ocurría con la carpintería la armonización y los detalles ocurren siempre al final de la obra ya sobre los montajes definitivo que no son definitivos, pues deben darse armados y desarmados en más de una oportunidad, por motivos de integración con los demás sistemas así como las fallas que ocurren durante las propias pruebas y deben corregirse.

4.11. Sistemas de Servo, adquisición, certificación e instalación.

En tal sentido el equipamiento de servo timón va relacionado al propio timón como su nombre lo indica y al sistema de navegación, rueda de timón, piloto automático, etc. Es así que por las características de nuestra plaza local es imposible encontrar fabricantes o suministradores de tal equipamiento para Buques de nueva construcción, sí es posible encontrar reparadores y empresas de sistemas hidráulicos.

Para el caso del Proyecto ANCAP, debimos buscar en el exterior empresas que nos suministren el equipamiento con los certificados técnicos y que la “Clase” nos solicitará para su empleo en la embarcación. A tales efectos debía armonizarse la línea propulsora importada de México, con el Sistema de Servo Timón proveniente de Argentina y el Sistema de Navegación que si bien fue proporcionado por una empresa local, su origen es Estados Unidos. La instalación estuvo a cargo de un servicio eléctrico de terceros, así como una empresa de hidráulica realizo el Apoyo de montaje necesario para cerrar el circuito y la compaginación de los detalles de montaje que nos generaban dificultades.

Dichas dificultades, por un lado tienen una componente administrativa u organizacional en lo referente a la ejecución de proyectos y por otro lado las dificultades técnicas de interpretación y comunicación de los requisitos de cada una de las partes para hacer efectivo el trabajo, la instalación y el resultado de funcionamiento en navegación. Siendo por un lado el Eléctrico quién coordine la operación y los mandos con puente de control, tableros, emergencias y situaciones especiales. Por otro lado la empresa del servo sistema que tiene a cargo la determinación exacta de la potencia hidráulica necearía para mover en tiempo y forma los timones del Buque. Esto implica un delgado o nulo margen para los errores y la concertación de todos los actores en post del funcionamiento efectivo del Equipo. No obstante de incurrir en fallas, la recertificación del equipamiento trae consigo aparejado un contratiempo en costos y moras que también se traducirían en costos finales a ser cargados al Proyecto y en definitiva de la rentabilidad del mismo.

4.12. Sistemas de Navegación y Comunicaciones.

Para los sistemas de navegación, equipos de posicionamiento, equipos de comunicaciones y demás accesorios necesarios para la operación del Buque de forma segura y efectiva, además de los requisitos de la Autoridad Marítima Nacional y algunos requerimientos de “Clase” etc., surgieron problemas de conjugación de tareas en un mismo local como lo puede ser el mando de Puente de un Buque, donde en la misma etapa final, existían diferentes empresas trabajando a la par. En un momento las empresas contratadas para el sistema de alarmas contra humos e incendios, aire acondicionado, electricidad, comunicación (antenas y equipos), así como equipos de navegación, carpintería debieron convivir con el personal de Astillero que se encontraba montando ductos, paneles, seguros para puertas, accesorios remotos, etc. Todo ello genera dificultades por el propio relacionamiento humanos, así como diferencias técnicas generadas en las tareas individuales, debiendo la Ingeniería de Proyectos mediar, combinar y dirigir las soluciones prácticas generando a veces algunos sobre costes no previstos.

4.13. Sistemas Hidráulicos para Guinches, Grúa y Cabrestante.

En vista de la necesidad de contar con sistemas de potencia para mover el cabrestante, grúa hidráulica y guinches para maniobra, entre otros; se debieron instalar en el Buque centrales de potencia hidráulica. Las mismas ajustadas a las necesidades para el cometido de operación

dentro de los límites de seguridad, son de origen electro hidráulica debiendo en algún caso como los servos (debiendo ser exclusivamente para la operación de los timones).

En el caso del cabrestante también casi exclusivamente para tal fin; es necesario para el control de la maniobra de fondeo, arriado e izado de la maniobra.

Para el servicio de guinches y grúas debió utilizarse una central de potencia “extra”, lo cual es una dificultad desde el punto de vista de la no programación de éste servicio, puesto que fueron tareas por fuera de la memoria descriptiva y de contrato, hecho que nos sitúa en una compleja posición en referencia al Balance eléctrico proyectado, las capacidades de cargas disponibles y sostenibles por la red de distribución así como los nuevos requerimientos de planos y de aprobación de “Clase”. Todo ello generó inconvenientes en la etapa final, cuando el cliente comienza a visualizar su producto final y comienza a solicitar adicionales, todos a su costo pero que generan en el Astillero inconvenientes de planificación, sobre costos y retrasos generales sobre la obra como un todo, incluso retrasando secciones de montaje, etc.

4.14. Sistemas de Pruebas de Equipos y Sistemas.

El Astillero tuvo que hacerse de personal idóneo para tales fines. Desde citar a las empresas involucradas, en cada una de las tareas que se subcontrataran hasta el personal de cubierta, máquinas, operadores, engrasadores, servicios de limpieza y personal de supervisión, como lo pueden ser para tomas de vibraciones, medición de niveles de contaminación sonora, pruebas de hidráulicas, de bombas, llenado y vaciado de tanques y otros que se realizan en puerto o muelle de armamento.

Esta tarea parece sencilla pero evidentemente requiere de conseguir los permisos especiales, tripular todo el buque con personal propio y sin personal del Armador por ejemplo, todo a los efectos de conocimiento de las maniobras y pruebas de arranque.

La tarea contempla las dificultades de obtención del personal idóneo, así como el aporte de los propios supervisores de las tareas llevadas a cabo por el Astillero en la Construcción de la embarcación.

4.15. Personal para pruebas de mar.

Para la situación de la entrega del Buque pruebas de mar mediante, el cliente no apoyo con personal y el Astillero debió realizar las pruebas de mar, con personal idóneo, conjugando un equipo polifuncional compuesto por marinería de cubierta y máquinas, personal de electricidad, responsables por los motores, generadores, equipos instalados en general, así como los instaladores de diversos sistemas, tanto en comunicaciones como en navegación, el timonel, jefe de máquinas para la supervisión de planta y un patrón de navegación, por ejemplo. Esta tarea que es una situación extraordinaria para el Constructor surge por la imposibilidad de parte del cliente de dotar el buque con personal para las mencionadas pruebas de mar.

Dichas dificultades obedecen a diferencias humanas por las responsabilidades y organizativas del cliente así como del Astillero y no técnicas, pero en sus efectos repercuten ocasionando los problemas antes citados.

4.16. Planta de Tratamiento de Aguas Negras.

La puesta a punto de la Planta de Tratamiento de aguas negras, por parte del personal de Astillero ha sido una tarea no menor por la complejidad pasos a seguir en el procedimiento de puesta en servicio, la misma debió realizarse en base a la capacidad técnica del personal de Ingeniería de Proyectos, puesto que Construcción Naval no posee personal idóneo para conducir la puesta en marcha, debiendo aportar mano de obra para montajes, desmontajes, limpiezas y otras tareas relacionadas.

De esta forma se comienzan las tareas de pruebas hidráulicas, funcionamiento eléctrico de las Bombas, flotadores, tableros, interruptores, por ejemplo. Todo el trabajo, conlleva varias horas hombre, tiempo extra en la ejecución de las tareas y adicionales, requerimientos de imprevistos, materiales nuevos como juntas, tornillería, accesorios y sobre todo genera una demora en la comprobación de otros equipos y sistemas que tienen un orden de prioridad y complejidad, debiendo realizarse las pruebas por el mismo personal.

4.17. Electro válvulas de combustible.

Los requerimientos “adicionales” que el cliente solicita son considerados por un lado beneficioso para el Proyecto Final desde el punto de vista económico y por que permite en

cierta medida justificar ciertos retrasos de la obra desde el punto de vista formal en cuanto a tiempos y posibles multas o recargos por salirse de la programación inicial.

Por otro lado son realmente una dificultad extra a toda la obra, así ha ocurrido con el requerimiento de las electroválvulas de corte de combustible, que el cliente había solicitado durante la fase de entrega del Buque. Puesto que las mismas no se encuentran en plaza, por falta de mercado y poco comercio de estos equipos con certificados, por tanto han debido ser importadas a un alto costo, por demoras en el embarque, por tiempos de aduana, sumada a la instalación, tendido eléctrico secundario de alimentación, pruebas y regulación de las mismas.

Todo ello genera contratiempos y una adaptación del personal de construcción y del desarrollo de Ingeniería al proyecto que es por demás interesante desde el punto de vista de la capacitación, aprendizaje, crecimiento personal y profesional, etc., pero que sin dudas es desgastante, engorroso, con altos requerimientos de horas extra, entrenamiento del personal disponible para tareas algunas veces poco técnicas pero con mucho requerimiento físico y a desarrollarse en jornadas largas de trabajo, además de la presencia de los funcionarios de Astillero, que van formándose durante las pruebas de los equipos y en particular de la instalación de las electro válvulas de corte de combustible para el caso analizado en éste punto.

4.18. Líneas de Combustibles “extra”, involucra el cambio de planos aprobados.

De una forma muy similar al punto anterior y a solicitud del cliente, surge la necesidad de una derivación de la línea de combustible hacia cubierta principal, la misma involucra variables de planos y acometidas en la propia cubierta, así como el inserto de una válvula seccionadora de combustible, todo ello previa regularización y autorización de los planos validados por la sociedad clasificadora de Buques, RINA para éste caso.

Pero la dificultad no radica solamente en el trabajo, sino en la espera del inspector y la certificación de la tubería aprobada previamente. Además de los propios problemas de tiempos en la espera de la aprobación y ejecución, ocurre que se deben hacer modificaciones en la cubierta, así como de accesorios pertenecientes a la sala de máquinas producto del nuevo pasaje de tuberías de combustible, reacondicionamiento de pintura, finalización y estética final.

4.19. Ventilaciones adicionales, para diferentes locales, como lavandería, con la particularidad de no estar solicitado en la memoria descriptiva.

Dentro de los trabajos adicionales, se ha establecido la necesidad de poseer ventilaciones naturales y forzadas desde el exterior en diferentes locales, ocasionando desmontaje de paneles, estructura liviana, corte de chapa, soldeo, tratamiento de superficie, vuelta aislar la zona metálica y nuevamente arma la papelería y cielos rasos, etc.

Todo esto si bien es sencillo en la práctica, lleva tiempos de espera, inconvenientes prácticos en la jornada laboral entre las diferentes cuadrillas de montaje, calderería y tratamiento de superficie, siempre y cuando no afecte al trabajo de cableado de terceros, o una empresa que ya hubiera finalizado, como lo puede ser la instalación de alarmas.

4.20. Asesoramiento legal en referencia a los detalles de la "Memoria Descriptiva".

Al Astillero le ha ocurrido durante el proceso de desarrollo de la Obra que él Armador "Siempre pretende más", adicionales no previstos, cambios de ultimo momento y otras tareas que son una dificultad para el Constructor, por que no están previstas ni contempladas en ninguna "Memoria Descriptiva" y sin embargo el Astillero tiene la obligación de aceptar los requerimientos del cliente, estos requerimientos son una dificultad ya expresada en otros párrafos, pero siempre constituyen una necesidad de realizar la obra a los efectos de satisfacer las necesidades del cliente, quién en definitiva paga el proyecto.

4.21. Línea de Aire Comprimido de Servicio.

La modificación de la línea de aire comprimido es uno de los requerimientos adicionales que ha generado un desmontaje de camarotes, perforación de mamparo, aislación de estructuras, cableado montado y por montado, trabajos de calderería, tratamiento de superficie, y montaje de accesorios entre otros, etc.

En referencia a la tarea que es sencilla desde el punto de vista práctico, técnico y constructivo ha generado una inconveniencia desde la planificación y contratiempos logísticos que involucran los cambios a último momento y la inconveniencia de retribuir al cliente con el cumplimiento de las exigencias generadas en las instancias finales.

5. CONCLUSIONES.

1. En el marco de la administración pública los factores de dificultad más importantes han sido; a) El alto nivel de rotación del personal en sus diferentes cargos y áreas de responsabilidad sea por las condiciones de empleo de personal por el Estado o por la demanda privada han generado innumerables contratiempos en la Obra y b) Las dificultades para operar dentro del marco jurídico del TOCAF, siguiendo las recomendaciones de la AIN y en definitiva complejidad de realizar las adquisiciones de equipamiento y servicios en el tiempo y forma requerido.

2. Con respecto al cliente y sus requerimientos han existido vacíos legales o falta de procedimientos administrativos que ha generado solicitudes de trabajos y materiales "nuevos" en el proyecto que de alguna manera son improcedentes desde un punto de vista logístico y de planificación de la obra, todas acciones que alejan la obra de la "memoria descriptiva" aceptada inicialmente en el contrato de arrendamiento de obra, suponiendo retrasos importantes, elevados costos e incluso dificultando las relaciones humanas con el cliente. Debiendo tener en cuenta esto para futuras obras desde un punto de vista administrativo del proyecto, tanto en costos como en conveniencia tácita.

3. Para el Astillero a significado un desafío sin precedentes que tiene como resultado el "know how" generado durante el proyecto y aprendizaje para atender los requerimientos de nuevas construcciones de Buques o plataformas similares a las del "Ky Chororo" o barcazas del proyecto ANCAP.

4. En términos generales y a pesar de las dificultades e inconvenientes suscitados durante el desarrollo del proyecto ANCAP, con contratiempos, sobre costos, moras e imprevistos ha resultado en un antes y un después del proyecto para la Armada Nacional y el país, que ha significado descartar definitivamente la idea de que la Construcción Naval no tiene futuro en el Uruguay.

REPARACIONES NAVALES: CÓMO CORREGIR, PREVENIR Y PREDECIR LA IMPROVISACIÓN

Aguirrezabala, G[1]

[1]Gerente General de Tsakos Industrias Navales S.A.. german@tsakosmonte.com.uy

RESUMEN.

En este trabajo se presenta a la industria de las reparaciones navales desde el punto de vista de la improvisación, que es una de sus características fundamentales. En este sentido, primero se hace una introducción a la actividad de los astilleros dedicados a las reparaciones navales. Luego, se mencionan los orígenes de la improvisación y sus antídotos. Por último, se extraen conclusiones y se hacen generalizaciones tendientes a optimizar la gestión de este tipo de empresas.

Palabras claves: reparaciones navales, administración de astilleros, sistemas complejos adaptativos, improvisación.

1. INTRODUCCIÓN.

Un colega ha dicho con notable acierto que “la reparación naval es el arte de la improvisación organizada [1]. Todo comienza con nuestros siempre bienvenidos clientes, ya que los reparadores navales oteamos con persistencia el horizonte en busca de problemas. Muchas veces es fácil encontrarlos (los sueños de unos son las pesadillas de los otros) y las restantes, es como si estuviéramos a orillas de un desierto. El mercado es muy variable.

Básicamente, las reparaciones navales se basan en dos tipos de mantenimientos:

a) Mantenimientos correctivos por accidente, corrosión o desgaste.

b) Mantenimientos preventivos.

En ambos casos, la calidad y cantidad de problemas frecuentemente supera el “stock” de soluciones. Por eso, para permanecer y crecer, un reparador naval tiene que poder ofrecer soluciones “just in time”. Más aún, si el propio cliente no sabe que tiene un problema hasta que el buque está en seco.

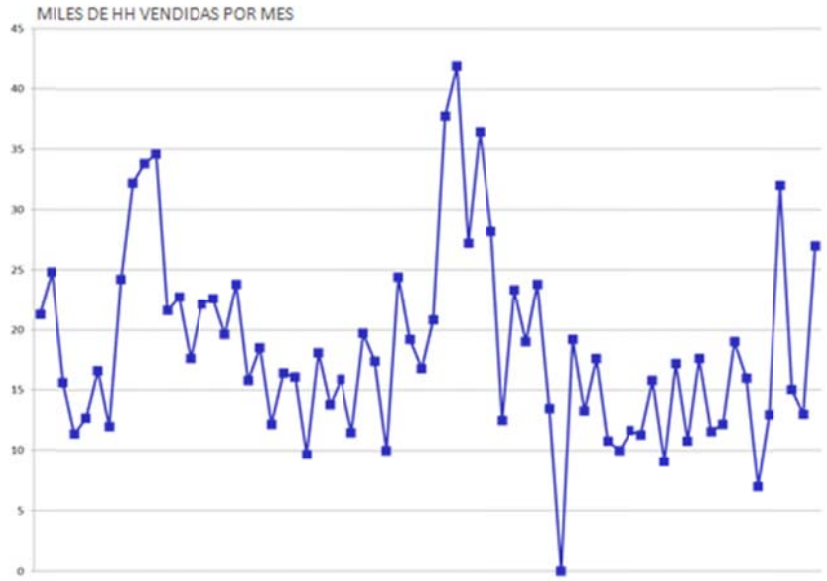


Figura 1. Esta gráfica muestra la variabilidad del mercado, tomando como referencia uno de los factores más representativos del sector: las horas hombre vendidas.

Por lo tanto, aquí está la primera fuente de improvisación: nuestros clientes.

Imaginemos que un armador "A" necesita varar su barco en nuestro astillero, de forma urgente; pero antes, hagamos un paréntesis y veamos cómo funciona el astillero de reparaciones navales.

2. AL BORDE DEL CAOS.

Observemos la siguiente serie de circunstancias, típicas del sector:

- Luego de botar un buque granelero, reparado en el dique flotante, nuestro astillero espera que arribe un buque tanque. Esto significa que solamente hay que hacer pequeños cambios en la cama, principalmente en los picaderos laterales, a los efectos de hacer coincidir los puntos fuertes del buque a varar con los puntos fuertes de la estructura interna del dique.
- Un repentino retraso del tanquero abre una ventana que puede ser aprovechada para varar en forma simultánea varios buques pesqueros, cuya solicitud para subir a dique nuestro Departamento Comercial no había confirmado ni descartado "por las dudas". Todo esto será posible si luego de botar el granelero se usa el mismo dique flotante pero con una distribución de camas y picaderos totalmente diferente.

- Una vez varados los pesqueros, la sombra del buque tanque demorado, como un fantasma, urge la finalización de los trabajos en los mismos. Mientras tanto, se analiza la posibilidad de adelantar la construcción de la cama del tanquero con los picaderos remanentes.
- Uno de los pesqueros, el que tenía menos trabajo, ha quedado listo y el armador presiona para bajar de dique antes que los otros. En paralelo, la hélice de uno de los remolcadores de puerto se ha dañado y solicita una varada de emergencia.
- A la mañana siguiente, en la misma agua, el buque pesquero terminado es botado; y el remolcador averiado, varado. Esto hace felices a dos armadores pero molesta a los demás. Fue necesario trabajar durante la noche preparando la cama del remolcador en un espacio libre y asegurando la estanqueidad de los barcos que permanecerían en dique.
- Finalmente, el buque tanque cancela. No importa, otros barcos vendrán desde más allá del horizonte… Si nos adaptamos a sus requerimientos.



Figura 2. A la izquierda, una varada múltiple de buques pesqueros. A la derecha, en el mismo dique, un buque portacontenedores.

Puede afirmarse que esta serie de circunstancias ocurre “al borde del caos”. Y no se trata de una mera expresión metafórica: coloca a nuestra actividad dentro del marco teórico de la complejidad (en general) y de los sistemas complejos adaptativos (en particular).

Entre el caos (donde la predicción es impensable) y el orden (donde el cambio es impracticable) está la complejidad, donde todo es posible. Un sistema es complejo cuando su comportamiento se predice mejor a partir de la observación del conjunto (patrones) que del estudio detallado de sus componentes. Por lo tanto, para entender un sistema complejo,

primero tenemos que encontrar un buen lugar desde donde observarlo. Por ejemplo, desde un mapa de retorno.

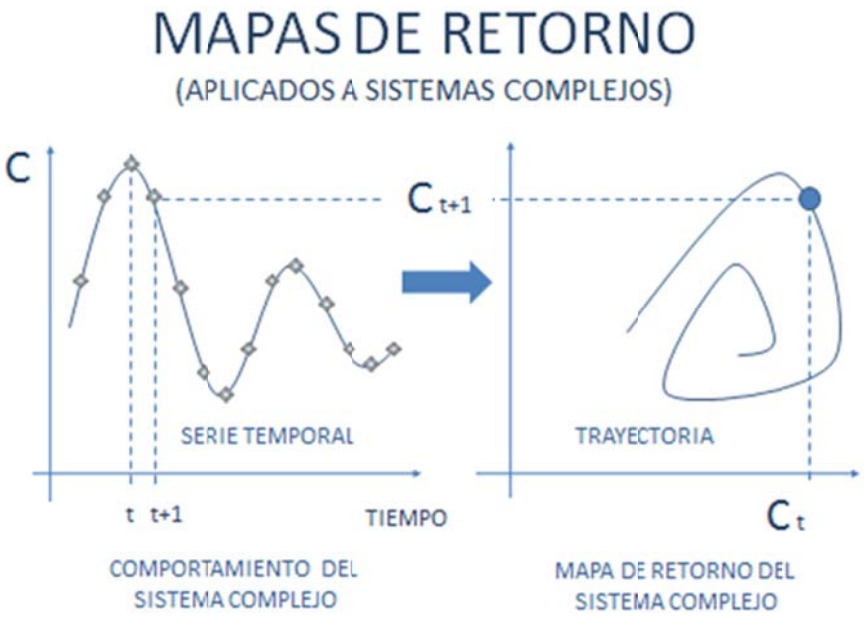


Figura 3. ¿Cómo hallar patrones a partir de los detalles?

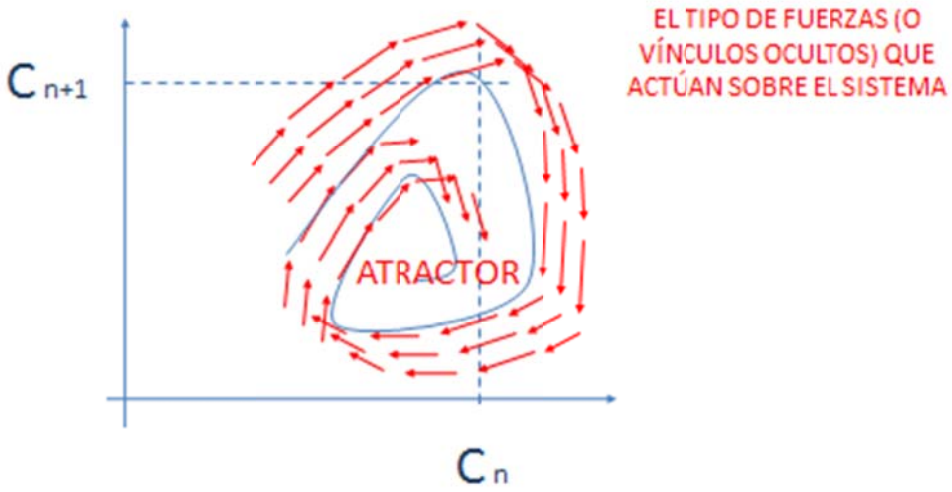


Figura 4. ¿Qué nos permiten descubrir los patrones hallados?

Como en el surf, la creatividad sólo tiene lugar en la compleja cresta de la ola, no en la ordenada calma del mar de los sargazos ni en el caótico romper de la misma ola.

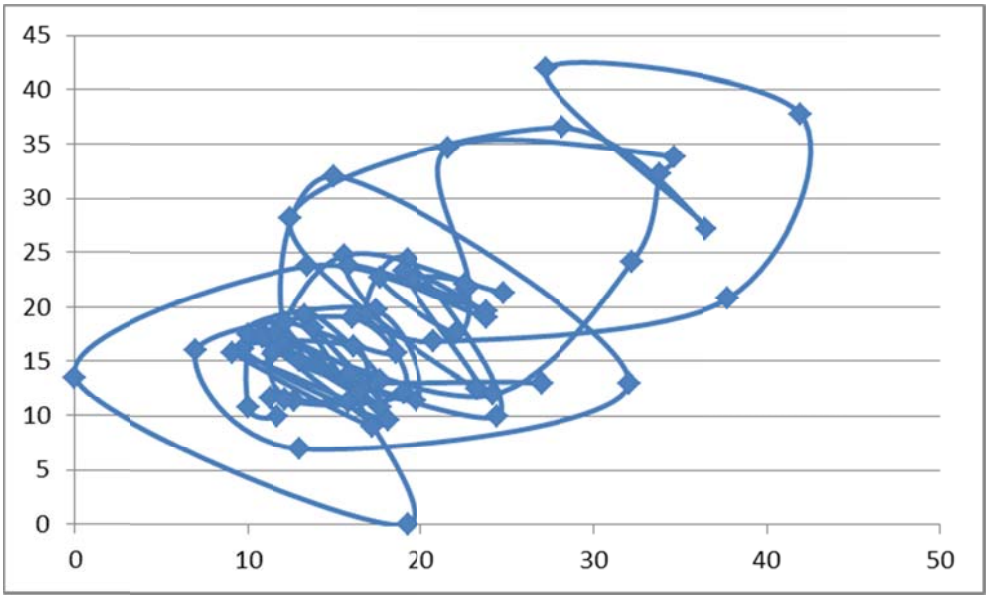


Figura 5. Aquí se presenta la misma información incluida en la Figura 1. Sin embargo, ahora, se grafican las horas vendidas en el mes n+1 contra las horas vendidas en el mes n. En este ejemplo, mediante un "mapa de retorno", es más fácil apreciar la existencia de un "atractor" cerca de las 15000 HH.

En particular, la industria dedicada a las reparaciones navales es un "sistema complejo adaptativo" porque es "un sistema de agentes individuales, que tienen la libertad de actuar en formas no siempre totalmente predecibles, y cuyas acciones están interconectadas de tal manera que el accionar de un agente cambia el contexto en el que actúan los otros agentes" [2].

En un artículo publicado hace setenta años, Schor anticipa dicha definición: "la organización del astillero [de reparaciones navales] no es autónoma y no controla por sí sola las operaciones que ocurren en el astillero. Existe una organización externa, que la acompaña, formada por armadores, ingenieros navales, subcontratistas y entidades reguladoras que también controlan las operaciones [3].

Como agente individual en este mundo de cambios, una empresa de reparaciones navales debe aprender de la experiencia y fomentar un ambiente favorable para la aparición se

patrones de comportamiento adaptativo (esto es, procedimientos operativos hechos a medida de los requisitos del mercado y de las restricciones naturales).

Como los fractales, los sistemas complejos adaptativos son auto-similares: los mismos patrones se pueden percibir a distintos niveles. Por ejemplo, las mismas características complejas de la reparación naval, considerada como un todo, se reproducen, a menor escala, en una típica maniobra de varada o botadura: cuando el viento cambia repentinamente y un cabo se rompe, el "borde del caos" realmente corta. En esas condiciones extremas, el personal experimentado va a confiar más en un patrón de organización autónoma que en un control centralizado de los detalles.

3. LAS FUENTES DE LA IMPROVISACIÓN.

Volvamos al caso del armador "A" que necesita varar su barco en nuestro astillero, en forma urgente: ¿habrá cancelado? Supongamos que no, que el buque ya se ha varado e inspeccionado. Salvada la primera fuente de improvisación, ¿pueden, entonces, el astillero y el armador definir todos los trabajos y preparar un cronograma de obra satisfactorio para ambos? No.

Aquí es cuando aparece la "organización externa" a la que hace referencia Schor en 1955. Inspectores de la Autoridad Marítima (nacional y/o extranjera), de la Sociedad de Clasificación, de la Compañía Aseguradora, del P&I Club..., todos ellos se interponen en la relación cliente – proveedor y lo hacen de una manera difícil de eludir.

En cualquier momento, alguno de ellos puede introducir un cambio de rumbo en el proceso de reparación de un buque. Son la segunda fuente de improvisación.

La tercera fuente de improvisación es la naturaleza: hay que luchar contra viento y marea. El viento y la lluvia afectan la soldadura y el tratamiento de superficies. Una bajante (si la marea es meteorológica, como ocurre en Montevideo) puede impedir la varada o la botadura de los buques.

En las reparaciones navales, las referencias a la Ley de Murphy son frecuentes.

Por lo tanto, la cuarta y última fuente de improvisación está relacionada con la carencia de recursos; los previsiblemente críticos son responsabilidad del astillero, pero con los demás,

con los recursos que se transforman en críticos de forma inesperada, no hay más remedio que improvisar. Todo consiste en estar preparados.

4. LOS ANTÍDOTOS.

Como sucede con el colesterol, hay improvisación buena e improvisación mala. El primer antídoto, entonces, es utilizar la improvisación buena para corregir la improvisación mala.

El segundo es un buen manejo del espacio y el tiempo. Se puede usar el espacio para ganar tiempo (por ejemplo: varar más barcos simultáneamente) y usar el tiempo para ganar espacio (por ejemplo, crecer y ampliar las instalaciones). Los plazos expiran pero también inspiran. Tiempo y espacio implican movimiento. Y el movimiento, en el mundo real, implica vencer una resistencia, lo que a su vez requiere: energía (financiación) y voluntad (organización).

Un astillero de reparaciones navales debe contar con capacidad financiera ya que sus ingresos son totalmente variables y sus egresos se componen de costos fijos importantes más costos variables desfasados de los ingresos.

O A X A P U J O V F S
V F G T T R Y G D S W
Y G O D B E L O P L B
P L M A N K N I H B V
P W E S T X D C D Y G
P E I U Y U T R I R Q
Z L L J H G A F D O O
X C V I N Y H I N C N
Z E C T G Y U M Z O L
X A C D V R B G N A H
P L I J Y G O D E S D

Figura 6. Y esto, ¿qué significa?

En cuanto a la organización, más que una actitud flexible, se necesita un equipo de contorsionistas. El personal formado en la empresa y bien informado, logra descubrir oportunamente, aún dentro de una trama compleja, la aparición de patrones de improvisación.

O A X **A** P U J O V F S
V F G T **T** R Y G D S W
Y G O D B **E** L O P L B
P L M A N K **N** I H B V
P W E S T X D **C** D Y G
P **E** I U Y U T R **I** R Q
Z L **L** J H G A F D **O** O
X C V **I** N Y H I N C **N**
Z E C T **G** Y U M Z O L
X A C D V **R** B G N A H
P L I J Y G **O** D E S D

Figura 7. Atención, peligro.

De esta manera, conseguimos “que todo el equipo se contorsione” para prevenir o corregir dichas improvisaciones. En ese sentido, por ejemplo, son más convenientes las comunicaciones por radio que por celular; ya que, en el primer caso, además del emisor y el receptor, hay un público (acotado) que puede tener más información que aportar o estar interesado en obtenerla para el mejor desarrollo de la obra.

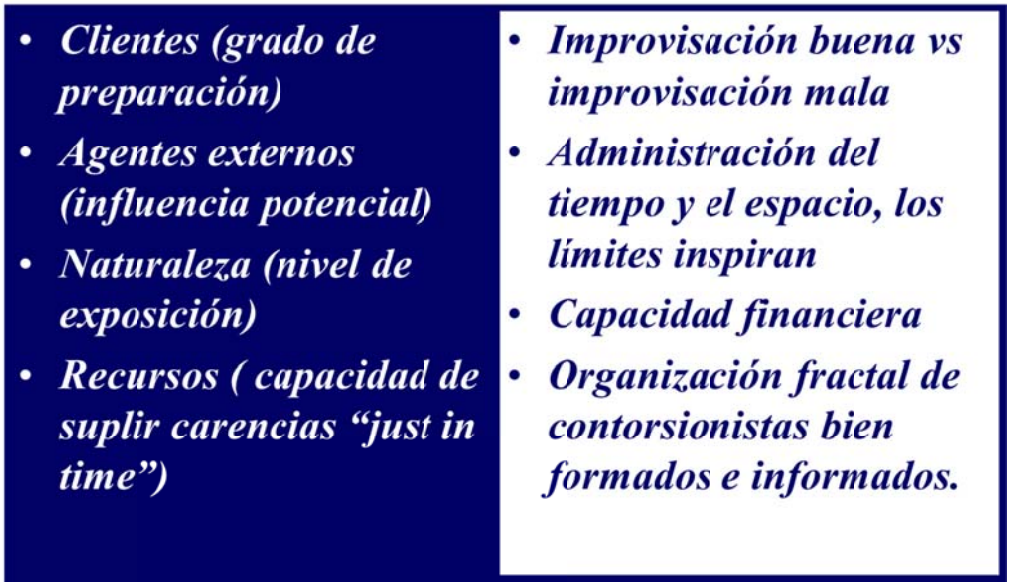
Por último, más que una organización matricial (frecuente en el sector) se necesita una organización fractal, capaz de contener y atender la improvisación en todas las escalas.

5. CONCLUSIONES.

La literatura referente a la organización de astilleros dedicados a las reparaciones navales es muy escasa y dispersa. Esto puede ser porque quienes trabajan en el sector no tienen tiempo (y cuando tienen tiempo, no tienen ganas) de escribir o porque la complejidad de la tarea es tal que no hay recetas, más que buscar un buen lugar desde donde ver el conjunto y descubrir sus patrones de comportamiento.

Una notable excepción es el trabajo “Particularidades de la reparación naval” presentado por el Ing. Julio Villar en el Simposio de “Tecnología Naval” del IPIN, Ciudad de Panamá, octubre de 2008.

En la siguiente tabla, se resume el catálogo de improvisaciones y antídotos.



Mientras la organización de los astilleros de construcción naval se asemeja a una Orquesta Sinfónica, la de los astilleros de reparación naval se parece a una Banda de Jazz. En ese sentido, el presente trabajo no es más que un pensamiento melódico. Muchas gracias.

6. REFERENCIAS.

[1] GARCÍA DÍAZ, DAVID, Ingeniero Técnico Naval, Galicia, España.

[2] PLSEK P. et al. 'Some Emerging Principles for Managers of Complex Adaptive Systems (CAS) ', (Working Paper). 1997.

[3] SCHOR, R., 'A Method for Increasing the Efficiency of Ship Repair Yard Operation', paper presented at the Spring Meeting, Philadelphia, Pa., of The Society of Naval Architects and Marine Engineers, May 19 and 20, 1955. SNAME Transactions, 1955.

4. DISEÑO DE BUQUES

LANCHA ESCOLAR FLUVIAL PARA TRANSPORTE DE ESTUDANTES COM SEGURANÇA

Mesquita, André[1]; Vinicius Araújo, André[1]; Pacha, Roberto[1]; Rodrigues de Souza, José Maria[2]; Tachibana, Toshi-ichi[3]

[1]Universidade Federal do Pará.
[2]FNDE-Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação.
[3]IPT-Instituto de Pesquisa Tecnológicas/ USP-Universidade de São Paulo. tatibana@usp.br

RESUMO.

O trabalho apresenta uma Lancha Escolar para assegurar a eficiência da gestão do "Programa Caminho da Escola" garantindo o acesso das crianças aos estabelecimentos de Ensino. Na concepção da embarcação foram considerados os trajetos desde a comunidade onde reside o aluno, até as instalações da Escola.

Ainda são apresentadas as principais características da embarcação, que atenderam as reinvindicações dos usuários principais, alunos, armadores e pilotos de municípios rurais, e por fim do Ministérios da Educação, através do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE).

São também discutidas as principais motivações que nortearam o seu desenvolvimento. Ainda as adaptações que se fizeram necessárias para o melhor comportamento nas vias fluviais, principalmente nas regiões Amazônicas e outras regiões ribeirinhas brasileiras.

1. JUSTIFICATIVA.

Dados estatísticos do MEC registram que a falta de transporte escolar tem contribuído, sobremaneira, para a evasão escolar. Somando-se a isso a inexistência de transporte suficiente para tamanha demanda; as dificuldades de aquisição das prefeituras de municípios mais carentes, não só pelas questões relativas a licitações, mas, também pelos parcos recursos disponíveis; o conhecido mau estado de conservação dos poucos veículos existentes; a utilização de veículos inadequados ao transporte de estudantes.

No Brasil, 4,8 milhões de estudantes da Educação Básica, que residem em área rural e estudam em escolas públicas, dependem do transporte escolar diário, ofertado gratuitamente pelo poder público, para ter acesso à educação. Na região norte do Brasil, onde situa uma das maiores bacias hidrográfica do mundo, 650 mil estudantes rurais dependem do transporte escolar público e, estima-se que, mais de 300 mil usam embarcações para chegarem às escolas.

Em função desta realidade, o Governo Federal criou o Programa Caminho da Escola, com o objetivo de renovar e padronizar a frota de veículos usada no transporte escolar por meio de concessão de operações de crédito aos municípios para aquisição, por intermédio do Banco Nacional de Desenvolvimento Social/BNDES, de ônibus e embarcações novos. Além de renovar e padronizar a frota existente, o Programa visa reduzir custos para a sua aquisição e manutenção.

Em levantamento realizado pelo FNDE foram identificados, até o momento, **210** municípios, sendo **142** da região norte, que utilizam embarcações no transporte escolar de alunos da educação básica. Considerando a capacidade dos barcos utilizados em cada rota escolar, foram identificadas **7.696** rotas conforme tabela abaixo, sendo que 7.270 (95,5%) são de municípios da região norte (tabela 1).

Tabela 1. Distribuição da quantidade de rotas em função da capacidade de passageiros das lanchas escolares.

Capacidade	**Nº de rotas**
Até 5 alunos (c/sem motor)	1.085
De 5 a 15 alunos	1.943
De 15 a 25 alunos	1.887
De 25 a 35 alunos	1.658
De 35 alunos acima	1.123
TOTAL	**7.696**

Em cooperação com a Marinha do Brasil, o FNDE/MEC está produzindo 674 (seiscentos e setenta e quatro) Lanchas Escolares movidas a gasolina, com capacidade para transportar 20 (vinte) estudantes. Neste primeiro lote de veículos aquaviários, com especificações exclusivas

para o transporte de estudantes, 551 unidades já foram produzidas e doadas aos municípios e Estados, especialmente os da região norte do Brasil, sendo que 123 estão em produção e deverão ser distribuídas até março de 2012.

Em pesquisa realizada pelo FNDE em parceria com a Universidade Federal do Tocantins para caracterizar a população ribeirinha usuária do transporte escolar aquaviário e testar o primeiro modelo de Lancha Escolar produzido no Brasil, foram percorridos mais de 6 mil quilômetros nos rios da região norte. O resultado deste trabalho indicou que, além da falta de postos de abastecimento contínuo, o alto valor cobrado pelo litro da gasolina onera substancialmente o custo de manutenção das embarcações. Além disto, as embarcações usadas pelas comunidades locais são movidas a diesel que, apesar das precárias condições de segurança e da falta de conforto, apresentam baixo custo e facilidade na manutenção se comparados com as embarcações movidas à gasolina.



Figura 1. Lanchas escolares usadas para a o transporte de passageiros na região Amazônica.

Assim, considerando todos estes aspectos, e a necessidade de manter o esforço do Governo Federal, em colaboração com estados, Distrito Federal e municípios, para melhorar a qualidade da educação pública brasileira, é que se justifica a continuidade das ações que visam a renovação da frota dos veículos escolares no âmbito do Programa Caminho da

Escola, e nesta etapa, disponibilizar por meio de registro de preços outros modelos de embarcações, com especificações mais adequadas à realidade e que, além de transportar um número maior de estudantes, possibilitem uma alternativa com menor custo de manutenção e se enquadre nas exigências legais do *Programa Caminho da Escola* para pleitear financiamento do BNDES. Desta forma, em uma outra etapa do Programa Caminho da Escola, foram construídos dois modelos de embarcações, a Lancha Escolar Média e a Lancha Escolar Grande (LE-M e LE-G, respectivamente), mostradas na figura 1.

2. DIMENSÕES.

O comprimento total e outras dimensões da lancha escolar foram construídos com os valores estabelecidos na tabela 2:

Tabela 2. Dimensões e características principais das lanchas escolares.

Classificação	LE-M	LE-G	Tolerância
Comprimento Total	7,800 metros	11,000 metros	±2%
Largura Externa	2,530 metros	2,530 metros	±2%
Altura Externa	2,665 metros	2,665 metros	±2%
Capacidade de passageiros adultos	20 sentados	29 sentados	-
Capacidade de alunos-crianças	33 sentados	49 sentados	
Nº de Tripulantes	01	01	-
Capacidade de Óleo Diesel	Mínimo de 300 litros	Mínimo de 300l	±5%
Raio de ação em velocidade máxima	Mínimo de 200 km	Mínimo de 200 km	-
Autonomia na Potência máxima	Mínima de 10 horas	Mínima de 10 horas	-
Potência máxima em regime contínuo	Maior que 60 HP	Maior que 100 HP	-
Velocidade de cruzeiro	20 km/h	20 km/h	±5%
Velocidade máxima	Até 25 km/h	Até 25 km/h	±5%

3. CARACTERÍSTICAS DA EMBARCAÇÃO.

3.1. Hélice e Leme.

Na popa da embarcação contém um hélice (figura 2), um leme e um skeg (proteção parcial do hélice),

Para fixação do leme está com os 4 (quatro) parafusos de acoplamento e o hélice contém as 2 (duas) porcas de fixação para dar maior confiança do sistema de manobra e propulsão.



Figura 2. (1) Hélice, (2) leme, (3) skeg e (4) pés de galinha da lancha escolar

3.2. Casaria.

A casaria da LE–M é composta de 4 (quatro) janelas do lado direito da embarcação (boreste) e 4 (quatro) do lado esquerdo (bombordo). Esta embarcação possui dois lados iguais.

A casaria da LE–G é composta de 6 (seis) janelas no lado direito e 5 (cinco) no lado esquerdo da embarcação e uma abertura (com tampa) no teto da embarcação (tijupá) para ventilação e saída de emergência.

Ainda há duas portas avante (frente) e uma porta em cada lateral, o fechamento de todas as portas e o material da casaria, principalmente sua fixação ao casco são firmes para garantir a segurança dos estudantes. Ambas as lanchas estão ilustradas nas figuras 3 e 4.



Figura 3. Vista de perfil da lancha escolar média.



Figura 4. Vista de perfil da lancha escolar grande.

3.3. Tijupá.

Em ambas as lanchas, o tijupá possui os seguintes equipamentos instalados: duas luzes de sinalização, sendo uma verde a boreste e uma vermelha a bombordo, um mastro com uma luz branca, um holofote (farol), uma buzina e uma antena de rádio (Figuras 5 e 6).

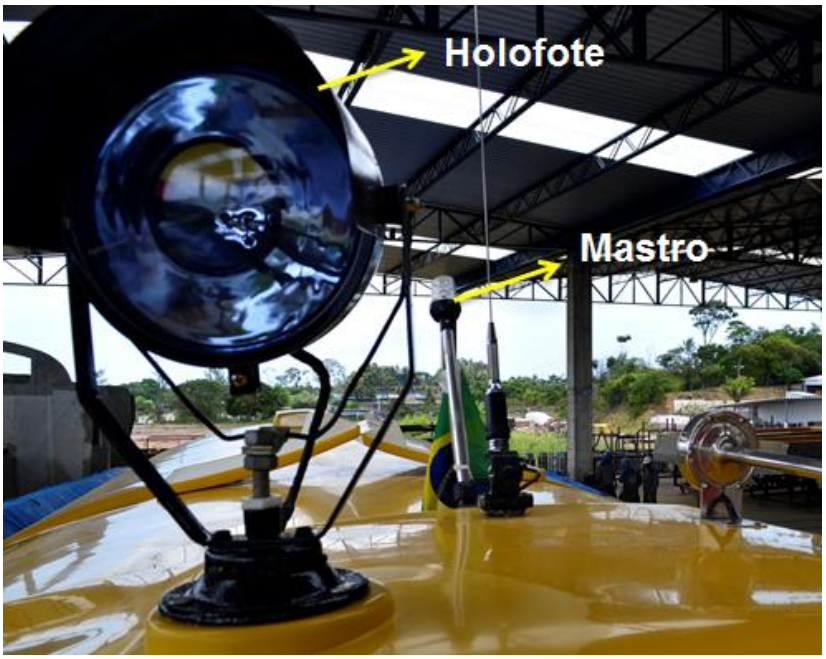


Figura 5. Montagem do holofote e do mastro com a luz de navegação.



Figura 6. Luz de navegação de bombordo.

3.4. Ferro (Âncora).

As lanchas apresentam um ferro de 10 (dez) quilogramas (kg) na lancha média e 15 (quinze) kg na lancha grande. A sua localização e o material para o posicionamento dos mesmos são junto com as amarras na parte Avante da Lancha para facilitar o seu manuseio pelo piloto.

3.5. Mobiliário e Sanitário.

A lancha média LE-M apresenta 10 (dez) bancos duplos e um banco simples, dispostos da seguinte forma: 6 (seis) duplos atrás do motor, 2 (dois) duplos nas laterais do motor, sendo um preferencial, 2 (dois) duplos na frente do motor, e um simples para o comando.

A lancha grande LE-G apresenta 16 (dezesseis) bancos duplos e 2 (dois) bancos simples dispostos da seguinte forma: 7 (sete) duplos atrás do motor, 2 (dois) duplos nas laterais do motor, 7 (sete) duplos sendo um preferencial na frente do motor, um simples na direita da embarcação e um no comando. A embarcação LE-G possui um sanitário constando de uma pia e um vaso devido a viagem ser mais longa.

Todos os mobiliários estão perfeitamente fixados, antes porém foram discutidas com os usuários para que todas as viagens sejam mais confortáveis e seguras. As figuras 7 e 8 apresentam o arranjo geral das lanchas escolares e a figura 9 mostra o equipamento sanitário da lancha escolar grande, enquanto que a tabela 3 resume a quantidade de bancos das lanchas.

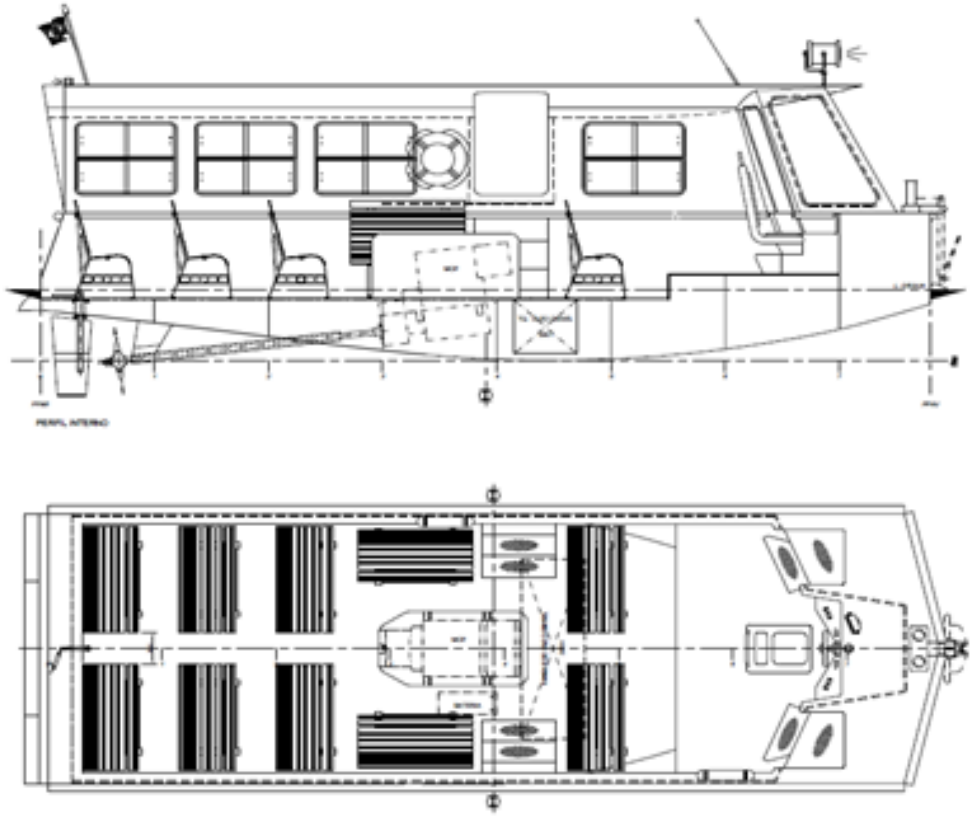


Figura 7. Lancha escolar média

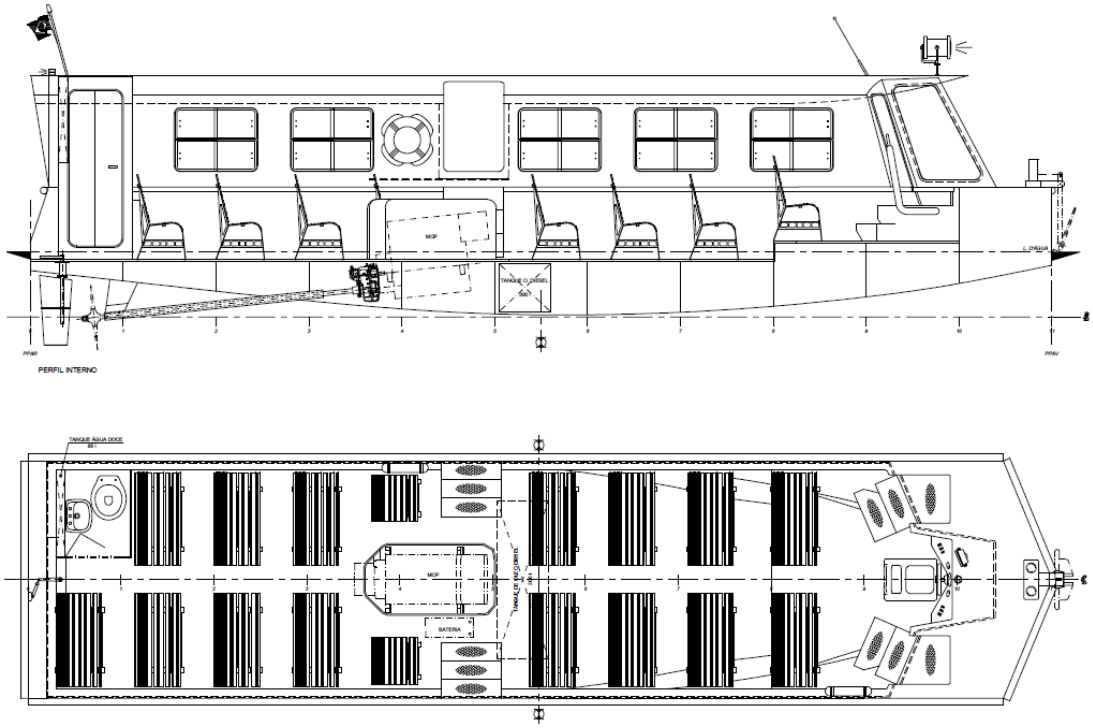


Figura 8. Lancha escolar grande.

Tabela 3. Quantidade de bancos disponíveis nas lanchas escolares.

Banco	LE-M	LE-G
Banco de 1,00m	09	16
Banco de 0,50m	02	01
Banco Condutor	01	01



Figura 9. Lavatório e vaso disponíveis apenas na lancha escolar grande.

As figuras 10 a 13 apresentam o interior de ambas as embarcações.

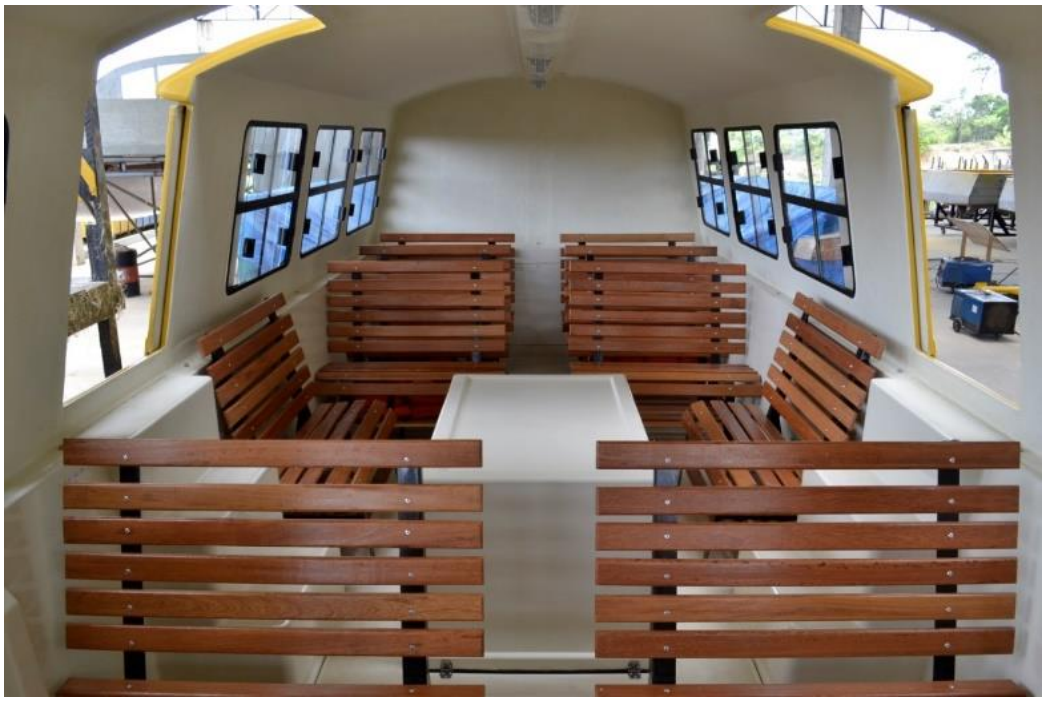


Figura 10. Aspecto interno da casaria com piso e bordos acoplados à cobertura e bancos já montados na lancha escolar média (vista de ré).



Figura 11. Aspecto interno da casaria com piso e bordos acoplados à cobertura e bancos já montados na lancha escolar média (vista de vante).

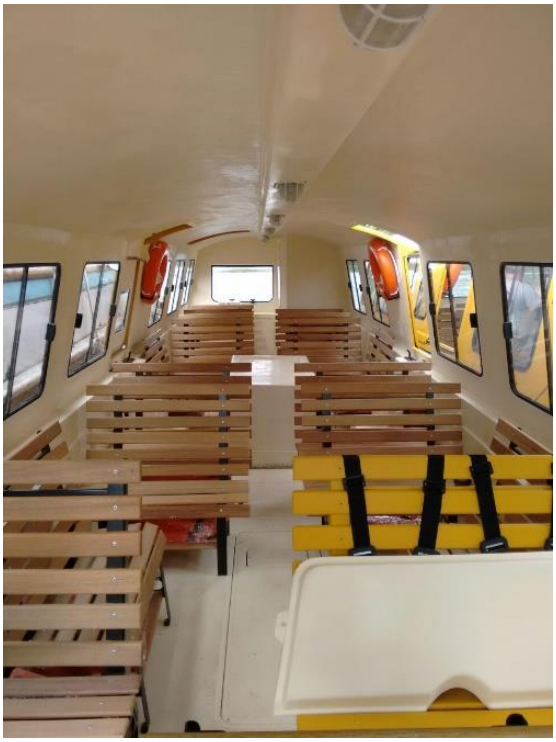


Figura 12 Aspecto interno da casaria com piso e bordos acoplados à cobertura e bancos já montados na lancha escolar grande (vista de ré).

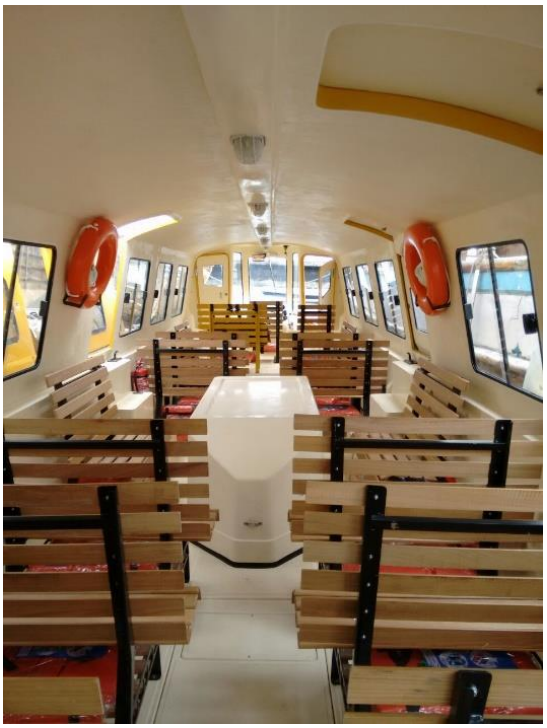


Figura 13 Aspecto interno da casaria com piso e bordos acoplados à cobertura e bancos já montados na lancha escolar grande (vista de ré).

3.6. Painel e Equipamentos de Navegação.

Ambas as embarcações apresentam os seguintes equipamentos de navegação e instalados no painel: um cronotacógrafo com GPS, um manômetro de pressão do óleo do motor, um manômetro de pressão do óleo do reversor, um termômetro de água do motor, um horímetro, uma chave de partida, painel com interruptor de luzes, um indicador de carga da bateria, um rádio VHF marítimo, uma chave do limpador de para-brisas, um interruptor para buzina, um interruptor de acionamento do holofote de busca, uma alavanca de comando do motor). Todos os equipamentos estão identificados no painel, como visto na figura 14.



Figura 14. Equipamentos do painel das lanchas escolares.

3.7. Energia Elétrica.

As embarcações possuem um alternador e pelo menos uma bateria tipo chumbo-ácido, conforme. As lanchas apresentam uma chave geral de distribuição de energia, posicionada ao lado do motor dando maior segurança ao sistema. A tabela 4 apresenta as capacidades mínimas, em amperes-hora, disponíveis nas lanchas escolares.

Tabela 4. Capacidade mínima das baterias das lanchas escolares.

Classificação	**Capacidade mínima (AH)**
LE-M	95
LE-G	110

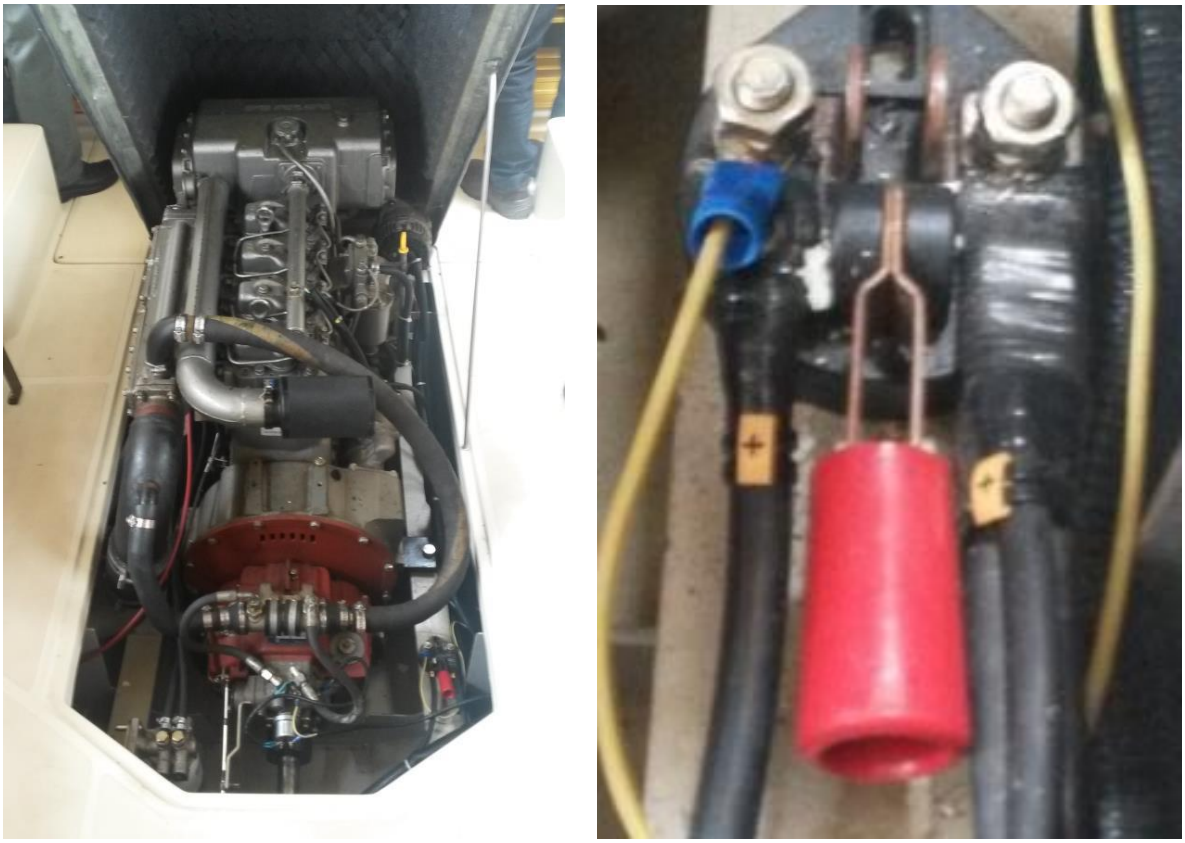


Figura 15. Posição da chave geral de distribuição de energia.

3.8. Motor e Reversor.

As embarcações possuem a caixa de proteção do motor com isolamento termo acústico, como o mostrado na figura 16.

A lancha média possui um motor de 4 (seis) cilindros da marca MWM, D229-6 de 74 hp, enquanto a lancha grande dispõe de um motor de 6 cilindros da marca MWM, D229-6 de 110

hp. Os motores de ambas as lanchas são identificados com marca, modelo e potência na placa de identificação localizada na lateral direita do motor (figura 17).



Figura 16. Enclausuramento termo-acústico do MCP.

A lancha média possui um motor de 4 (seis) cilindros da marca MWM, D229-6 de 74 hp, enquanto a lancha grande dispõe de um motor de 6 cilindros da marca MWM, D229-6 de 110 hp. Os motores de ambas as lanchas são identificados com marca, modelo e potência na placa de identificação localizada na lateral direita do motor (figura 17).

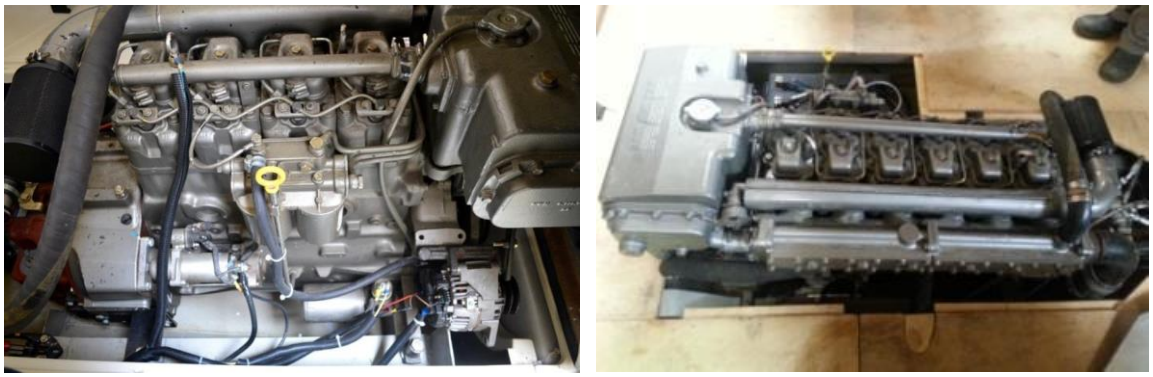


Figura 17 Motor principal da lancha escolar média (esquerda) e motor principal da lancha escolar grande (direita).

As embarcações também são dotadas de uma caixa redutora (modelo ZF–41 ou outro equivalente) acoplada ao motor.

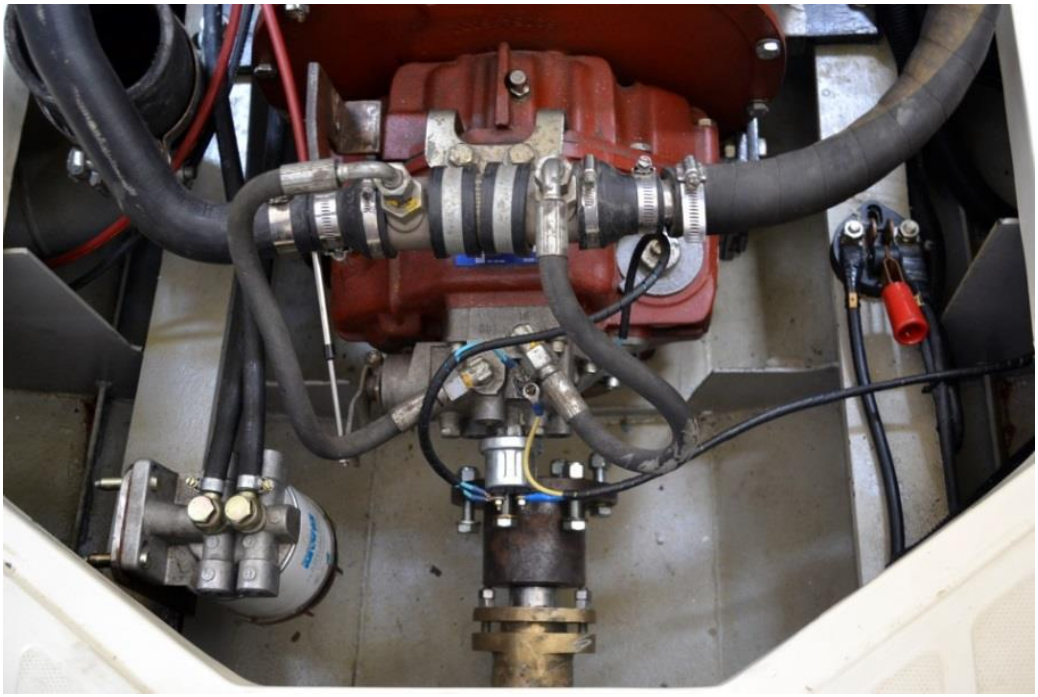


Figura 18. Reversor.

3.9. Segurança dos passageiros.

A LE–M apresenta 29 (vinte e nove) coletes salva-vidas classe III infantil e 3 (três) coletes salva-vidas classe III adulto embaixo dos assentos, 2 (duas) boias salva-vidas com retinida (corda de náilon para recolhimento da boia, um extintor de incêndio pó químico de 4 (quatro) kg.

A LE–G deverá apresentar 49 (quarenta e nove) coletes salva-vidas classe III infantil e 5 (cinco) coletes salva-vidas classe III adulto em baixo dos assentos, 2 (duas) boias salva-vidas com retinida (corda de náilon para recolhimento da boia), 2 (dois) extintores de incêndio (um de CO_2 de 6 (seis) kg e um de pó químico de 4 (quatro) kg).

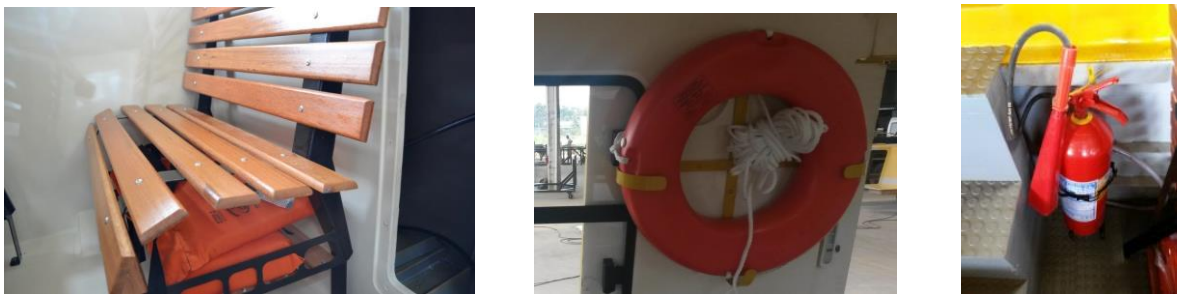


Figura 19 Banco, bóia salva-vidas e extintor de incêndio presentes nas lanchas escolares.

4. SISTEMAS E COMPONENTES – CONSTRUÇÃO.

4.1. Casco.

4.1.1. Estrutura do Casco.

As lanchas são construídas com chapas e perfilados de aço estrutural, na qualidade estrutural soldável, nas especificações ABNT NBR 6648, NBR 6649, NBR 6650, conforme aplicação.

A estrutura do casco é do tipo longitudinal, soldada eletricamente por processo MIG, de acordo com os padrões construção naval e adequada à qualidade de aço utilizado.

4.1.2. Linhas do Casco.

As formas das linhas do casco da embarcação serão do tipo “V” profundo a avante tendendo para U aberto a ré, com bolinas laterais em ambos os bordos, na região de meio-navio até bochechas de vante, para minimizar formação de ondas que interfere nas margens ou em embarcações nas vizinhanças.

4.1.3. Espessuras das chapas e perfilados de Aço.

As chapas e perfilados de aço a serem utilizados na construção do casco da embarcação devem ser em aço estrutural e ter respectivamente as espessuras mínimas de 3,18 mm para o chapeamento do casco, pisos, espelhos e trincanizes, e 4,76 mm para as peças de reforços estruturais longitudinais e transversais.

4.1.4. Tratamento e Pintura.

Todas as chapas e perfis têm as superfícies limpas e decapadas com jateamento abrasivo no padrão Metal-Quase-Branco, recebendo imediatamente após uma demão de tinta de fundo tipo "primer" de base epóxi bi-componente.

O esquema de pintura de acabamento do casco consiste de número de demãos necessários de tinta tipo epóxi bi-componente na cor “Amarelo Escolar”, número de demãos necessárias de tinta base epóxi bi-componente antiderrapantes no piso do convés principal a vante, exceto no interior do tanque de óleo combustível que deve permanecer sem pintura.

A ré e nas laterais exteriores, em ambos os bordos, do casco, são pintadas, em toda a sua extensão, uma faixa horizontal com as seguintes especificações: cor preta com 400 mm, com tolerância máxima de ± 10 mm, de largura, a meia altura, na qual deverá ser inscrita, em letras maiúsculas, o dístico "ESCOLAR", na tipologia Arial, com altura da letra de 280mm, com tolerância máxima de ± 10mm, na cor "Amarelo Escolar", pintado em sistema poliuretano bi-componente, e espessura da camada seca entre 50 e 60 µm, como é o padrão do Programa Caminho da Escola do FBNE.

Na parte frontal superior da casaria, é pintado o dístico "ESCOLAR", na tipologia Arial, com altura da letra de 280 mm ± 10 mm, na cor preta, pintada em sistema poliuretano bi componente, e espessura da camada seca entre 50 e 60µm.

4.2. Acessórios.

As embarcações são dotadas, no mínimo dos seguintes aparelhos e instalações:

Tabela 5. Acessórios disponíveis nas lanchas.

Acessório	**LE-M**	**LE-G**
Cabeço duplo de atracação a vante	01	01
Sistema de atracação a Ré	01	01
Verdugos de mangote de borracha de 3 polegadas de diâmetro, em linha contínua nos costados e espelho de vante	01	01
Âncora de 15 kg – (tolerância de ±5%)	-	01
Âncora de 10 kg (tolerância de ±5%)	01	-

4.3. Corredores de Circulação.

O corredor central de circulação deve ficar livre de obstáculos que afetem a segurança e integridade dos estudantes e sua largura mínima deve ser de 300 mm para garantir a mobilidade dentro da embarcação.

5. CONSUMO DE COMBUSTÍVEL.

Foi realizada uma verificação experimental do consumo de combustível das lanchas escolares, movidas à gasolina e a diesel, fornecidas pelo Programa Caminha da Escola do FNDE, em condições típicas de utilização. A metodologia utilizada seguiu as condições descritas

5.1. Procedimento metodológico para medição.

5.1.1. Carga Transportada.

Visando ter as condições de máxima de carregamento, foram colocados 20 (vinte) sacos de brita com cerca de 40 kg cada (ver figura 2 e 3) e como passageiros foram 4 pessoas adultas em cada lancha, incluindo o piloto, totalizando cerca de 1.100 kg de carga em cada embarcação.



Figura 20. Vista do carregamento da lancha a gasolina (LG).

5.2. Trajeto e Dados Operacionais das Lanchas no Teste.

A figura 21 apresenta o trajeto percorrido durante o teste e a tabela 1 apresenta as coordenadas geográficas dos pontos do trajeto, obtidas por GPS. A tabela 2 apresenta, para cada lancha (LG, lancha a gasolina, LD, lancha a diesel), a distância percorrida entre os trechos, velocidade média e máxima, informações obtidas por GPS, e o tempo do percurso medido via cronômetro.

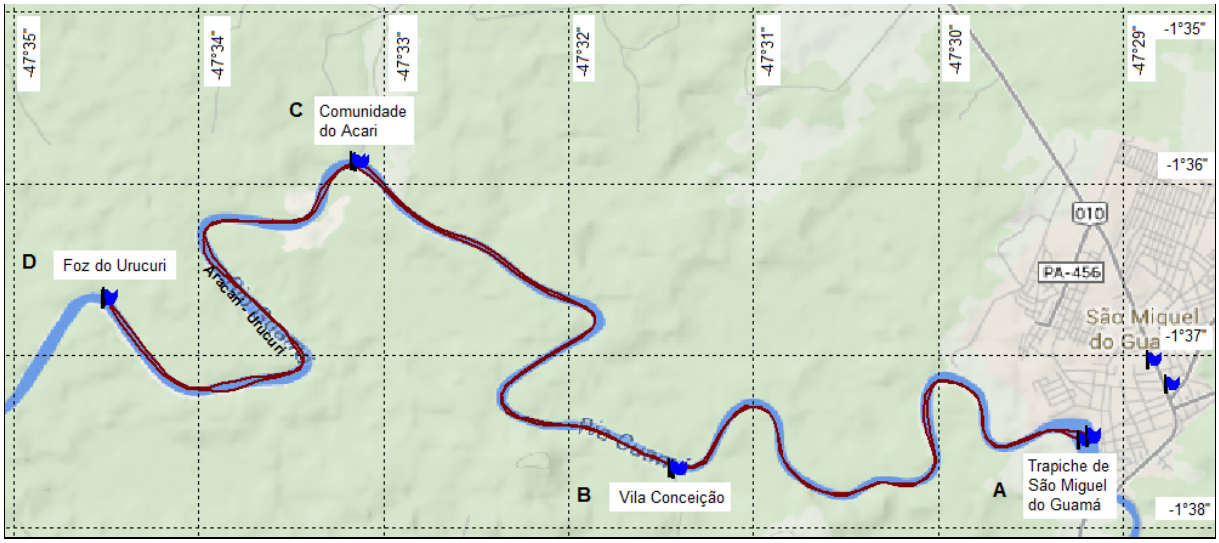


Figura 21. Trajeto percorrido no teste

Tabela 6. Localização dos pontos de referência dos trajetos,

Localidades	Localização		
	Ponto	Latitude	Longitude
Trapiche de São Miguel	A	01° 37' 28" S	47° 29' 09" W
Vila Conceição	B	01° 37' 39" S	47° 31' 25" W
Comunidade do Acari	C	01° 35' 53" S	47° 33' 07" W
Foz do Urucuri	D	01° 36' 40" S	47° 34' 28" W

Tabela 7. Dados operacionais das lanchas no teste.

Trecho	Distância Percorrida [km]		Velocidade Média [km/h]		Velocidade Máxima [km/h]		Tempo do Percurso [hh:mm:ss]	
	LG	LD	LG	LD	LG	LD	LG	LD
A para B	6,61	6,63	23,0	16,5	25,1	17,7	00:17:15	00:23:53
B para C	6,27	6,24	23,4	13,4	26,9	16,7	00:16:05	00:27:51
C para D	6,15	6,23	22,2	12,9	24,9	13,9	00:16:37	00:28:56
D para A	19,10	18,99	24,3	14,8	26,2	17,6	00:46:49	01:16:59

5.3. Medição de Consumo de Combustível.

O consumo de combustível das lanchas foi medido através de uso de tanques externos, onde o nível de combustível era anotado em cada ponto de referência no trajeto. As figuras 22 e 23 mostram a instalação destes tanques nas lanchas a gasolina e diesel, respectivamente. Os níveis de combustível nos tanques foram devidamente medidos através de um béquer calibrado com precisão de +/- 5 ml (ver figura 7). A tabela 3 apresenta o volume de combustível consumido nos trechos para as duas lanchas.



Figura 22 Tanque externo de combustível na lancha a gasolina.



Figura 23 Tanque externo de combustível na lancha a diesel.



Figura 24 Beque calibrado para medição do volume de combustível.

Tabela 8. Consumo de combustível das lanchas no teste.

Trecho	**Volume (litros)**		**Consumo (litros)**	
	LG	**LD**	**LG**	**LD**
Inicial	50,50	40,50		
A para B	43,75	35,00	6,75	5,50
B para C	36,00	29,30	7,75	5,70
C para D	28,25	25,00	7,75	4,30
D para A	6,00	12,60	22,25	12,40

5.4. Custo do Combustível.

O combustível foi adquirido em um posto na cidade de São Miguel de Guamá. A figura 8 mostra uma vista dos visores das bombas de combustível no posto no momento da compra, sendo o valor do litro de gasolina e diesel, de R$ 3,249 e R$ 2,609, respectivamente.



Figura 25. Preço do combustível em São Miguel do Guamá.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

A partir das informações apresentadas no item anterior, a tabela 9 apresenta o resultado de consumo e custo de combustível para as duas lanchas testadas. Observa-se que o consumo por quilômetro de combustível da LG é cerca de 50% maior do que a LD, porém o custo por quilômetro é próximo de 100%, na mesma relação. O consumo por hora das duas lanchas, dentro de suas especificidades, está dentro do esperado.

Com o objetivo de se avaliar o custo por trecho, a tabela 10 apresenta os custos unitário, diário, mensal e anual, para um trecho curto (6,6 km, 25 min de lancha diesel) e outro longo (19,1 km, 1:15 min de lancha diesel). Verifica-se uma economia anual de cerca de R$ 650,00 para um trecho curto e R$ 5.000,00 para um trecho longo, ao usar uma lancha a diesel no lugar de uma a gasolina.

Tabela 9 Consumo e custo de combustível das lanchas no teste.

Trecho	**Consumo [l/km]**		**Consumo [l/h]**		**Custo [R$/km]**		**Custo [R$/h]**	
	LG	**LD**	**LG**	**LD**	**LG**	**LD**	**LG**	**LD**
A para B	1,02	0,83	23,48	13,82	3,32	2,16	76,28	36,05
B para C	1,24	0,91	28,91	12,28	4,02	2,38	93,93	32,04
C para D	1,26	0,69	27,98	8,92	4,10	1,80	90,92	23,26
D para A	1,16	0,65	28,52	9,66	3,79	1,70	92,65	25,21
Média	**1,17**	**0,77**	**27,22**	**11,17**	**3,80**	**2,01**	**88,45**	**29,14**

Tabela 10. Custo anual de combustível das lanchas no teste.

Parâmetro	**Custo [R$]**			
	Trecho Curto		**Trecho Longo**	
	6,61	**km**	**19,10**	**km**
	LG	**LD**	**LG**	**LD**
Unitário	1,02	0,83	1,16	0,65
Diário	13,50	10,96	44,50	24,95
Mensal	283,50	230,20	934,50	523,93
Diferença Mensal	**53,30**		**410,57**	
Anual	3.402,00	2.762,39	11.214,00	6.287,13
Diferença Anual	**639,61**		**4.926,87**	

7. CONCLUSÃO.

Até o momento a equipe de desenvolvimento da Lancha Escolar atendeu a principal reivindicação dos usuários sobre o combustível e velocidade, no entanto ainda deveremos realizar uma pesquisa mais ampla quanto ao conforto e os anseios dos armadores. Como a próxima etapa será o aumento de velocidade para diminuir ainda mais o tempo de viagem, principalmente para as mais longas.

No que tange aos testes de consumo de combustível, foi verificado que a velocidade média da lancha a gasolina foi de 23,2 km/h e a da lancha a diesel de 14,4 km/h, com valores máximo de 25,8 km/h e 16,5 km/h, respectivamente.

Nos testes realizados, em condições de carregamento máximo, o consumo por quilômetro da lancha a gasolina é de cerca de 1,2 l/km e o da lancha a diesel é de aproximadamente 0,8 l/km. Em relação ao custo atual, tem-se 3,80 R$/km para a lancha a gasolina e 2,01 R$/km para a lancha diesel.

Verifica-se que o custo de combustível anual da lancha a gasolina em relação a diesel é significante somente para trechos longos (acima de 15 km).

8. AGRADECIMENTOS.

Os autores agradecem aos dirigentes que sempre incentivaram a realização das pesquisas e desenvolvimentos de programas essenciais a sociedades. Em especial a FNDE/MEC, FDESP/UFPa, o IPT e finalmente a USP pelo apoio para darmos o nosso quinhão para uma sociedade mais integrada ao progresso.

PROGRAMA INFORMÁTICO PARA EL DISEÑO Y ANÁLISIS DE BUQUES

Polimeno, Fernando[1]

[1]Universidad Tecnológica Nacional – facultad regional La Plata. Calle 4 N° 1606 La plata, Buenos Aires, Argentina. Cel: +54 2345 432205

Fernando_polimeno@hotmail.com

RESUMEN.

En la industria naval existe una gran variedad de programas informáticos que sirven como soporte para el proyecto de buques, pero no todos fueron concebidos para el diseño y análisis de los mismos. Para suplir esta deficiencia en el mercado he creado un programa cuya finalidad es pura y exclusivamente naval, capaz de ser utilizado de forma integral, como usar cada uno de sus módulos individualmente, característica que lo hace único, y útil en cualquier etapa del proyecto. Creado a mediados de 2011, en 2014 este proyecto ganó el premio innovar, quedando entre los más destacados entre todas las categorías. Los pilares fundamentales de este trabajo son la versatilidad, la simplicidad y la rapidez con la que se puede crear un proyecto, llevado a cabo por herramientas basadas en la derivación de formas, series sistemáticas de formas (serie 60) o Kracht. Con esto hallamos una tabla de puntos, la cual podemos modificar interactivamente mediante una interfaz que nos proporciona las vistas de planta, perfil, frente (secciones) y en tres dimensiones, pudiendo conocer sus propiedades hidrostáticas, curva de áreas, y otras. Una virtud a destacar de este programa es la del cálculo de resistencia al avance, ya que cuenta con la opción de diversos métodos (Holtrop y Mennen, Guldhammer y Harvald, Schlichting), pudiéndolos utilizar de manera integrada a las líneas y formas creadas o de forma puntual para proyectos en los cuales no tenemos las líneas. Otra capacidad es la de complementar el diseño del casco con elementos de construcción naval, utilizando reglas de las sociedades de clasificación y mecanismos gráficos que simplifican y agilizan los cálculos que pertenecen a la estructura del casco. Muchos de los cálculos son contrastados y verificados bajo la normativa nacional (prefectura naval argentina). Además es posible dibujar el Escantillonado calculado mediante un entorno visual muy simple y herramientas prácticas. Estas son algunas de las

características que hacen de este un software único e indispensable para cualquier usuario que requiera de estas tecnologías.

1. INTRODUCCION.

La escasa oferta de programas dedicados exclusivamente al diseño naval, sus altos costos y sus complejas formas de operarlos hacen que estos softwares sean inaccesibles para gran parte de la industria y para el total de los estudiantes. Además, los programas que se podrían considerarse más accesibles económicamente no tienen versiones en español. Estas desventajas separan al pequeño emprendedor de las nuevas tecnologías, dejándolo desprovisto de una herramienta fundamental. Por estos motivos inicié este emprendimiento que intenta emular ciertas características de dichos programas integrando novedosas aplicaciones que proporcionan un amplio espectro de trabajo, de simple ejecución y con carácter innovador.

2. COMO SE HIZO.

El lenguaje de programación utilizado es Visual Basic 2010 Express. Este permite a los desarrolladores crear aplicaciones, sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET. Así se pueden crear aplicaciones que se intercomuniquen entre estaciones de trabajo, páginas web y dispositivos móviles. Cabe destacar que estas ediciones son iguales al entorno de desarrollo comercial de Visual Studio Professional pero sin características avanzadas. Pero la ventaja principal es que su licencia es gratuita.

3. ESTIMACION DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES.

Hay distintas maneras de iniciar un proyecto, y el programa proporciona un soporte para encarar por distintos caminos el desarrollo de la primera etapa.

Conociendo en primera instancia la eslora, la manga, el calado y otros datos (según los datos que tengamos va a ser el camino que elijamos) podremos hallar una gama de características principales de nuestro buque (cb, cp, cm, cf, francobordo, LCB, Xb, Kb, Bm, Superficie de área mojada, B/L, D/B, etc), las cuales nos van a servir para continuar en el proceso de diseño.

Esta herramienta de trabajo puede utilizarse tanto individualmente, como con todo el conjunto de aplicaciones de forma integrada. Esto nos permite desestimarla si ya partimos con los datos.

El programa tiene tres formas de hallar las dimensiones principales**:**

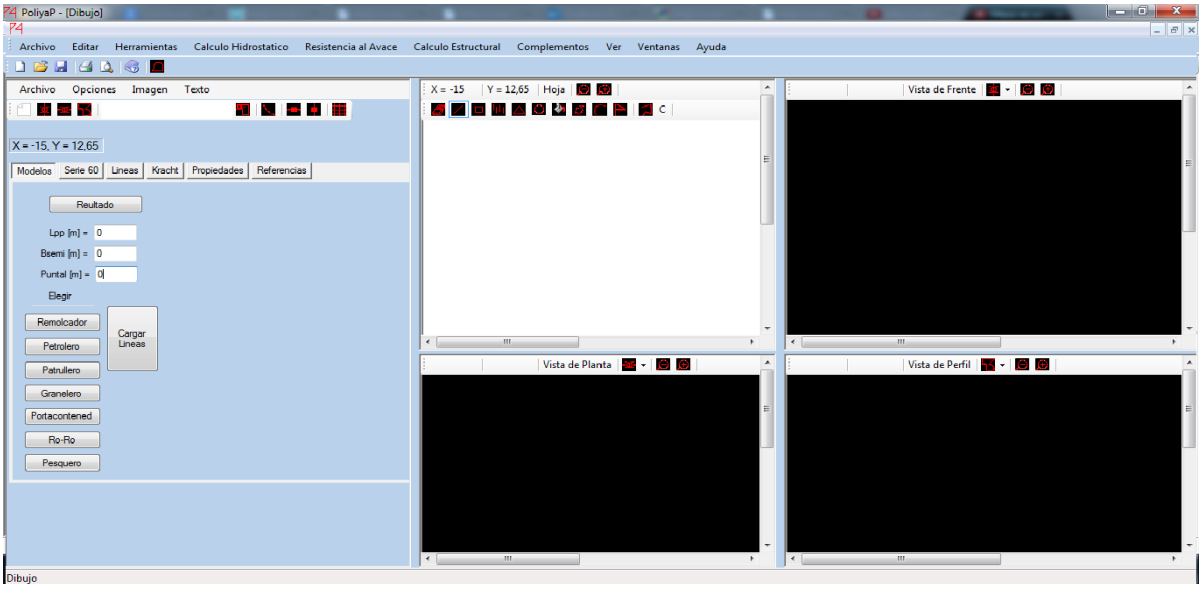
1. Por medio de los coeficientes de formas
2. Mediante el volumen de carena y las áreas principales
3. Estima las dimensiones principales utilizando como datos la velocidad y el tipo de buque.

4. CREACION DE PROYECTO.

Esta es la herramienta más potente del programa ya que puede crear desde cero las líneas de un buque implementando distintos métodos. Estos generan una tabla de puntos, que puede ser modificada numéricamente punto por punto, como también interactivamente mediante los modelos gráficos.

La creación de proyecto puede dividirse en:

1. Derivación de formas: herramienta que por transformaciones paramétricas es capaz de generar las líneas de un buque.
Eligiendo el tipo de buque sumado a ciertas dimensiones principales como la eslora, la manga y el puntal, podemos hallar las líneas de nuestro buque.
Serie 60: es una continuacion de la Serie 57 desarrollada a comienzos de la decada del 50 y presentada ante el SNAME en 1951. Dos años después se presentó este trabajo con mejoras en la forma de la carena dado que los resultados de la resistencia al avance de la primitiva no fueron del todo satisfactorios. Esto condujo a una cuidadosa revisión de las carenas estudiadas comparándola con buques que tuvieron comportamiento satisfactorio y algunos diseños posteriores arrojaron como resultado un cambio en las lineas, se agregó además un estimulador de turbulencia. En la actualidad sigue dando buenos resultados, solo hay que tener en cuenta que las popas responden al tipo “crucero” y en la actualidad se utiliza el “espejo”.



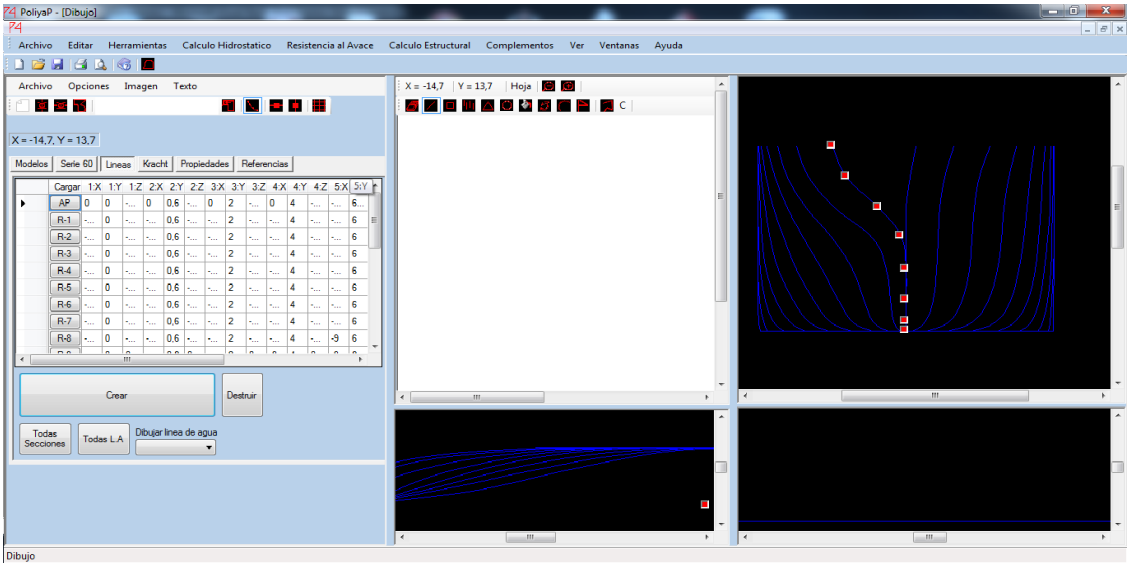
Podemos dibujar las líneas según Serie 60 en cuestión de segundos; solo es necesario ingresar la eslora, la semi manga, el calado, el coeficiente de block y la posición longitudinal del centro de carena, y el programa no solo calcula el Cpe y el Cpr, sino también la totalidad de las líneas. Estos cálculos se ven plasmados en una tabla de puntos, y presionando un botón podremos dibujarlas bidimensionalmente en tres vistas.

2. Kracht: él explica en su trabajo cómo es la hidrodinamica del bulbo y su influencia en la resistencia. Divide a la resistencia total en friccional, formacion de olas y por ruptura de olas. Está claro que el comportamiento de un bulbo es totalmente diferente según los Cb y velocidades, y que su funcionamiento se basa en la creación de un sistema de olas que interfiera la ola de proa provocando su reducción; y de esa manera se minimiza la cantidad de energía que se entrega al agua, maximizándo su uso en la propulsión. Dependiendo de la diferencia de fases y amplitudes se consigue lo deseado. Los estudios demuestran que la posicion del bulbo trabaja sobre las fases y su volumen sobre las amplitudes.

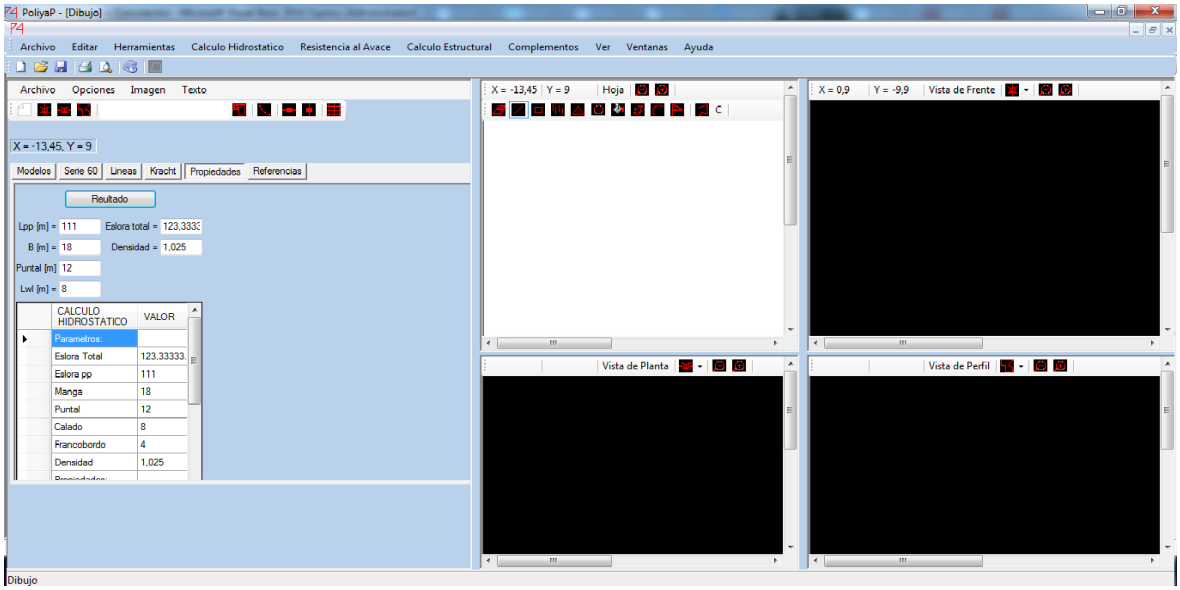
Mediante este método podemos conocer con tan solo algunas características de nuestro buque las dimensiones del bulbo que queremos hallar. Esto es de gran utilidad puesto que serie 60 no calcula a la proa con el bulbo

3. Tabla de puntos: Podemos ver lo calculado mediante derivación de formas o serie 60 en la ventana “Líneas”, que es una tabla de puntos. En esta se pueden modificar los puntos, y es posible verificarlos visualmente en las vistas de proyecto.

La manera de trabajar con la tabla es variada. Podemos crear la superficie del casco, teniendo las vistas de frente, planta y perfil; o podemos dibujarlas todas juntas o de a una en la ventana "Hoja" que es un editor donde se pueden modificar las líneas hechas cambiándolas de color, dándole una escala, poniéndole un rotulo, etc.



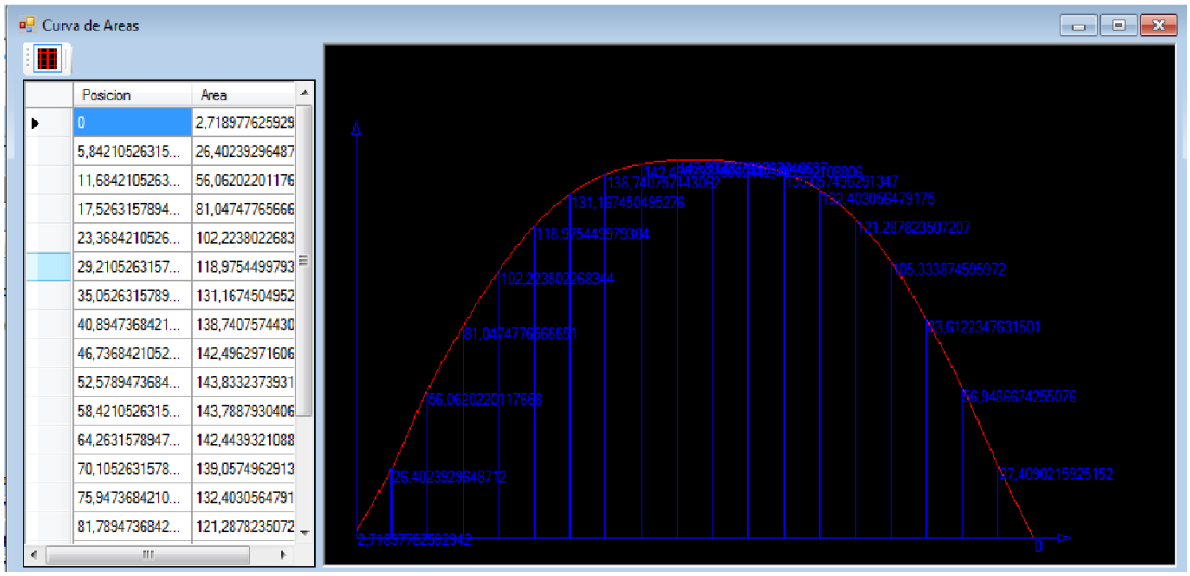
4. Propiedades: Con esta opción podemos hallar las propiedades hidrostáticas del diseño, obteniendo al instante los resultados numéricos de nuestras modificaciones.



5. Curva de áreas: esta es una herramienta importante y muy fácil de utilizar, puesto que con un solo clic podemos conocer la curva de áreas de nuestro proyecto.

La parte visual es muy simple, teniendo dos opciones: una solo con los ejes y la curva, y otra con estas dos sumado a barras verticales que representan las áreas (líneas azules) con sus respectivos valores en los extremos.

El icono que abre esta ventana se habilita cuando damos comienzo a la creación del proyecto, de otro modo el acceso permanecerá desactivado.



6. Interface: es muy dinámica y con muchas opciones para personalizar nuestra manera de trabajar.

Se divide en tres partes que cumplen actividades complementarias:

a- **Panel de control:** aquí es donde pueden crearse las líneas de un buque, modificarlas, agregarle un bulbo y conocer sus propiedades.

Pero también desde este panel se controla el resto de las ventanas.

Principales herramientas:

-  "barra de comandos": en este espacio es posible escribir el comando que queramos activar. Podemos utilizarla para dibujar en la "Hoja" de dibujo. Para esto escribimos en la barra el nombre del comando sumado a sus coordenadas.

Ejemplo: para dibujar una línea escribimos con la siguiente estructura.

Linea, X_{inicio}, Y_{inicio}, X_{final}, Y_{final}

Luego al presionar enter, o al hacer clic en la figura que representa la tecla enter y se encuentra al costado derecho de la barra, veremos cómo se genera la figura que introdujimos.

- "Hoja": al presionar sobre este icono ampliamos la hoja de dibujo al máximo, ubicándola por sobre las ventanas del proyecto (hojas negras). Si presionamos nuevamente la hoja regresa a sus dimensiones normales y reaparecen las ventanas de proyecto.

-  "Vista de Frente": al activarlo deja como única ventana a la vista de frente (donde se encuentran las secciones del buque). Al desactivarlo regresa a sus dimensiones normales.

-  "Vista de Planta": al activarlo deja como única ventana a la vista de planta (donde se encuentran las líneas de agua del buque). Al desactivarlo regresa a sus dimensiones normales.

-  "Vista de Perfil": al activarlo deja como única ventana a la vista de perfil. Al desactivarlo regresa a sus dimensiones normales.

-  "Red": al activarlo se puede ver las redes de puntos que describen las líneas en las distintas ventanas del proyecto. En la vista de frente la red de puntos es sobre cada sección, mientras que en la vista de planta los puntos son los que generan las líneas de agua. Cuando lo desactivamos la red de puntos desaparece, dejando solo las líneas.

-  "Orto X": al activarlo, los puntos de la "Red" solo se pueden desplazar horizontalmente. Cuando lo desactivamos los puntos vuelven a poder moverse libremente.

-  "Orto Y": al activarlo, los puntos de la "Red" solo se pueden desplazar Verticalmente. Cuando lo desactivamos los puntos vuelven a poder moverse libremente.

-  "Guías": al activarlo, el programa genera unas líneas horizontales en la vista de frente y la vista de perfil, y unas líneas verticales en la vista de planta, las cuales representan en las primeras vistas las líneas de agua, mientras que en la vista de planta representan las secciones.

b- **Hoja de Dibujo:** en esta ventana es posible editar las líneas creadas para realizar una presentación. Una de sus particularidades es la de poder hacer un rotulo con tal solo un clic, ya que el programa viene cargado con formas predeterminadas.

Principales herramientas:

-  y  "Lupa": estos iconos nos permite acercar o alejar la vista al dibujo que estemos haciendo.

-  "Goma": una vez activado este icono podemos borrar cualquier dibujo desplazando el clic mantenido.

-  "Lápiz": podemos dibujar libremente al hacer clic y mantenerlo apretado.

-  "rectángulo": al hacer clic indicamos el inicio del rectángulo, al soltar marcamos el final.

_  "Pintura": haciendo clic pintamos cualquier superficie cerrada.

_  "Polilínea": con el botón izquierdo del mouse marcamos inicio y los vértices de la polilínea, y con el botón derecho el final.



c- **Vistas del Proyecto:** son tres ventanas (las ventanas negras) que sirven para ver y/o modificar el proyecto. En estas es posible cambiar las dimensiones del buque, viéndose

afectada la tabla de puntos, la cual cambia conforme van cambiando las coordenadas de los puntos.

5. RESISTENCIA AL AVANCE.

Cuando se está comenzando un proyecto y se está estudiando las características generales del buque, uno de los factores importantes es la planta propulsora. Para determinar cuál es el motor a utilizar hace falta conocer la potencia requerida. Como la realización de ensayos de modelos es muy cara y en esta etapa no hay contrato firmado, es información fundamental a incorporar a las especificaciones técnicas que forman parte del mismo. Hay que fundarse en alguna base de datos, la mejor sin dudas, es tener un buque similar al cual se le introducen cambios en las dimensiones principales. Como obviamente es muy difícil, sobre todo para diseñadores con pocos recursos, hay que buscar en las publicaciones de los distintos canales de experiencias.

Esta sección del programa nos ofrece un abanico de métodos que nos sirven para obtener la resistencia al avance para distintos tipos de buques en distintas condiciones.

1. Método del Almirantazgo:

Con el advenimiento de la planta a vapor se comenzaron a usar algunas formulas empíricas para estimar la potencia necesaria para la propulsión. Una de estas formulas es la del almirantazgo, que dice que la potencia necesaria está dada por: $P = \Delta^{2/3} \cdot V^3/C$

La constante C depende del tipo de buque.

2. Método de Holtrop y Mennen:

Es un método empírico/estadístico/matemático. Se basa en encontrar las ecuaciones matemáticas basadas en RT medida en prueba de modelo. Los límites se establecen por medio de:

El numero de Froude: $0 < Fn < 0,85$

El coeficiente prismático: $0,55 < Cp < 0,85$

La relación eslora-manga: $3,9 < L/B < 9,5$

Como el método es matemático se utiliza la resistencia viscosa (Rv), es decir que la resistencia de forma se incluye en Rf (cuando son métodos basados en ensayos de modelos la resistencia de forma se incluyen en Rr). La resistencia viscosa es función

de Rn (numero de Reynold) y de las formas del buque y se toma en coeficiente friccional como: $Cf = 0{,}075/(\log Rn - 2)^2$

La resistencia por apéndices se incorpora a la resistencia como una superficie más que afecta la Rf.

Holtrop ensayó distintos apéndices en carenas, traduciendo su resistencia en "longitudes verticales de cada tipo de apéndices", es decir, cuando la longitud vertical del apéndice iguala la eslora del buque la contribución del apéndice a la resistencia es solo como si formara parte de la superficie mojada.

Mayor es la incidencia del apéndice en la resistencia de forma cuando este es más corto.

Este método también permite calcular los DHP (Potencia entregada a la hélice, lo que requiere tener conocimiento de algunos factores que hacen a la relación entre la hélice y el casco.

3. Método de Guldhammer y Harvald:

Es un método empírico-estadístico realizado por estudiantes dinamarqueses.

Tiene las siguientes limitaciones:

El número de Froude: $0{,}15 < Fn < 0{,}55$

El coeficiente prismático: $0{,}4 < Cp < 0{,}8$

$$0 < L/V^{1/3} < 0{,}85$$

$$-3 < Lcb < 3$$

Aplicaron el criterio de los coeficientes: $Ct = Cf + Cr + Ca$

El Cf está basado en la ITTC, el Cr esta en forma de grafico donde se entra con $Fn = V/(g.L)^{1/2}$; con Cr 10^3 ; y con $L/\Delta^{1/2} = 4$; obteniendo Cpp

Se deben hacer las siguientes correcciones:

Por relación $B/H \neq 2{,}5$

Corrección por posición longitudinal del centro de carena distinto al estándar (a proa o popa según Fn)

Por forma de popa y proa

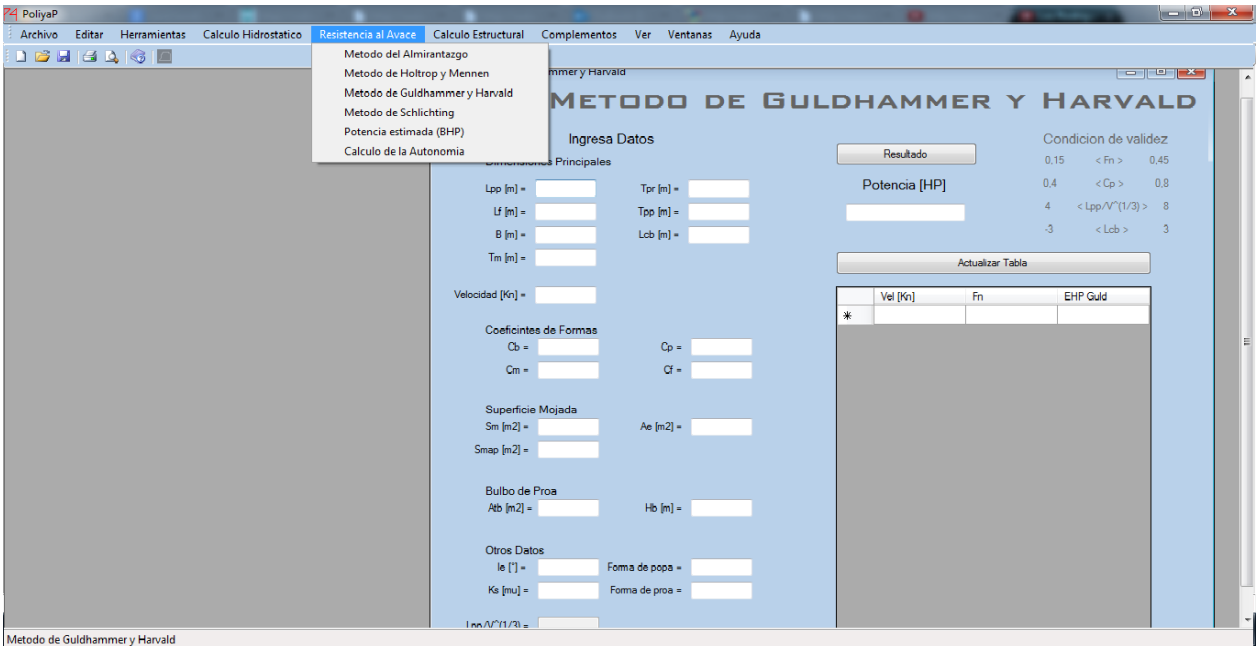
Por bulbo (grafico con Fn)

Por apéndice (timones, quillas de rolido, bocinas)

Por rugosidad del casco: en lugar de aplicar $Ca = 0{,}004$ aplica una corrección a Ca por L que puede llegar a ser hasta favorable para buques de $L > 200$ m

De la RF por apéndices, se le hace al Cf (ITTC)

El programa selecciona automáticamente los gráficos y los analiza extrayendo los resultados.



4. Método de Schlichting:

Este método nace en 1935 y se emplea para el cálculo de la resistencia al avance de un buque fluvial en aguas restringidas.

El método parte de la resistencia al avance en aguas profundas, que se puede usar una vez utilizado Holtrop. Este método consiste en buscar a qué velocidad en aguas restringidas, el buque encuentra una resistencia igual que en aguas profundas. Schlichting confecciono un grafico de doble entrada donde obtenemos como resultado ΔV como porcentaje de V que se debe restar a la V correspondiente para obtener la velocidad a la cual el buque encuentra en aguas profundas restringidas igual a la que encontraría en aguas profundas a la velocidad V. Después se entra por el mismo valor y se corta Rf, restando al Rf de aguas profundas se obtiene el de aguas restringidas. Obteniendo la corrección de los valores.

Al igual que con el método de Guldhammer y Harvald el programa extrae los resultados automáticamente de su tabla. Esto reduce los tiempos considerablemente, permitiéndolo hacer reiteradamente para verificar o al realizar modificaciones en el proyecto.

5. Potencia estimada:

Con tan solo seleccionar el método con el que hayamos calculado la resistencia al avance podemos estimar los EHP (efective horse power) y BHP (brake horse power).

6. Calculo de la Autonomía:

Para el calculo de la cantidad de combustible se parte de la autonomia solicitada y la velocidad, con ello se obtiene la cantidad de horas navegadas, en funcion de la potencia del motor principal se tiene el consumo por hora, en caso de no contar con un catalogo del motor el programa lo estima según el tipo de motor (2 o 4 tiempos).

6. CALCULO ESTRUCTURAL.

1. Estimación de Peso y KG:

Para la estimacion de pesos hay tantos metodos como proyectistas, muy poco publicado, y de lo publicado de buques actuales no se registran datos.

Para esto dividimos el peso del buque es tres.

Para la estimacion del peso de acero el de aplicación más universal es el de Watson y Gilfillan, y esta basado en el viejo calculo del numeral de equipo para anclas, cadenas y equipo de amarre del Lloyd's. Posteriormente ese metodo fue reemplazado por otro que es el mismo para todas las sociedades de clasificacion que son miembros del IACS, aunque no resulto de utilidad para la estimacion del peso de acero con lo cual quedo el viejo sin modificacion.

El peso de acero asi determinado es para un coeficiente de block estandar de 0,7 al 80% del puntal, si es distinto se ajustarse mediante una formula.

El paso siguiente es la estimacion del peso de maquinas; esto puede hacerse por dos caminos, conociendo la potencia de los motores, se busca en algun catalogo cual es el más proximo, y si no se dispone de catalogo hay una expresion que lo hace automaticamente según el tipo de buque.

Para la estimacion del peso del alistamiento Watson creó una tabla con valores de distintos tipos de buques, la cual puede usarse en una primera etapa.

2. Cálculo del Escantillonado:

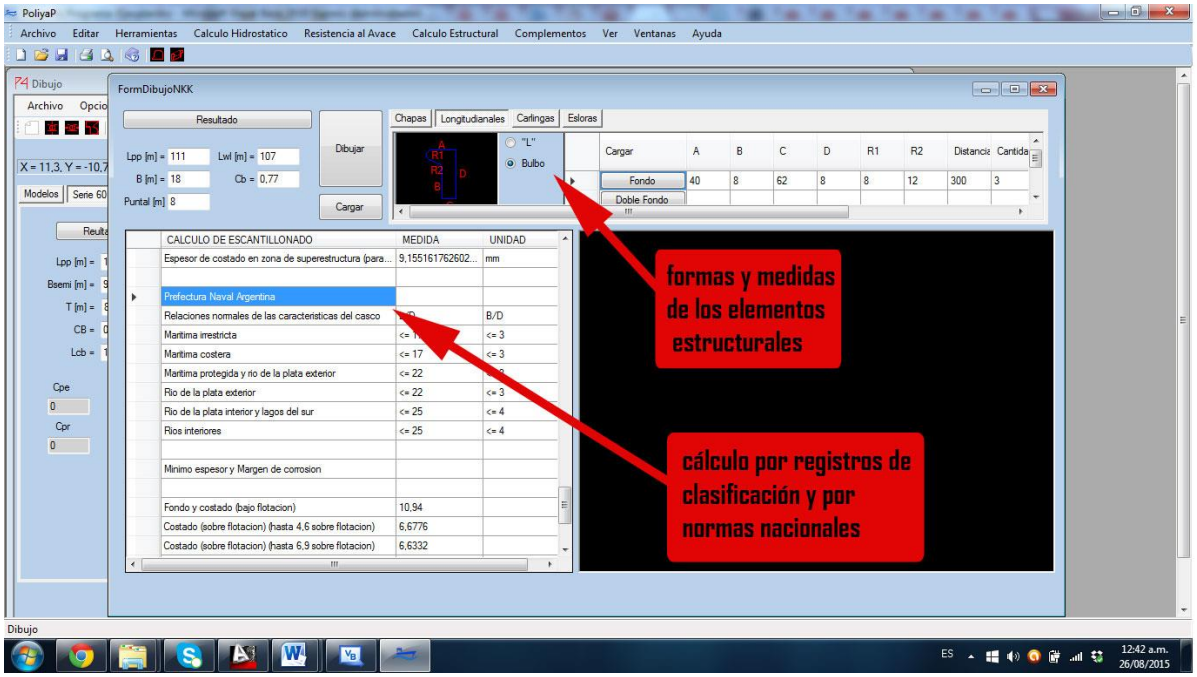
Este cálculo se hace mediante las reglas del registro de clasificación NKK, pero solo están cargadas en el programa las reglas de construcción para barcazas de acero.

Además, los datos obtenidos son complementados con los cálculos estructurales mediante normas nacionales (en nuestro caso prefectura naval argentina)

3. Dibujo del Escantillonado:

Es posible hacer el dibujo del Escantillonado de una manera muy simple.

Para esto, primero se hace el cálculo del Escantillonado, luego se cargan los datos, se seleccionan los tipos de elementos estructurales, la forma de la sección media y el programa lo dibuja automáticamente



MODELO ESTATÍSTICO PARA O PROJETO DE EMBARCAÇÕES MILITARES

Ribas de Amaral, Janaina[1]; Souza, Hendrick[2]; Pontin Tancredi, Thiago[3]

[1]Universidade Federal de Santa Catarina. janainaribasdeamaral@gmail.com

[2]Universidade Federal de Santa Catarina. hendrick.hds@hotmail.com

[3]Universidade Federal de Santa Catarina. thiago.tancredi@ufsc.br

RESUMO.

O projeto de embarcações militares apresenta um grau de dificuldade superior ao projeto de embarcações mercantes e um dos motivos se deve à dificuldade em se obter informações relevantes de embarcações semelhantes ou modelos empíricos que possam auxiliar nas estimativas iniciais do projeto. portanto, este artigo visa levantar informações que possam atuar como uma ferramenta no projeto conceitual/preliminar de uma embarcação militar por meio da análise de amostras de fragatas, porta-aviões, corvetas e navios-patrulha construídos em diferentes períodos. para tal, parâmetros das embarcações como as relações l/b e b/t, velocidade máxima, potência instalada, número de froude, coeficiente de bloco e coeficiente almirantado serão avaliados estatisticamente para identificar tendências com relação ao tipo de embarcação ou ainda variações dessas características ao longo do tempo. além disso, será avaliado se métodos empíricos desenvolvidos para o cálculo do coeficiente de bloco de embarcações mercantes podem ser aplicados às embarcações militares. as tendências apresentadas neste trabalho representam uma importante ferramenta para direcionar novos projetos para soluções mais eficientes, reduzindo o tempo de trabalho e aumentando as chances de se obter projetos otimizados.

Palavras-chaves: embarcações militares, dimensões principais, modelos empíricos, coeficiente de almirantado, tendências, projeto.

1. INTRODUÇÃO.

Tradicionalmente o projeto de embarcações é realizado de forma iterativa, sendo fortemente influenciado pela experiência de arquitetos e projetistas; além de utilizar dados de embarcações semelhantes e métodos empíricos.

Em se tratando do projeto de embarcações militares, espera-se um grau de dificuldade superior ao das embarcações mercantes devido ao maior nível de tecnologia e inovação. Além de requisitos operacionais mais severos, existe ainda a dificuldade em encontrar informações relevantes de embarcações semelhantes e modelos empíricos específicos para esse tipo de embarcações.

Segundo Beck (1999), o custo de alterações de um projeto aumenta exponencialmente ao longo de cada fase do projeto. Por essa razão, a determinação de estimativas coerentes para as características e atributos de um navio ainda nas fases do projeto conceitual e/ou preliminar são fundamentais para a obtenção de soluções mais eficientes de projeto.

Neste contexto, o presente trabalho visa mitigar essa lacuna existente de informações e modelos empíricos específicos para as fases iniciais do projeto de embarcações militares.

Como forma de auxiliar o projetista e reduzir o retrabalho, e por consequência reduzir tempo e custo, levantaram-se dados de embarcações militares dos tipos: corveta, fragata, patrulha e porta-aviões com diferentes épocas de fabricação buscando-se modelos e tendências com relação às características de cada tipo de embarcação.

As principais características estudadas foram: as razões L/B e B/T, a velocidade máxima, potência instalada, número de Froude, coeficiente de bloco e coeficiente almirantado. Com base nos dados coletados, verificou-se, para cada classe de embarcação estudada, a adequação dos modelos empíricos existentes para a estimativa preliminar do coeficiente de bloco, além de serem realizadas comparações com os dados de embarcações convencionais.

Por fim, com base nas análises realizadas, estabelece-se recomendações para projetos preliminares otimizados de embarcações militares, coerentes com as atuais tendências de projetos destas embarcações.

2. EMBARCAÇÕES MILITARES.

Embarcações militares são embarcações utilizadas por forças armadas e caracterizam-se por possuir cascos resistentes, motores de alta potência e alta tecnologia embarcada.

Para o desenvolvimento deste artigo foram selecionados quatro tipos de embarcações militares, estas são apresentadas a seguir:

- Fragatas: são navios de 1.500 a 5.000 toneladas de deslocamento, comprimento entre 75 e 150 metros e são por natureza escoltas oceânicas (Portal da Marinha, 2015).
- Corvetas: Navios de menor capacidade de armamento e deslocamento do que as fragatas. Desempenha, principalmente, missões no âmbito da segurança e autoridade do Estado no mar (Portal da Marinha, 2015).
- Porta-aviões: são navios que apresentam uma área livre em seu convés para pouso e decolagem de aviões, em geral são escoltados por fragatas e corvetas (Portal da Marinha, 2015).
- Navio-patrulha: Navio de pequeno a médio deslocamento (200 a 400 toneladas), com comprimento inferior a 45 metros, que é utilizado em missões de vigilância, patrulha e defesa na zona costeira (Portal da Marinha, 2015).

3. OBJETIVOS.

O objetivo deste artigo é levantar informações que possam atuar como uma ferramenta no projeto conceitual/preliminar de uma embarcação militar. Tal levantamento será realizado por meio da análise de amostras de fragatas, porta-aviões, corvetas e navios-patrulha construídos em diferentes períodos e em diferentes países para que se possam avaliar as características destas embarcações e a evolução das mesmas no tempo, comparando-as com embarcações mercantes.

Além disso, pretende-se utilizar uma análise estatística para avaliar se métodos empíricos desenvolvidos para o cálculo do coeficiente de bloco de embarcações mercantes podem ser aplicados às embarcações militares.

Fundamentação teórica.

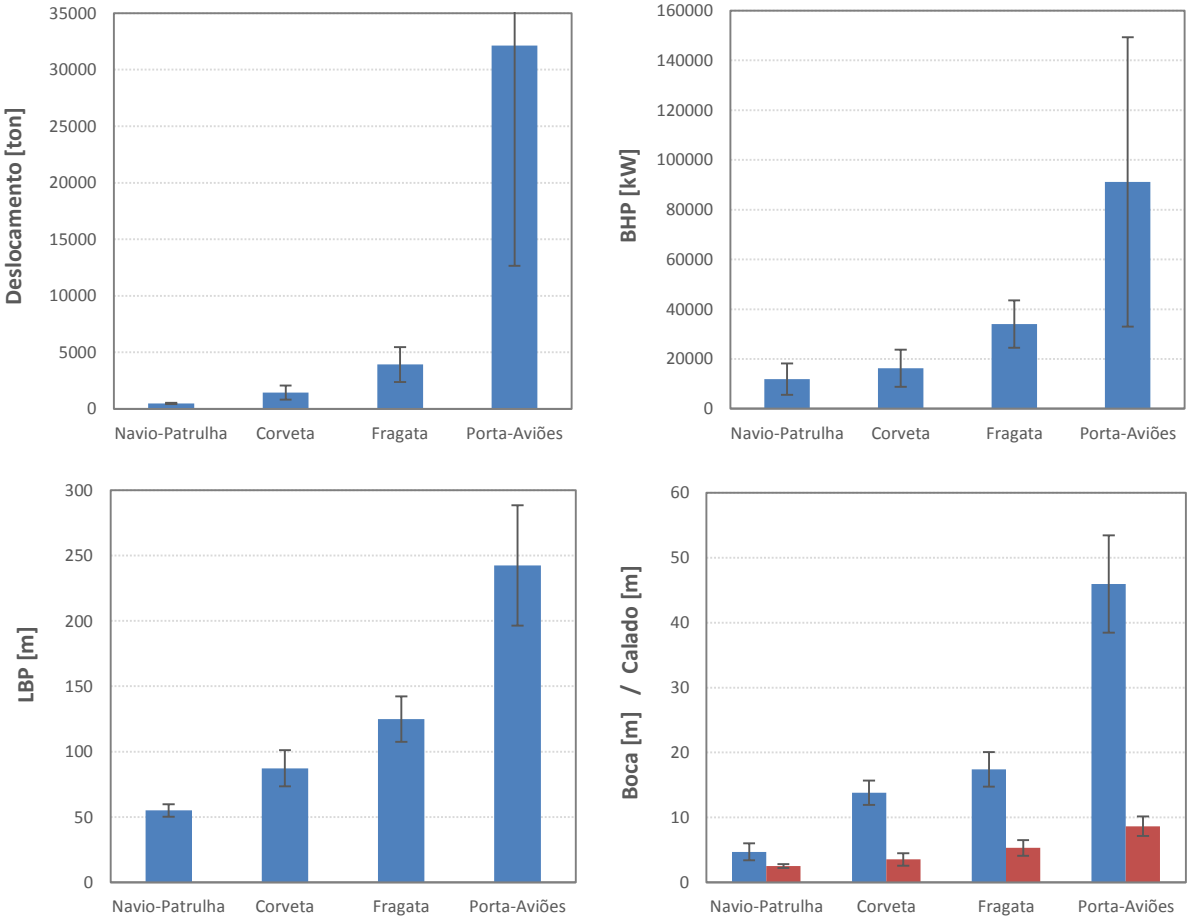
A partir do levantamento de embarcações dos tipos corveta, porta-aviões, navio-patrulha e fragata utilizando sites de pesquisa, artigos e a revista Jane's Fighting Ships (1994), os dados foram convenientemente tabelados com o auxílio do programa Excel.

Para que os dados de uma embarcação fossem considerados no estudo, era necessário que se conhecessem os seguintes parâmetros: nome, ano de fabricação, velocidade, potência instalada, comprimento entre perpendiculares, boca, calado e deslocamento. Uma análise estatística dos dados coletados é apresentada na Tabela 1, enquanto na Figura 1 é apresentada uma comparação dos tipos de embarcações estudados.

Tabela 1 – Análise estatística dos dados coletados

		Navio-Patrulha	Corveta	Fragata	Porta-Aviões
Tamanho da Amostra		46	7	22	38
Deslocamento (ton)	Média ± Desv. Pad	481 ± 56	1441 ± 628	3928 ± 1542	32139 ± 19495
	Min. / Max.	400 / 600	595 / 2535	1100 / 7050	7590 / 78000
Ano	Média ± Desv. Pad	1982 ± 17.4	2004 ± 9.3	1992 ± 16.0	1960 ± 32.4
	Min. / Max.	1925 / 2013	1989 / 2013	1961 / 2012	1912 / 2018
Comprimento (m)	Média ± Desv. Pad	55.03 ± 4.70	87.21 ± 13.82	124.85 ± 17.40	242.43 ± 45.95
	Min. / Max.	36.58 / 62.78	62.00 / 103.40	82.00 / 153.00	165.20 / 337.00
Boca (m)	Média ± Desv. Pad	8.57 ± 1.30	11.36 ± 1.86	15.36 ± 2.67	30.16 ± 7.49
	Min. / Max.	5.00 / 11.50	8.50 / 14.40	9.20 / 20.00	17.98 / 50.90
Calado (m)	Média ± Desv. Pad	2.53 ± 0.30	3.54 ± 0.97	5.31 ± 1.22	8.66 ± 1.48
	Min. / Max.	1.70 / 3.40	2.41 / 5.30	2.90 / 7.60	5.55 / 11.60
BHP (kW)	Média ± Desv. Pad	11837 ± 6308	16273 ± 7418	34046 ± 9525	91155 ± 58213
	Min. / Max.	2200 / 30400	4527 / 30591	17382 / 57682	5567 / 216495
Vs (knots)	Média ± Desv. Pad	16.20 ± 4.00	15.86 ± 1.36	16.67 ± 1.52	16.09 ± 2.99
	Min. / Max.	10.00 / 30.00	15.00 / 18.00	14.00 / 18.00	10.00 / 20.00

Figura 1 – Comparação dos tipos de embarcações analisados



Em seguida, os dados foram tratados estatisticamente e para cada tipo de embarcação foram analisados dos seguintes parâmetros:

- Relação L/B: relação entre o comprimento entre perpendiculares e a boca à meia nau da embarcação. O aumento desta relação para embarcações rápidas pode resultar em redução na resistência ao avanço, porém eleva o custo de construção uma vez que o comprimento é a dimensão mais cara para ser construída (Molland et al., 2011).
- Relação B/T: relação entre a boca e o calado máximo de verão. O aumento desta relação resulta no aumento da estabilidade transversal, no entanto, também resulta em um aumenta da resistência ao avanço.
- Velocidade máxima (V): esta velocidade determina a potência instalada do motor. Quanto maior a velocidade, maior é a potência necessária.
- Número de Froude: é a relação entre a energia cinética e o potencial gravitacional, e é associado à velocidade e ao comprimento da embarcação de acordo com a Equação 1:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (1)$$

onde g é a aceleração da gravidade em m/s².

- Coeficiente almirantado: Este coeficiente correlaciona a potência instalada com o deslocamento (Δ) e a velocidade da embarcação (Watson, 1998) e apresenta-se como uma constante dimensional que depende da unidade utilizada para o BHP. O coeficiente almirantado é utilizado para estimar a potência instalada na fase inicial de projeto.

$$C_{alm} = \frac{\Delta^{2/3} \times V^3}{BHP} \quad (2)$$

- Coeficiente de bloco: segundo Dokkum (2003), é a relação entre o volume deslocado (∇) e o volume do paralelepípedo formado pelo comprimento e boca na linha d'água e pelo calado máximo (Equação 3). Aumentar o coeficiente de bloco é a forma mais econômica de se aumentar o deslocamento e porte bruto da embarcação, porém representa um aumento na potência instalada (WATSON, 1998).

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{bp} \times B \times T} \quad (3)$$

Por fim, foram analisadas as tendências dos parâmetros ao longo dos anos para cada tipo de embarcação. Com relação ao coeficiente de bloco, também foi analisado se é possível utilizar os modelos empíricos para embarcações mercantes em embarcações militares.

4. FORMULAÇÕES PARA O COEFICIENTE DE BLOCO DE EMBARCAÇÕES.

Para determinar o coeficiente de uma embarcação mercante na fase inicial do projeto é possível recorrer ao uso de modelos empíricos. Na observação de resultados de embarcações já existentes, alguns autores desenvolveram formulações, e ao decorrer dos anos novas equações foram deduzidas ou reformuladas, em teoria, para se adequar as mudanças das características dos navios (LABES, 2015).

4.1. Fórmula de Alexander.

A fórmula de Alexander é uma das mais antigas formulações, Equação 4 (Watson, 1998):

$$C_B = K - 0{,}5\frac{V_s}{\sqrt{L_f}} \quad (4)$$

onde L_f é o comprimento em pés, K vale 1,03 para embarcações de alta velocidade e 1,12 para embarcações de baixa velocidade e V_s é a velocidade de serviço em nós.

4.2. Fórmula de Katsoulis.

A fórmula de Katsoulis (Equação 5) proposta em 1975 leva em consideração as dimensões principais e a velocidade de serviço como forma de considerar o aumento no tamanho dos navios na época (Katsoulis, 1975, apud Watson, 1998).

$$C_B = 0{,}8217 \times f \times Lbp^{0,42} \times B^{-3072} \times T^{0,1721} \times V_s^{-0,6135} \quad (5)$$

onde f é uma constante que varia de acordo com o tipo de embarcação que foi considerada como a média dos valores para embarcações comerciais já que o desvio padrão destes era pequeno e Lbp é o comprimento entre perpendiculares.

4.3. Fórmula de Alexander reformulada.

A fórmula de Alexander foi reformulada por Barras (1992) por meio de regressões estatísticas de uma grande quantidade de navios cargueiros. Esta ainda apresenta uma constante (m) que varia de acordo com o tipo de embarcação a qual foi considerada como a média dos valores apresentados para embarcações mercantes.

$$C_B = 1 - m\frac{V}{\sqrt{L}} \quad (6)$$

4.4. Fórmula de Barra.

Após a reformulação de Alexander, Barras (1992) criou sua própria fórmula que é considerada "global" por não apresentar uma constante associada ao tipo de embarcação:

$$C_B = 1{,}2 - 0{,}39\frac{V}{\sqrt{L}} \quad (7)$$

4.5. Fórmula de Jensen.

Em 1994, Jensen propôs o cálculo do coeficiente de bloco para cascos modernos dependente do número de Froude e apresentou-o em forma de gráfico. Uma análise similar à de Jensen foi realizada para navios japoneses e resultou na Equação 8 (Schneekluth e Bertram, 1998):

$$C_B = -4{,}22 + 27{,}8 \cdot \sqrt{Fr} - 39{,}1 \cdot Fr + 46{,}6 \cdot Fr^3 \; para \; 0{,}15 < Fr < 0{,}32 \qquad (8)$$

Resultados

Nesta seção serão apresentados os resultados da análise dos parâmetros L/B, B/T, Velocidade, número de Froude, coeficiente almirantado, potência instalada e Cb para as embarcações militares estudadas neste trabalho.

5. COEFICIENTES L/B E B/T

Para todas as embarcações das amostras de corvetas, fragatas, navios-patrulha e porta-aviões foram realizados os cálculos das relações L/B e B/T. Uma regressão linear foi gerada para cada uma das classes e os resultados da variação desses parâmetros ao longo do tempo estão apresentados na Figura 2. Na Tabela 2, esses dados são comparados à média de valores para navios mercantes.

Figura 2 - Variação do L/B e B/T ao longo dos anos

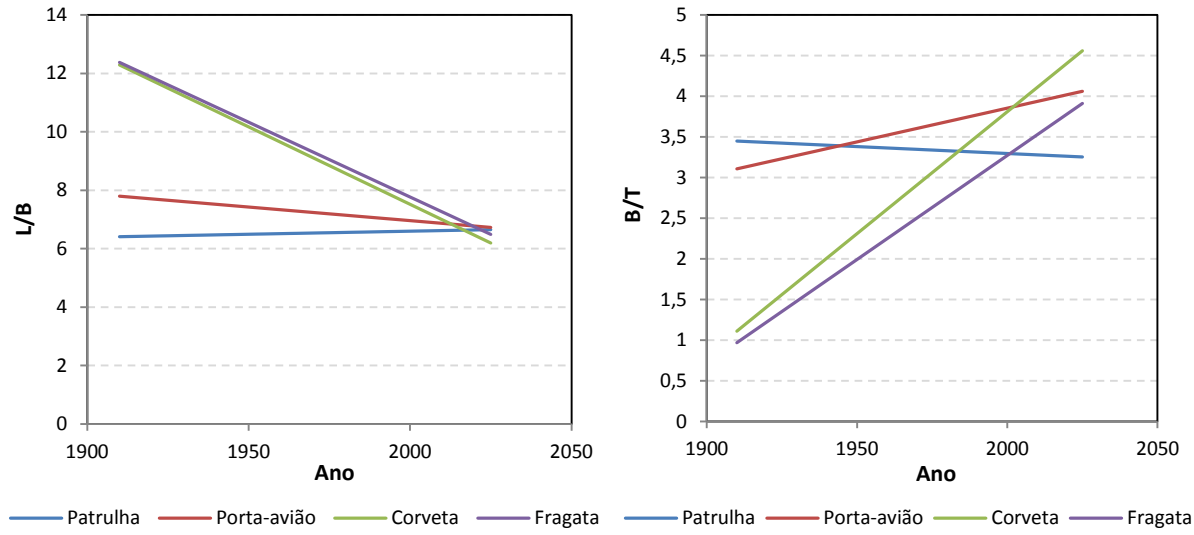


Tabela 2 - Variação do L/B e B/T para cada tipo de embarcação militar

	L/B			B/T		
	Média	Tendência	R^2	Média	Tendência	R^2
Patrulha	6.58	= 0.0021*Ano + 2.40	0.001	3.43	= -0.0017 * Ano + 6.70	0.002
Corveta	7.72	= -0.0237 * Ano + 55.32	0.059	3.36	= -0.0036 * Ano + 10.61	0.002
Fragata	8.29	= -0.0512 * Ano + 110.17	0.577	3.02	= 0.0256 * Ano - 47.93	0.306
Porta-avião	8.28	= -0.0093 * Ano + 26.56	0.066	3.45	= 0.0083 * Ano - 12.75	0.211
Contêiner	7.28	-	-	2.64	-	-
Graneleiro	6.02	-	-	2.68	-	-
Cruzeiro	6.59	-	-	3.60	-	-
Ro-Ro	6.56	-	-	3.59	-	-
Tanques	5.81	-	-	2.75	-	-
Carga Geral	6.92	-	-	2.89	-	-
PSV	4.43	-	-	2.87	-	-

* Os valores para embarcações mercantes foram extraídos de (LABES, 2015).
Os baixos valores de R^2 indicam que existe uma alta dispersão dos dados e a equação reflete a média dos dados.

6. VELOCIDADE E NÚMERO DE FROUDE.

A partir dos dados coletados, analisou-se a velocidade máxima e o número de Froude (Equação 1) de cada embarcação. Uma regressão linear foi gerada para cada uma das classes e os resultados da variação desses parâmetros ao longo do tempo estão apresentados na Figura 3. Em seguida foi obtida a média aritmética de cada parâmetro de acordo com o tipo de embarcação, os quais são comparados com as embarcações mercantes (Tabela 3).

Figura 3 - Variação da velocidade máxima e Fr ao longo dos anos

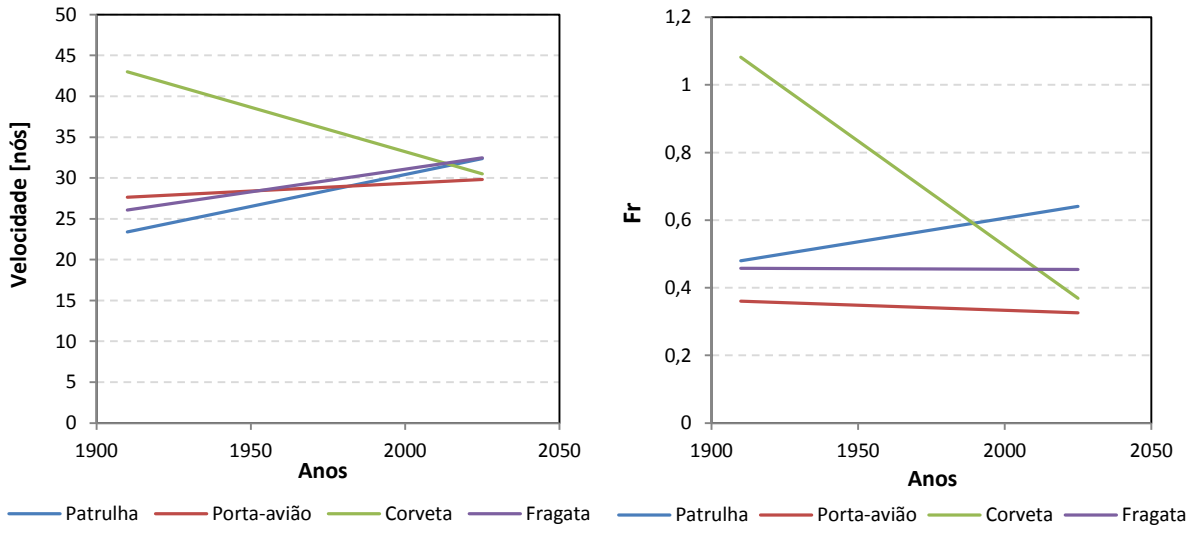


Tabela 3 - Variação da velocidade máxima e Fr para cada tipo de embarcação militar

	Velocidade Máxima (nós)			Número de Froude		
	Média	Tendência	R^2	Média	Tendência	R^2
Patrulha	29.00	= 0.0781* Ano - 125.78	0.034	0.64	= 0.0014x - 2.19	0.026
Corveta	31.14	= -0.2253 * Ano + 482.70	0.347	0.56	= -0.0072 * Ano + 14.97	0.359
Fragata	30.70	= 0.0556 * Ano - 80.12	0.025	0.46	= -3E-05x + 0.51	0.000
Porta-avião	28.68	= 0.0189 * Ano - 8.46	0.019	0.30	= -0.0003 * Ano + 0.93	0.058
Contêiner (Vs)	20.44	-	-	0.23	-	-
Graneleiro (Vs)	14.35	-	-	0.17	-	-
Cruzeiro (Vs)	19.56	-	-	0.25	-	-
Ro-Ro (Vs)	18.07	-	-	0.24	-	-
Tanques (Vs)	14.96	-	-	0.17	-	-
Carga Geral (Vs)	13.57	-	-	0.19	-	-
PSV (Vs)	10.16	-	-	0.21	-	-

* Os valores para embarcações mercantes foram extraídos de (LABES, 2015).
Os baixos valores de R^2 indicam que existe uma alta dispersão dos dados e a equação reflete a média dos dados.

7. POTÊNCIA INSTALADA E COEFICIENTE ALMIRANTADO.

Nesta parte do estudo, o coeficiente almirantado de cada embarcação foi calculado de acordo com a Equação 2 e a potência instalada, quando não conhecida, foi considerada como 1.04 vezes o SHP (potência no eixo).

Foram efetuadas análises da evolução destes parâmetros ao longo do tempo (Figura 4) e das tendências com relação ao tipo embarcação, incluindo embarcações mercantes (Tabela 4).

Figura 4 - Variação de BHP e do Coeficiente de Almirantado ao longo dos anos

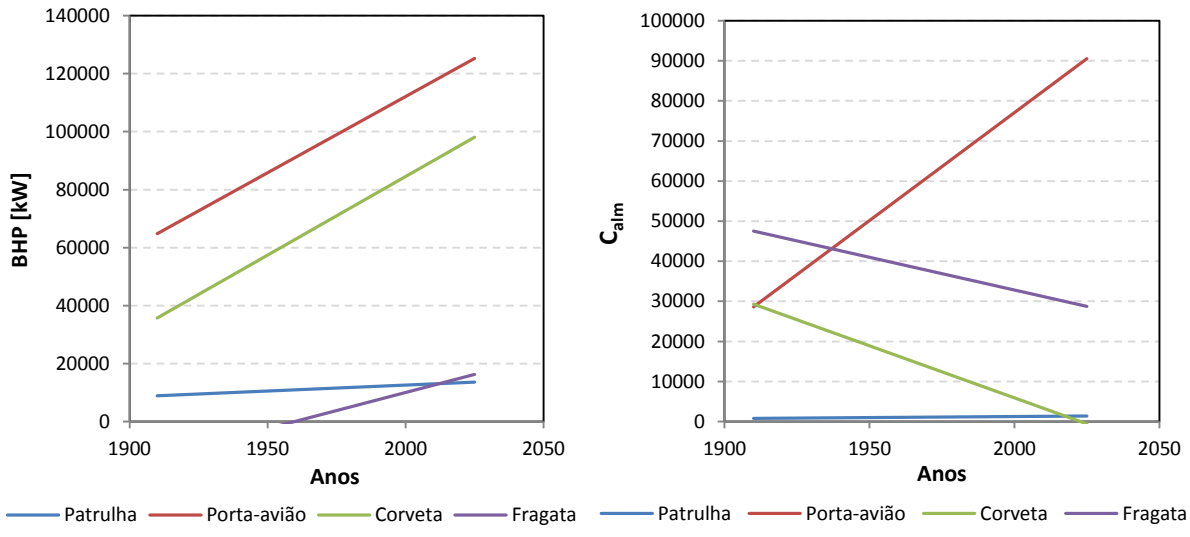


Tabela 4 - Variação de BHP e C_{alm} para cada tipo de embarcação militar

	Potência Instalada (kW)			Coeficiente de Almirantado		
	Média	Tendência	R^2	Média	Tendência	R^2
Patrulha	11837	= 40.992 * Ano - 69401	0.0127	1160	= 5.1764 * Ano - 9097.9	0.057
Corveta	16273	= 542.26 * Ano - 1E+06	0.464	4869	= -259.82 * Ano + 525552	0.377
Fragata	34046	= -163.35 * Ano + 359519	0.075	8155	= 249.38 * Ano - 488733	0.494
Porta-avião	91155	= 525.69 * Ano - 939274	0.086	42106	= 538.54 * Ano - 1E+06	0.276
Contêiner	18341	-	-	417	-	-
Graneleiro	13773	-	-	599	-	-
Cruzeiro	21328	-	-	267	-	-
Ro-Ro	10808	-	-	394	-	-
Tanques	15649	-	-	560	-	-
Carga Geral	5818	-	-	351	-	-
PSV	8053	-	-	41	-	-

* Os valores para embarcações mercantes foram extraídos de (LABES, 2015).
Os baixos valores de R^2 indicam que existe uma alta dispersão dos dados e a equação reflete a média dos dados.

8. DESLOCAMENTO E CB.

Similar às análises anteriores foi obtida a média do coeficiente de bloco e do deslocamento para cada tipo de embarcação militar analisada. A seguir, foram efetuadas análises da evolução destes parâmetros ao longo do tempo (Figura 5) e das tendências com relação ao tipo embarcação, incluindo embarcações mercantes (Tabela 5).

Figura 5 - Variação do deslocamento e do Coeficiente de Bloco ao longo dos anos

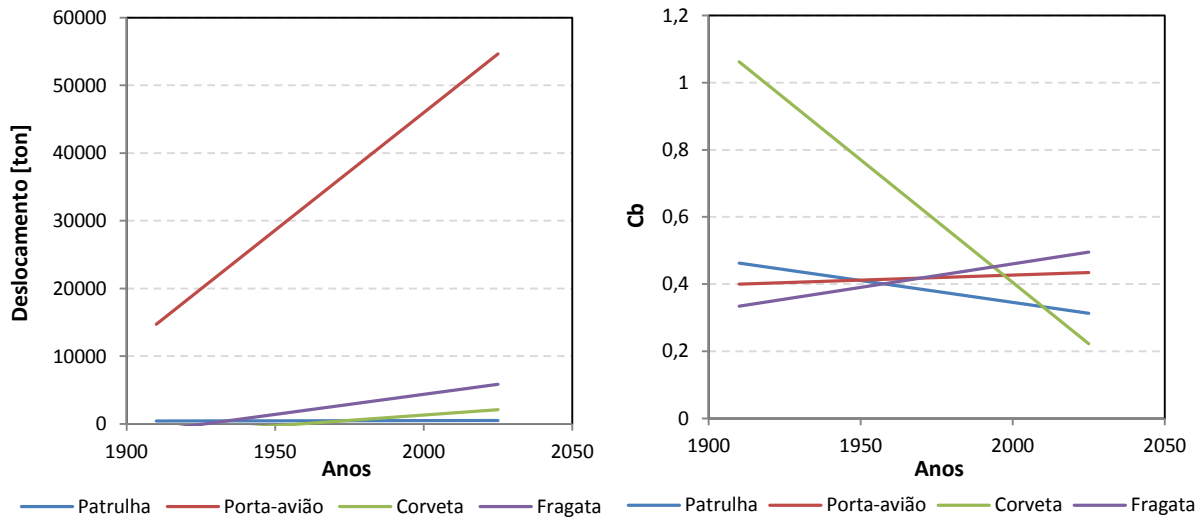


Tabela 5 - Variação do deslocamento e do C_b para cada tipo de embarcação militar.

	Deslocamento (tom)			Coeficiente de Bloco		
	Média	Tendência	R^2	Média	Tendência	R^2
Patrulha	481	= 0.6432 * Ano - 793.61	0.040	0.41	= -0.0013 * Ano + 2.9457	0.065
Corveta	1441	= 31.563 * Ano - 61810	0.219	0.39	= -0.0055 * Ano + 11.44	0.363
Fragata	3928	= 59.3 * Ano - 114226	0.377	0.37	= 0.0014 * Ano - 2.3396	0.084
Porta-avião	32139	= 347.24 * Ano - 648509	0.333	0.45	= 9E-05 * Ano + 0.2834	0.001
Contêiner	63022	-	-	0.69	-	-
Graneleiro	110076	-	-	0.84	-	-
Cruzeiro	27453	-	-	0.61	-	-
Ro-Ro	18910	-	-	0.67	-	-
Tanques	110314	-	-	0.82	-	-
Carga Geral	16651	-	-	0.77	-	-
PSV	4248	-	-	0.65	-	-

* Os valores para embarcações mercantes foram extraídos de (LABES, 2015).
Os baixos valores de R^2 indicam que existe uma alta dispersão dos dados e a equação reflete a média dos dados.

Como forma de verificar se os modelos empíricos utilizados no projeto conceitual/preliminar de embarcações mercantes podem ser utilizados também para o projeto de embarcações militares, foram estudados quatro modelos empíricos: Alexander, Katsoulis, Alexander reformulada e Barras. Todos discutidos na fundamentação teórica.
Para tal, foi realizado o cálculo do coeficiente de bloco segundo as fórmulas citadas acima e o cálculo do erro relativo (em porcentagem) com relação ao valor real existente nas embarcações analisadas.
A análise para cada tipo de embarcação pode ser vista nos gráficos da Figura 6.

9. CONCLUSÃO.

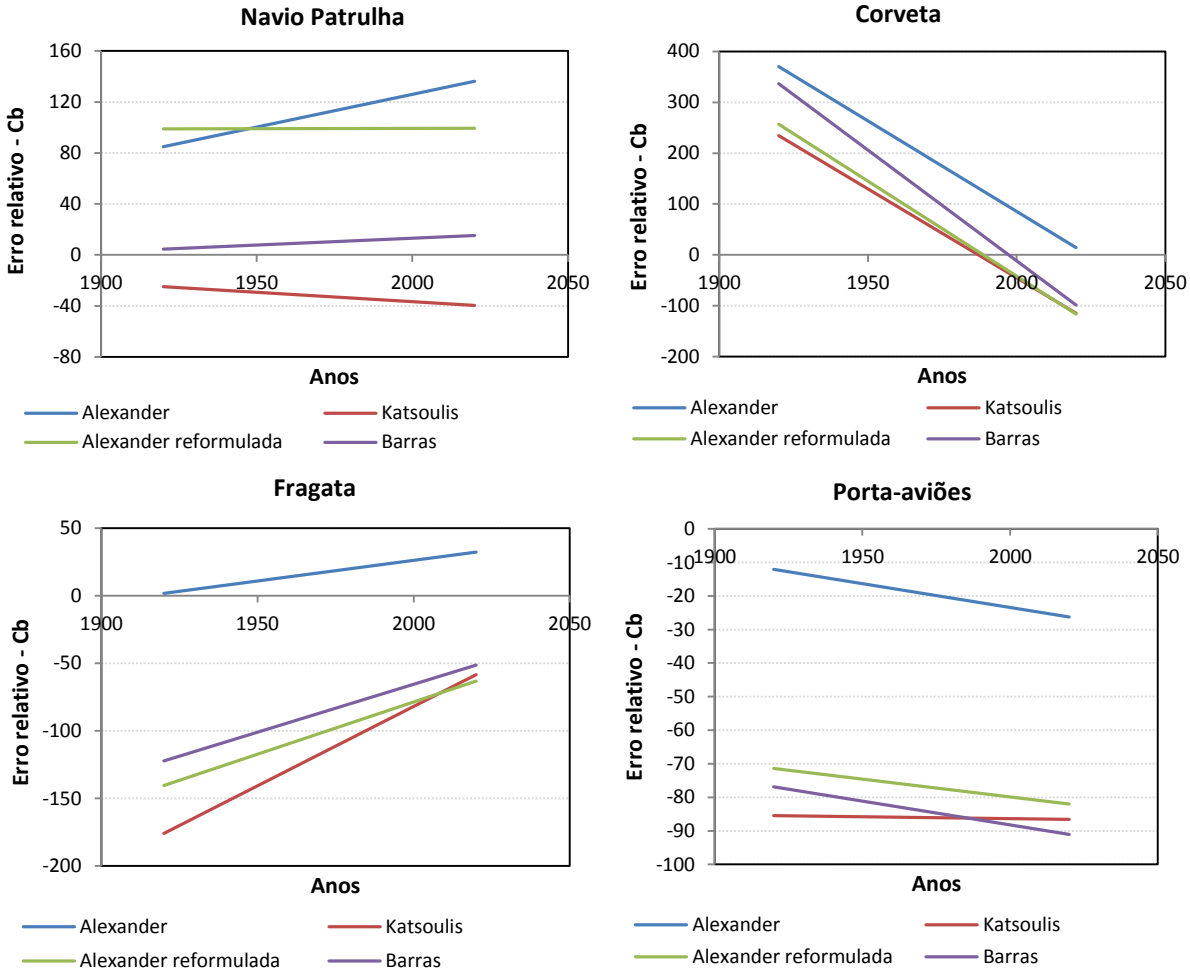
A todo instante o projetista de uma embarcação deve estar pronto para solucionar problemas e realizar modificações de projetos, visando reduzir custos tanto de fabricação como de operação, cumprir restrições de normas e requisitos do armador, além de estar sempre conectado às tendências de desenvolvimento de novos projetos.

Este problema fica ainda mais difícil quando se trata de projetos de embarcações militares, os quais apresentam requisitos mais severos além de pouca informação e modelos disponíveis.

Após ampla pesquisa bibliográfica, e análise das características dos principais tipos de embarcações militares, apresentou-se nesse trabalho um estudo das diversas formulações existentes, visando diminuir os custos associados ao projeto do navio, aumentando a precisão

das estimativas realizadas nas fases iniciais de projeto, reduzindo a quantidade de iterações realizadas.

Figura 6 - Erro relativo das equações empíricas de embarcações mercantes utilizadas para o cálculo do coeficiente de bloco de embarcações militares



Observou-se que o deslocamento vem aumentando ao longo dos anos para os 4 tipos de embarcação estudados. No entanto, ao contrário do que se observa para navios mercantes, onde segundo Labes (2015) o coeficiente de bloco vem aumentando gradativamente ao longo dos anos, apenas navios da classe Fragata apresentam a mesma tendência. Já navios Patrulha e Corvetas apresentam forte redução do coeficiente de bloco, enquanto que os porta-aviões praticamente não apresentaram mudança ao longo dos anos.

Em relação aos modelos empíricos estudados, observa-se que o modelo proposto por Barras é o mais adequado para estimar o Cb dos atuais projetos de navios da classe Corveta e Patrulha. Enquanto que o modelo de Alexander apresenta os menores erros para as estimativas de navios da classe Fragata e Porta-Aviões.

É interessante observar que, segundo Labes (2015), de maneira geral, o modelo de Alexander também apresentava os melhores resultados para a estimativa do coeficiente de bloco para navios mercantes.

Em relação à potência instalada, observa-se que esta se mantém constante ao longo dos anos apenas para navios Patrulha, apresentando forte tendência de crescimento para as outras 3 classes de navios militares estudadas.

Já em relação ao coeficiente de almirantado, este apresenta tendência de redução para navios da classe Fragata e Corveta, enquanto apresenta forte tendência de crescimento para navios da classe Porta-Aviões.

Em relação ao número de Froude, destaca-se a tendência de crescimento apresentada por navios Patrulha.

Por fim, destaca-se a importante constatação de que o coeficiente L/B apresenta forte tendência de redução para navios da classe Fragata e Corveta, leve tendência de redução para navios da classe Porta-Aviões e leve tendência de aumento para navios Patrulha. Enquanto que o coeficiente B/T apresenta comportamento inverso, com forte tendência de aumento para navios da classe Fragata e Corveta, leve tendência de redução para navios Patrulha e leve tendência de aumento para navios da classe Porta-Aviões.

É importante observar que as tendências aqui apresentadas devem ser usadas para direcionar os projetos, permitindo que um processo de otimização seja conduzido visando embarcações mais eficientes, adequadas aos atuais paradigmas de projeto moderno de embarcações militares.

Com o conhecimento adquirido no desenvolvimento do projeto conceitual através de extensa revisão bibliográfica e levando em conta que apesar de toda a revisão bibliográfica realizada, o tema carece de informações precisas, pelo fato de serem coletados dados com uma amostra de navios. Assim sugere-se como trabalhos futuros uma coleta de dados mais precisa que envolvam dimensões com maior detalhamento de projeto, como os coeficientes prismáticos, além do coeficiente da área de flutuação e de seção a meia-nau.

Destaca-se em especial a baixa quantidade de dados associados a navios da classe Corveta, que eventualmente, podem ter distorcido as análises.

Recomenda-se ainda dar continuidade ao projeto, formulando novos modelos empíricos para estimativa dos coeficientes envolvidos no projeto conceitual de embarcações militares com características que acompanhem as modernas tendências de projeto.

10. REFERÊNCIAS.

JENSEN, G. Moderne Schiffslinien, aus: Handbuch der Werften XXII. 1994.

KATSOULIS, P. S. Optimizing Block Coefficient by an Exponential Formula. Shipping World & Shipbuilder, v. 168, n. 3902, 1975.

LABES, T. A. Modelos Empíricos para Estimativas Preliminares dos Coeficientes de Forma de um Navio Mercante. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

MOLLAND, A. F.; TURNOCK, S. R.; HUDSON, Dominic A. Ship resistance and propulsion: practical estimation of propulsive power. Cambridge university press, 2011.

PORTAL DA MARINHA. Navios. Portugal. Disponível em: <http://www.marinha.pt/pt-pt/meios-operacoes/armada/navios/>. Acesso em: 15 ago. 2015.

SCHNEEKLUTH, H.; BERTRAM, V. Ship Design for Efficiency and Economy, Butterworth-Heinemann. Oxford, 1998.

VAN DOKKUM, K. Ship Knowledge: A Modern Encyclopedia. Dokmar, 2003.

WATSON, D. G. M. Practical ship design. Gulf Professional Publishing, 1998.

BUQUES PARA NAVEGACION POLAR Y EN ZONAS DE HIELOS

Guerrero Gómez, Luis[1]

[1]Bureau Veritas Iberia S.L. C/ Valportillo. Primera, 22-24 . 28108 Alcobendas – Madrid. (SPAIN). luis.guerrero@es.bureauveritas.com

RESUMEN

En los últimos años se ha venido produciendo un incremento de la navegación marítima en las zonas polares, debido, por un lado, al calentamiento global que está abriendo caminos en zonas próximas al Polo Norte; y, por otro lado, a la actividad investigadora en ambos polos y la necesidad de atender las bases que los países tienen en la Antártida. Las limitaciones de acceso a esas zonas, el riesgo para el medioambiente marino y las dificultades en caso de rescate han puesto en evidencia la necesidad de adaptar los buques a las condiciones meteorológicas y tecnológicas que se presentan en esas zonas. No sólo las temperaturas extremas, sino la falta de fondeaderos, cartas náuticas adaptadas a las modificaciones de la línea de costa, los problemas de las comunicaciones y otros aspectos que se detallan en la presentación que proponemos, han llevado a la Organización Marítima Internacional a emitir el Código de Buques Polares, y a las Sociedades de Clasificación a establecer las características que deben reunir los buques. Este Código ha tenido sus consecuencias también en las condiciones que deben reunir los buques para navegar en hielos, ya sea como rompehielos o como buques siguiendo la estela abierta por aquéllos. Esta ponencia pretende dar una información general sobre el Código de Buques Polares y las notaciones de clasificación establecidas por Bureau Veritas.

1. INTRODUCCIÓN.

El calentamiento global, que ofrece potenciales rutas más cortas por el Paso del Noroeste, y la explotación de valiosos recursos energéticos en zonas árticas y subárticas han propiciado un aumento de la navegación en áreas polares.

La navegación en aguas polares impone condiciones a los buques, sus sistemas y sus modos de operación que exceden a los criterios establecidos en los convenios internacionales en vigor, tales como SOLAS o MARPOL.

La creciente preocupación por el aumento de la presencia de los buques, y con ella la de colisiones y accidentes, y las dificultades de actuación en caso de emergencia han llevado a la comunidad internacional a promulgar el Código de Buques Polares (Polar Code), que entrará en vigor el 1 de enero de 2017. Los ecosistemas polares son muy sensibles y de muy lenta recuperación en caso de contaminación. Así mismo, las posibilidades de salvamento marítimo a las personas son extremadamente reducidas por la escasez de medios en la zona, las dificultades de acceso y las limitadas comunicaciones.

El Código reconoce que hay semejanzas y diferencias entre el Ártico y el Antártico. El primero es un océano rodeado de continentes, mientras que el segundo es un continente rodeado de océanos.

Las fuentes de riesgo en las aguas polares son:

1. El hielo, en cuanto afecta a las estructuras, maquinaria, estabilidad, mantenimiento y disponibilidad de los medios de salvamento.

2. Formación de hielo en cubierta, que sube el centro de gravedad del buque.

3. Las bajas temperaturas, que afectan al entorno de trabajo y a la capacidad de las personas y de los medios de salvamento.

4. Amplios períodos de nocturnidad o de luz, que afectan al comportamiento humano.

5. Alta latitud, que afecta a las comunicaciones y a la recepción de información sobre condiciones climáticas.

6. Falta de datos hidrográficos adecuados, de ayudas a la navegación y señales marítimas, que aumentan el riesgo de varadas, unido a la lejanía de los medios de salvamento.

7. Falta de experiencia en las tripulaciones, lo que incrementa el potencial error humano.

8. Potencial ausencia de medios de salvamento adecuados a bordo.

9. Cambios repentinos de las condiciones meteorológicas.

10. La lentitud de la recuperación del medio marino en caso de siniestro.

El nivel de riesgo dentro de las aguas polares depende de la situación geográfica, época del año y la iluminación natural, cantidad de hielo, etc. Las medidas de mitigación necesarias para estos riesgos pueden ser diferentes en las aguas árticas y antárticas.

2. OBJETIVOS.

En el contexto indicado en el apartado anterior, hay tres cuestiones básicas, que requieren una respuesta:

- ¿Se ha elegido la clase de hielos adecuada?.
- ¿Están las Reglas actuales adaptadas a los nuevos tipos de buque?.
- ¿Cómo podemos proteger a las personas, los buques, las mercancías y el medio ambiente?.

En este artículo pretendemos dar respuesta a las preguntas anteriores. Para ello, Bureau Veritas ha desarrollado reglas específicas para tres tipos de situaciones muy diferentes entre si:

- ICE CLASS para buques que operan en hielo de primer año.
- POLAR CLASS para buques que operan en hielo de varios años.
- ICEBREAKER para buques cuya misión es abrir un canal en el hielo.
- COLD para winterización de los buques.

El objetivo de esta presentación es determinar las condiciones de seguridad y protección del medio ambiente requeridas por el Código Polar y aplicarlas a nuevos tipos de buques muy especializados (apoyo offshore, doble acción) y buques más grandes (petroleros y metaneros).

Esas condiciones van a determinar la clase de hielo en la que el buque puede operar, así como asegurar la protección de las personas, los buques, las cargas y un medio ambiente extremadamente sensible.

Las Sociedades de Clasificación han establecido Reglamentos específicos para buques polares, cuyas características principales se detallan en este trabajo centrándolo en el Reglamento de Bureau Veritas, clasificadora que clasificó el primer rompehielos oceánico en 1898, el Yermak. Esta Sociedad de Clasificación mantiene en su registro más de 1100 buques con cotas de hielos.

Esos reglamentos determinan el esfuerzo estructural ejercido por la presión del hielo en el casco, los apéndices y los medios de propulsión y gobierno para desplazarse en presencia del hielo. Además, se requiere un grado de winterización para proteger a la tripulación y asegurarse de que el equipo del buque mantiene su capacidad operativa en condiciones climatológicas extremas.

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

La industria del gas y el petróleo se ha ido introduciendo cada vez más en climas muy fríos con aguas plagadas de hielos. Para atender sus necesidades se está desarrollando una nueva generación de buques que vamos a denominar "winterizados" , esto es, preparados para satisfacer los desafíos que presentan esos climas. La clave para el éxito de un proyecto es un diseño que haya tenido en cuenta el perfil operativo del buque y su entorno. La situación geográfica, las ventanas de tiempo y las misiones encomendadas determinan el grado de reforzado y winterización, y en consecuencia las notaciones de clase aplicables.

El Reglamento de clasificación, en la parte dedicada a buques que operan en zonas de hielos y bajas temperaturas, contiene los requisitos de seguridad y medio ambiente relativos a la-estructura del casco, propulsión, estabilidad, seguridad de la tripulación y el pasaje, y a la protección del medio ambiente

Para ello, se establecen tres escenarios diferentes:

- ICE CLASS: para hielo de primer año.

- POLAR CLASS: para hielo de uno o más años.

- ICEBREAKER: para hielo de uno o más años.

- COLD: winterización.

Los principios básicos de la winterización son:

- Reforzado de las estructuras sometidas a la presión del hielo
- Reforzado de la maquinaria propulsora sometida a cargas de hielo (ejes, hélices, pods)
- Potencia mínima, según la clase de hielo asignada
- Consideración para bajas temperaturas, rociones helados y reducida eficiencia de componentes:
    - Materiales para el casco y la maquinaria
    - Estabilidad (hielo en cubierta)
    - Cubiertas y superestructuras
    - Propulsión, maquinaria, instalaciones eléctricas
    - Equipo de navegación
    - Protección de la tripulación y el pasaje y eliminación del hielo para accesos

3.1. Notaciones de clasificación.

3.1.1. Cota para hielos de primer año (Mar Báltico).

Las cotas de las Sociedades de Clasificación están basadas en las reglas sueco-finlandesas (FSICR, 2008) y están preparadas para garantizar una velocidad de 5 nudos en zona de fragmentos de hielos de primer año.

Los requisitos técnicos mínimos son:

- Mínima potencia propulsiva (la resistencia al avance se calcula en base a formas típicas del casco según los ángulos de las líneas de agua y de lanzamiento de la proa).
- Reforzado estructural (para una presión de hielo que es mayor en la proa que en el centro y en la popa):

- La chapa del forro incluye un sobreespesor por abrasión y corrosión (o protección superficial equivalente).
- Mayor escantillonado en las cuadernas y longitudinales, y menor clara entre refuerzos.
- Estructura primaria reforzada.

- Roda y cuerpo de proa, popa y quillas de balance.

- Timón y equipo de gobierno.

- Propulsión:
  - Cálculo de cargas de diseño debidas a la interacción hélice-hielo en combinación con cargas hidrodinámicas.
  - Cálculo de la hélice que abre la ruta, sólo en ICE CLASS IA SUPER.
  - Consideración para hélices con o sin tobera.
  - Materiales expuestos a la temperatura del mar.
  - Principio de resistencia en pirámide: la pérdida de una pala no debe causar un daño significativo a los demás componentes de la línea de ejes.
  - Verificación de las palas por elementos finitos y cálculo de fatiga.
  - Verificación del núcleo y mecanismo de palas orientables y de azimutales, y de sus vibraciones (simplificado).

- Requisitos adicionales de maquinaria (sistema de arranque, tomas de mar, enfriadores).

Las notaciones de clase de hielos son:

- **ICE CLASS IA SUPER**. Navegación independiente en hielos severos. Máximo espesor de hielo 1.0 m con 0.10 m consolidado en la capa superior, máxima presión de hielo 0.35 m.

- **ICE CLASS IA**. Navegación en hielos severos con asistencia de rompehielos. Máximo espesor de hielo 0.8 m, máxima presión de hielo 0.30 m.

- **ICE CLASS IB**. Navegación en hielos moderados con asistencia de rompehielos. Máximo espesor de hielo 0.6 m, máxima presión de hielo 0.25 m.

- **ICE CLASS IC.** Navegación en hielos ligeros con asistencia de rompehielos. Máximo espesor de hielo 0.4 m, máxima presión de hielo 0.22 m.

- **ICE CLASS ID** (no include en las reglas FSICR). Navegación en hielos muy ligeros. La zona de proa, el timón y el equipo de gobierno como en I**CE CLASS IC.**

Los buques con ICE CLASS no pueden considerarse rompehielos.

3.1.2. POLAR CLASS. Hielo de varios años en el Ártico.

Se trata de notaciones de clase desarrolladas por IACS en base a la experiencia acumulada y compartida sobre la navegación en aguas con fuerte presencia de bloques de hielo.

Los requisitos técnicos son los siguientes:

- Materiales para bajas temperaturas (aceros con mayor resiliencia).
- Reforzado estructural por zonas basado en la presión del hielo:
    - Carga de hielos por impacto en proa.
    - Impacto lateral de hielos.
    - Distribución de presión por carga de hielos en proa.
    - Repercusión sobre la resistencia del buque viga.
    - Cálculo plástico del forro y refuerzos (las reglas sueco-finlandesas trabajan con la teoría de la elasticidad).
    - Disposición de la proa y de la popa.
    - Apéndices del casco (timón y remolque).

- Maquinaria de propulsión y auxiliar: (similares a las reglas sueco-finlandesas):
    - Cargas debidas a la interacción hélice-hielo.
    - Esfuerzo en cada pala ante distintas cargas (elementos finitos).
    - Evaluación del momento de hielo en la línea de ejes como consecuencia de los impactos en las palas, máximo empuje y rotura de pala.
    - La línea de propulsión tiene que estar diseñada para soportar la fatiga causada por las cargas dinámicas.
    - Los azimutales tienen un tratamiento específico.
    - Se requiere una capacidad para los medios de arranque y fuentes de energía de emergencia.
- Winterización: sistemas auxiliares, tomas de mar y enfriadores, tanques de lastre y ventilaciones.

Las cotas polares se detallan en la siguiente tabla:

Additional class notation	Ice description (based on WMO Sea Ice Nomenclature) (1)
POLAR CLASS 1	Year-round operations in all polar waters
POLAR CLASS 2	Year-round operations in moderate multi-year ice conditions
POLAR CLASS 3	Year-round operations in second-year ice which may include multi-year ice inclusions
POLAR CLASS 4	Year-round operations in thick first-year ice which may include old ice inclusions
POLAR CLASS 5	Year-round operations in medium first-year ice which may include old ice inclusions
POLAR CLASS 6	Summer/autumn operations in medium first-year ice which may include old ice inclusions
POLAR CLASS 7	Summer/autumn operations in thin first-year ice which may include old ice inclusions
(1) WMO: World Meteorological Organization	

Los buques con cotas polares no pueden considerase rompehielos.

3.1.3. Rompehielos.

Son buques que pueden operar con total independencia en aguas cubiertas por hielos, ya sea creando un canal navegable, asistiendo a buques navegando en zonas de hielos o creando una zona libre de hielos, por ejemplo en torno a una terminal de gas offshore.

Los requisitos técnicos considerados son:

- Extensión del área del casco, forma de la proa, factores de distribución de la presión por hielo, resistencia longitudinal, incluyendo el caso de apertura de canal (ramming), potencia propulsora mínima, mínimo ángulo vertical de los costados (capacidad de auto liberación).

Las reglas contemplan siete niveles de rompehielos, que se explican en la presentación.

3.1.4. COLD- Winterización.

Bureau Veritas ha desarrollado la notación COLD (Ht_{DH}, Et_{DE}), según la temperatura a que se va a exponer el casco (t_{DH}) y el equipo (t_{DE}).

Se ha tenido en cuenta las bajas temperaturas, la formación de hielo a bordo y la reducida efectividad de los componentes.

Para buques que operan en climas muy fríos pero durante cortos períodos en zonas no cubiertas por hielos, Bureau Veritas ha desarrollado la notación COLD DI. Se entiende que estos buques sólo precisan una ligera winterización.

Las zonas afectadas por las notaciones COLD son:

- Cubiertas y superestructuras, propulsión y maquinaria auxiliar, instalaciones eléctricas, navegación, protección de la tripulación, eliminación de hielo para acceso seguro.

Como es habitual en notaciones de climas fríos, hay requisitos adicionales relativos a los materiales, estabilidad y resistencia estructural.

Los aspectos técnicos determinantes son los siguientes:

- Control de la temperatura de funcionamiento de la propulsión y equipos esenciales, generación de energía, grupo de emergencia, bomba CI de emergencia, trasiego de combustible, etc.

- Prevención de acumulación del hielo: tuberías y accesorios, respiros de los tanques, ventilaciones.

- Balance eléctrico con servicio de deshielo: ventanas, puertas de escape y acceso, líneas de toma de combustible, ventilaciones , tifón, equipo de las antenas, conexión para calefacción de botes salvavidas.

- Deshelado de cubierta en zonas de maniobra, carga/descarga, acceso a la superestructura, zona de trabajo y equipo de maniobra.

- Deshelado manual.

- Protección de la maquinaria de cubierta (monitores de espuma, pescantes, botes salvavidas, armarios de chalecos salvavidas, molinetes, cabrestantes, grúas) y cubierta de helicóptero incluyendo su acceso.

- HVAC (control de la temperatura y humedad).

Para la notación COLD (Ht_{DH}, Et_{DE}), además se requiere:

- Selección de los grados de aceros de estructuras expuestas

- Diseño de la zona de la roda y de la disposición de anclas para minimizar la formación de hielos.

- Selección de materiales para anclas y cadenas.

- Condiciones de estabilidad con hielo en cubierta (superficies horizontales y verticales).

- Selección de materiales para tuberías no aisladas y equipo en la cubierta de intemperie

- Sistema de arranque de buque muerto.

- Deshelado de tomas de mar y descargas al costado (prevención del bloqueo).

- Deshelado de tanques de lastre: sistemas de calefacción, recirculación y bombeo, inyección de vapor.

- Colector de incendios (al menos una bomba conectada a una toma de mar preparada) y venteos de tanques (con deshielo).

- Tomas de mar:

    - En cada costado, al mayor calado posible, provista de rejilla con orificios de unos 20 mm, el área libre de paso de la rejilla a través de los orificios será al menos cinco veces el de la tubería de aspiración de la bomba que atiende (la normal es dos veces, y para cotas ICE es cuatro veces), provista de vapor o aire comprimido para despejar los orificios de la tapa, con acceso de agua caliente.

- Capacidad para trabajo en bajas temperaturas del equipo eléctrico, de navegación, comunicaciones y protección del personal.

La selección de las marcas de clase se determinan a partir de:

- La definición de dónde y cuándo va a operar el buque, área geográfica y época del año.

- Cómo va a operar el buque: si va a precisar rompehielos, misiones a realizar, autonomía, etc.

Para ayudar a los armadores en la selección de las notaciones de clase, Bureau Veritas ha publicado unas recomendaciones: “ Ice reinforcement selection in different world navigation áreas”, disponible gratuitamente en internet (www.veristar.com).

Existe una equivalencia aproximada entre marcas de BV y de autoridades nacionales

4. ASPECTOS A CONSIDERAR EN BUQUES POLARES.

Las reglas para buques polares se basan principalmente en la experiencia de buques de carga en el Ártico, y en algunas investigaciones para barcos de menor tamaño y especializados, tales como los OSV y los remolcadores. También se ha de tener en cuenta la existencia de circunstancias locales, como puede ser la baja salinidad, el hielo ligero, aguas poco profundas, etc.

Para el cálculo directo de la carga de hielos, las Reglas de Bureau Veritas han considerado los siguientes factores:

- Además de los riesgos normales de la navegación, se estudian las consecuencias de colisiones con icebergs, témpanos o agujas de hielo.

- Cada zona geográfica tiene un perfil de hielos característico, lo que determina los escenarios de colisión.

- Eliminación del riesgo de colisión con icebergs durante la navegación gracias a los equipos de navegación, salvo error humano.

- El riesgo más común para navegación en hielos es la presión del hielo en zona de casquetes helados o de bloques flotantes.

- Bureau Veritas ha desarrollado modelos matemáticos con la Universidad de San Petersburgo en Rusia.

- Los escenarios determinan las cargas de hielo y las posiciones de colisión, que pueden ser de golpeo con rebote a otro bloque, golpeo en canal, rompehielos (por proa o popa)

Bureau Veritas ha publicado sus recomendaciones en la Nota NI 565 "Ice Caracteristics and Ice/Structure Interactions"

En ella se clasifican los diferentes tipos de hielo según su edad, forma o cristalografía, y se indican valores de resistencia a tracción, compresión o flexión. También se indican los modos de ruptura de la capa de hielo (cizalla, aplastamiento). Los aspectos la capacidad de rotura del hielo son los ángulos de inclinación y el peso. Hay que destacar que en OSV los costados verticales y la limitación de peso dificultan la rotura del hielo.

Bureau Veritas ha desarrollado la base matemática que rige las presiones de hielo p=p(v,F,M,a,f) en función de la velocidad del buque, las formas del casco, las masas, las propiedades del hielo.

Bureau Veritas no podía limitarse a conocer la base matemática del fenómeno físico, sino que ha desarrollado el programa de cálculo IceSTAR que tiene en cuenta todos los factores y que de una forma sencilla resuelve las ecuaciones que se plantean. El programa determina la presión en cada punto del casco para las condiciones reales de hielo, tanto avante como ciando, con o sin giro. El programa permite establecer la velocidad segura en función del espesor de hielo o bien el máximo espesor de hielo para una determinada velocidad.

5. EL CÓDIGO DE BUQUES POLARES (POLAR CODE).

Este Código publicado por IMO, que entrará en vigor el 1 de enero de 2017 aplica tanto a la navegación ártica como antártica, en una primera fase sólo a buques SOLAS.

Se divide en cuatro partes:

- Parte I-A: medidas de seguridad.

- Parte I-B: recomendaciones adicionales sobre la parte I-A.

- Parte II-A: medidas de prevención de la contaminación.

- Parte II-B: información y recomendaciones adicionales a la Parte II-A.

La zona de aplicación son las aguas situadas en latitudes superiores a los 60º, tanto al norte como al sur.

El buque debe estar provisto de un manual de operación en aguas polares (PWOM) que facilite al armador, al capitán y a la tripulación información suficiente para poder tomar decisiones sobre las capacidades y las limitaciones operacionales.

El Capítulo 3 de la Parte I-A, define tres categorías de buque:

- Categoría A: buque diseñado para operar en aguas polares en al menos hielo medio de primer año, que puede contener inclusiones de hielo antiguo

- Categoría B: buque no incluido en categoría A, diseñado para operar en aguas polares en al menos hielo delgado de primer año, que puede contener inclusiones de hielo antiguo

- Categoría C: buque diseñado para operar en aguas polares abiertas o en condiciones de hielo menos severas que las incluidas en las categorías A y B

Los requisitos para la estructura son:

- Cat A: IACS Polar Class PC 1-5

- Cat B: IACS Polar Class PC 6-7

- Cat C: reforzado para hielos no obligatorio

Las cotas polares establecidas por la Asociación de Sociedades de Clasificación son las siguientes:

Polar Class	Ice Description (based on WMO Sea Ice Nomenclature)
PC 1	Year-round operation in all Polar waters
PC 2	Year-round operation in moderate multi-year ice conditions
PC 3	Year-round operation in second-year ice which may include multi-year ice inclusions.
PC 4	Year-round operation in thick first-year ice which may include old ice inclusions
PC 5	Year-round operation in medium first-year ice which may include old ice inclusions
PC 6	Summer/autumn operation in medium first-year ice which may include old ice inclusions
PC 7	Summer/autumn operation in thin first-year ice which may include old ice inclusions

Algunas de las medidas de seguridad adicionales requeridas por el Código son:

- Estabilidad y compartimentado:
    - estabilidad en averías aplicable a buques nuevos de categorías A y B.
    - Hielo en cubierta se considera sólo para la estabilidad intacta, no en averías.
- Equipo de salvamento: los botes salvavidas tienen que ser de tipo parcialmente cerrado o totalmente cerrado.
- Seguridad de la navegación:
    - alerones cerrados en buques de categoría A.
    - Dos ecosondas en buques nuevos.
    - Al menos un compás GNSS para buques que naveguen en latitudes superiores a 80º.
    - Medios para evitar la acumulación de hielo en antenas, en las zonas donde esta acumulación sea posible.
- La tripulación de navegación tiene que poseer formación especializada.

Con respecto a la prevención de la contaminación por hidrocarburos (Parte II-A Capítulo 1):

- Se aplica a buques nuevos de categorías A y B

- La descarga de aguas aceitosas está prohibida

- No es aplicable a descarga de lastre limpio o segregado

- Para buques con capacidad de combustible superior a 600 m^3 todos los tanques de combustible tendrán un doble casco de al menos 760 mm

- Para buques con peso muerto superior a 600 toneladas todos los tanques de carga construidos y utilizados para contener hidrocarburos estarán separados del forro exterior por una distancia superior a 760 mm

- Los tanques de sentinas estarán separados del forro exterior por una distancia superior a 760 mm, permitiéndose excepciones cuando su capacidad sea inferior a 30 m^3

Con respecto a la prevención de la contaminación por hidrocarburos (Parte II-A Capítulo 2):

- Es aplicable a buques de categoría A y B.

- La descarga al mar de sustancias nocivas está prohibida.

Para medir el nivel de riesgo de una operación en hielos, se recomienda utilizar el método POLARIS (Polar Operational Limit Assessment Risk Indexing System) que tiene en cuenta diferentes escenarios para el buque, tipos de hielo, su concentración, etc.

POLAR SHIP CATEGORY	ICE CLASS	ICE FREE	NEW ICE	GREY ICE	GREY WHITE ICE	THIN FIRST YEAR FIRST STAGE	THIN FIRST YEAR 2ND STAGE	MEDIUM FIRST YEAR	MEDIUM FIRST YEAR 2	THICK FIRST YEAR	SECOND YEAR	LIGHT MULTI YEAR	HEAVY MULTI YEAR
A	PC 1	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1
	PC 2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	0
	PC 3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	0	-1
	PC 4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	0	-1	-2
	PC 5	3	3	3	3	2	2	1	1	0	-1	-2	-2
B	PC 6	3	2	2	2	2	1	1	0	-1	-2	-3	-3
	PC 7	3	2	2	2	1	1	0	-1	-2	-3	-3	-3
C	IAS	3	2	2	2	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-4
	1A	3	2	2	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-4	-4
	1B	3	2	2	1	0	-1	-2	-2	-3	-4	-5	-5
	1C	3	2	1	0	-1	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-6
	NO ICE CL	3	1	0	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-5	-6	-6

LAS PARTICULARIDADES DEL DISEÑO DE EMBARCACIONES PESQUERAS DE PEQUEÑO PORTE

Galiano Ortíz, A. F.[1]

[1]Empresa de Proyectos, Construcciones y Servicios Técnicos Navales, CEPRONA.
Avenida 26 E/ calles 11 y 13. Vedado. La Habana. CUBA.
amado@almendar.alinet.cu

RESUMEN.

La teoría del diseño naval se ha venido perfeccionando a través del tiempo. La introducción y avance en las técnicas experimentales y computacionales han sido las fuentes de donde se ha enriquecido la misma.

No obstante, vale reconocer que la mayoría de los trabajos se refieren a embarcaciones de mayor porte y a las embarcaciones de esloras reducidas, no todo es aplicable, y sí bien en el rango de pequeño porte, las embarcaciones veloces o rápidas han sido más estudiadas hay un rango que queda como tema poco tratado.

Si a esto agregamos que en muchos países las embarcaciones pesqueras de pequeño porte no están comprendidas en el rango de las que abarcan las sociedades clasificadoras queda bastante pro sistematizar en esta dirección a criterio del autor.

En el trabajo se tratan entre otros, temas correspondientes a las etapas de determinación de dimensiones principales, compatibilización de las funciones a cumplir con las formas del casco, potencia y velocidad, definición y diseño de interiores, alcance de la documentación constructiva y de operación, de los sistemas navales y el necesario enfoque de la seguridad de la vida del hombre en el mar y se comparten las experiencias acumuladas en Cuba en estos temas.

1. INTRODUCCIÓN. La teoría del diseño naval se ha venido perfeccionando a través del tiempo. La introducción y avance en las técnicas experimentales y computacionales han sido las fuentes de donde se ha enriquecido la misma.

No obstante, vale reconocer que la mayoría de los trabajos se refieren a embarcaciones de mayor porte y sí bien en el rango de pequeño porte, las embarcaciones veloces o rápidas han sido más estudiadas, no todo es aplicable para el diseño de embarcaciones de esloras reducidas ya sean de la flota técnica o auxiliar, pesqueras y concebidas con otros fines. Como ejemplo, mencionemos la casi total ausencia de métodos de predicción de la resistencia al avance para estas embarcaciones, y las existentes

Si a esto agregamos que en muchos países las embarcaciones de pequeño porte no están comprendidas en el rango de las que abarcan las sociedades clasificadoras son muchas las incógnitas a las que se enfrentan los proyectistas al no tener una guía, ni una recomendación a seguir, por lo que el autor del trabajo considera que queda bastante campo para el trabajo en esta dirección.

El diseño naval visto como un proceso de sucesivas aproximaciones es más rápido y efectivo cuando se logra partir de un diseño inicial lo más cercano posible a lo que se desea. Para esto se requiere de disponer de criterios y guías para la definición de los parámetros iniciales y la predicción del comportamiento de la futura embarcación en el mar, los cuales para embarcaciones de otro porte están avalados por estudios previos de series, ensayos sistemáticos en instalaciones experimentales hidrodinámicas y otros, los que como mencionábamos para embarcaciones de porte reducido no abundan, por lo que el diseño de estas significa un proceso más largo y que puede no ser efectivo en cuanto a resultados finales si el punto de partida es escogido de forma errónea.

Agreguemos a esto que si para embarcaciones de mayor porte, independientemente muchas veces del tamaño de la serie a construir, se realizan estudios de comprobación y ajuste en instalaciones hidrodinámicas, para embarcaciones de pequeño porte, cuyas series no son de gran tamaño, generalmente estos estudios no son económicamente sustentables, por lo que del nivel de calidad del diseño dependerá el éxito del futuro barco, ya que luego de construido es que solo se podrán verificar los supuestos del diseño.

En el caso de las embarcaciones pesqueras que se caracterizan por tipo de pesquería a realizar, tecnología, zona de pesca en donde trabajan y tradición de cada país, dar "recetas" únicas se hace harto difícil, no obstante el ordenamiento de las etapas del diseño, y algunas cuestiones de índole general, como las formas de la carena, la predicción de la resistencia al avance y el diseño de interiores, entre otros son factibles de sistematizar y a esto se dedica el presente articulo

2. OBJETIVOS.

El presente trabajo tiene como objetivo resumir algunas de las experiencias acumuladas en el Centro de Proyectos Navales de Cuba, el que se ha dedicado por espacio de más de 40 años al diseño de embarcaciones, pesqueras la mayoría, de pequeño porte, en algunos tópicos que pueden ayudar en las primeras etapas al diseño de estas embarcaciones, con ello no se pretende abarcar todo pero al menos tratar algo de las etapas fundamentales.

El material del casco y las formas.

Del material del casco dependen las formas. El diseñador tiene en muy pocas oportunidades la posibilidad de escoger el material, ya que esta selección depende del armador y en muchos casos de lo que construyen los astilleros o talleres existentes.

En el diseño del casco de embarcaciones de madera la forma predominante es la de pantoque redondo ya que esto facilita la colocación de los tablones que conforman el forro. El casco de esas embarcaciones posee una quilla muy robusta, pieza que juega un gran papel en el aseguramiento de su resistencia longitudinal. Además, la misma hace gran contribución a la creación de la resistencia a la deriva, lo que es de gran importancia en el trabajo con redes.

La roda de esas embarcaciones es muy ancha, llegando a alcanzar un espesor, por ejemplo, de 12" (305 mm) y más en una embarcación de 90 pies de eslora total (27.4 m).

En el caso de cascos construidos de madera contrachapada (plywood) es necesario seleccionar formas compuestas de superficies desarrollables que no induzcan tensiones excesivas en el forro, debido a que las hojas de madera contrachapada tienen las características estructurales de una placa, y es necesario limitar los desplazamientos de los bordes de las mismas cuando se encuentren bajo carga, lo que permite conservar la estanqueidad de las juntas del casco y mantener sin grietas el recubrimiento plástico con que se protege el forro.

El acero, junto al aluminio y la madera contrachapada (plywood) es uno de los materiales en hojas utilizados actualmente para la construcción del casco de embarcaciones menores.

La construcción de cascos con formas complejas conlleva a engorrosos trabajos de elaboración de los refuerzos transversales y de doblado de las planchas del forro, lo cual puede amortizarse solo después de la entrega de una serie grande de barcos del mismo tipo

El uso de formas simplificadas está muy extendido en el diseño y construcción de embarcaciones de poco porte, principalmente en países en desarrollo dónde, por lo general, los astilleros son pequeños y suelen estar mal equipados.

En la construcción de embarcaciones pequeñas de pesca la simplificación más utilizada es la de formas rectilíneas, que se caracterizan por cuadernas rectas quebradas. Para evitar tener que deformar las planchas en la dirección de la mayor rigidez es que se acude a la vía de simplificación de las formas mediante la eliminación de la doble curvatura del forro, o sea, haciendo que todas las superficies del mismo sean desarrollables en un plano (superficies cilíndricas y cónicas). Las formas descritas se conjugan habitualmente con la popa de espejo.

La simplificación de las formas mediante el uso de insertos cilíndricos, vía muy utilizada en el diseño de barcos mercantes, no se recomienda en el caso de pesqueros y otras embarcaciones pequeñas por consideraciones hidrodinámicas, además, la forma de quilla caída, habitual en esas embarcaciones no se presta a esa solución.

El ferrocemento predominó en la construcción naval de Cuba en las décadas del 70 y del 80.

Ese material se utilizó entonces para la construcción del casco de arrastreros-camaroneros, langosteros y otros barcos de pesca de poco desplazamiento.

Durante el diseño de las formas del casco de embarcaciones de F.C. se tuvo en cuenta la pobre resistencia a la tracción de ese material de construcción.

En general, el casco de esas embarcaciones se caracteriza por el pantoque redondo, la ausencia de inserto cilíndrico y de protuberancias y por muy pocas superficies planas.

En caso de cascos con espejo de popa, este debe ser combado. La quilla es de gran sección, que parte del talón en la cuaderna maestra hacia popa. Este detalle conduce a un aumento de la resistencia al avance y la heterogeneidad del flujo hacia la hélice.

En el fino de proa hay que evitar ángulos de entrada de las líneas de agua muy agudos para facilitar la compactación del material junto a la roda.

El coeficiente de bloque es algo superior al empleado en embarcaciones de características similares pero con otro material del casco.

Durante el diseño de las formas de embarcaciones de plástico se evita en lo posible las superficies planas muy extensas. Para ello se debe seguir el criterio de sustituir cualquier superficie plana de dimensiones considerables por una superficie curva o, si esto no fuera posible por consideraciones hidrodinámicas o de otro tipo, alterar la continuidad de la superficie añadiendo nervios moldeados con el mismo material.

Otro detalle importante a tener en cuenta durante el diseño del casco es la correcta disposición y dimensionamiento de los ángulos y aristas que necesariamente este poseerá. Debe evitarse los ángulos muy agudos y radios muy pequeños en las aristas ya que la colocación de tejidos de fibra de vidrio en los ángulos agudos es dificultosa y precisamente allí en la mayoría de los casos se forman inclusiones de aire.

También se debe asegurar el desmoldeo del casco ya laminado. Para ello todas las superficies del casco deben poseer una "salida" adecuada. Algunos autores recomiendan ángulos de salida que van de 1.1^{o} hasta 3.5^{o}

Mientras que en un casco de madera o metal es difícil ejecutar curvaturas grandes, en el caso del P.R.F.V. esto se logra fácilmente.

Se considera que las formas de cuaderna de curvatura suave son muy apropiadas para la técnica de laminado manual tradicional. Por otra parte, el método de laminado por rociado ó aspersión permite diseñar formas más complejas.

Pasando a la cuestión de los parámetros de forma de la carena, vemos que es posible escoger coeficientes de afinamiento del casco más bajos, ya que los cascos de P.R.F.V. resultan mucho más ligeros que los construidos con los materiales analizados anteriormente.

La determinación de las dimensiones principales.

Para la determinación de las dimensiones principales hay dos aspectos que resultan básicos como punto de partida, el primero las premias que establece en el pedido el armador y el

segundo y no menos importante el lograr conformar un listado de embarcaciones que operen en lugar donde operará la futura embarcación o en otros lugares, pero con similar propósito. Cuando más completo sea el listado, o sea cuantos más datos se puedan recopilar de cada una de ellas así será más fácil hacer la selección.

La conciliación de la solicitud del armador con las embarcaciones existentes permitirá definir en una primera aproximación los rangos de velocidad, potencia, esloras y proporciones de las dimensiones principales

Las proporciones de las dimensiones principales y las características de forma de las embarcaciones pequeñas (L<30 m) varían enormemente A pesar de ello, hay una serie de particularidades geométricas propias de la mayoría ellas.

La carena de una embarcación pequeña de pesca se caracteriza por valores bajos del grado de esbeltez, coeficientes de bloque pequeños y por una astilla muerta elevada.

La razón eslora-manga de estas embarcaciones se fija teniendo en mente el cumplimiento de las exigencias de estabilidad. Es por eso que, a pesar de los valores tan altos del número de Froude (hasta 0.42 y mas), la razón eslora-manga (L/B= 2.9-4.6) es muy inferior a los valores óptimos para tales velocidades relativas desde el `punto de vista de la resistencia al avance.

Para la determinación de la razón eslora-manga de embarcaciones de esas dimensiones, se recomienda la fórmula siguiente:

$$L/B= 2.0 + 0.055\bullet L \qquad (L<40 \text{ m}).$$

La deficiencia con la razón eslora-manga se compensa en cierto grado con valores bajos del coeficiente de bloque, que en la mayoría de los casos es inferior a 0.50.

Desde luego que un casco tan fino no posee mucha capacidad de bodegas, pero esto no es muy importante cuando se trata de travesías cortas como las habituales en las pesquerías costeras.

La variante de la fórmula de Alexander que se brinda a continuación relaciona el coeficiente de bloque de dichas embarcaciones con su velocidad.

$$Cb= 0.92 - 0.35\bullet V/ \sqrt{L} = 0.92 -1.176\bullet Fn$$

donde: V- velocidad de la embarcación (nudos); L- eslora entre perpendiculares (pie)

En cuanto a las secciones transversales, estas se diseñan de acuerdo a la regla antigua que reza que el coeficiente de afinamiento de la cuaderna maestra (Cm) debe ser pequeño. Así, se halla embarcaciones con formas de yate, con valores de Cm en las proximidades de 0.50.

La combinación de bajos valores de los coeficientes de bloque (Cb) y Cm permite obtener valores del coeficiente prismático (Cp) cercanos a los óptimos.

Por otra parte, valores demasiado bajos del coeficiente prismático conducen a finos de proa y popa muy agudos, por lo que habitualmente se toma alrededor de 0.60 para pesqueros con proa convencional.

El ángulo de entrada de la flotación también varía en un rango muy amplio en las embarcaciones analizadas. El ángulo de entrada depende más de la longitud de la entrada, la razón manga-eslora y la posición deseada del centro de carena en distintas condiciones de carga, que del ángulo óptimo de entrada.

Algunos autores han señalado, que en barcos de mucha manga es difícil obtener ángulos de entrada pequeños sin crear "hombros" al final de la entrada, lo que da lugar a una fuerte formación de olas.

El rango de variación de las proporciones y coeficientes de afinamiento de un grupo significativo de embarcaciones cubanas se muestra a continuación:

L/B 3.00-3.87

B/T 2.30-4.32

$L/\nabla^{1/3}$ 3.59-4.85

Cb 0.394-0.540

Cm 0.658-0.830

Cp 0.571-0.660

Ie (ángulo de entrada de la flotación) $23.5\text{-}42^0$

El coeficiente de bloque más alto lo poseen las embarcaciones con casco de F.C. El mayor coeficiente de afinamiento de la cuaderna maestra lo tienen los viveros-langosteros y el menor los barcos con casco de madera.

La menor esbeltez la poseen los camaroneros, que tienen una razón B/T propia de arrastreros de mayor porte.

La predicción de la resistencia al avance, definición de la potencia del motor.

Independientemente del rango obtenido del listado de embarcaciones similares es necesario asegurar que la velocidad que se requiere satisfaga los mínimos requerimientos de seguridad, o sea que permita que para la zona de navegación (entiéndase distancia máxima de alejamiento del puerto base) la velocidad máxima a alcanzar permitirá el regreso a tiempo a puerto de la embarcación después de haber recibido el aviso de alguna contingencia.

Para la predicción se recomienda la utilización de varios métodos aproximados, de los cuales se promediará entre los que más coincidan y se desecharán los que más se alejen.

Los que dan resultados más confiables hasta ahora para el tipo y proporciones de las embarcaciones cubanas son el de Oortmersen V. V. , y el remolcadores y empujadores de la universidad de Southampton, aunque también hay otros.

No se descarta la determinación de la resistencia por coeficientes de resistencia total para una embarcación de eslora estándar, como el método para la determinación de la resistencia al avance y potencia de remolque de arrastreros medianos, barcos de cabotaje y otras embarcaciones de eslora similar, donde se utiliza frecuentemente el coeficiente C_{R200}, correspondiente a una eslora entre perpendiculares de 200 pies (61.0 m). Tambien la FAO propone luego de haber transformado un gran número de datos de resistencia de barcos pesqueros de todo el mundo a un modelo básico de 16 pies (4.88 m) utilizando el coeficiente C_{R16}.

C_{R16} es el coeficiente de resistencia total en la forma de Telfer para el modelo con eslora entre perpendiculares estándar de 16 pies.

La utilización de este tipo de coeficiente exige el recálculo de la resistencia para una embarcación de eslora distinta a la estándar, ya que habrá diferencias en la resistencia de fricción.

Para la transición de la eslora estándar a la eslora del barco a proyectar en este último caso se utiliza la ecuación recomendada por la I.T.T.C, que puede simplificarse a:

$$C_{R(L)} = C_{R16} - 99.181 \bullet S \bullet L/\nabla^{1/3} \bullet (C_{F16} - C_{FL})$$

dónde: $C_{R(L)}$ -coeficiente de resistencia total del barco a proyectar

S -superficie mojada de la carena, m^2

C_{F16} y C_{FL} -coeficientes de fricción de la placa plana equivalente para el modelo de 16 pies y para la embarcación a proyectar, respectivamente.

L -eslora en flotación, m

Δ -desplazamiento, tons

La resistencia total se calcula como:

$$R = C_{R(L)} \cdot \Delta \cdot V^2 / L$$

dónde R- resistencia al avance

El diseño de interiores

La ejecución del arreglo o de la disposición general, dado lo limitado de los espacios constituye una de las tareas más arduas para el diseñador o proyectista.

Como se trata de embarcaciones generalmente de una sola cubierta los compartimientos bajo de esta están muy bien definidos: piques, cuarto de máquinas, bodega o nevera refrigerada, pañol o camarote.

Sobre cubierta igualmente hay tres áreas muy bien definidas, el área de proa, la de trabajo y la del alojamiento o caseta.

La caseta consta de 4 partes fundamentales, puente, cocina, baño y alojamiento para la tripulación.

La conciliación entre área de trabajo, posición del moptor, (escape) y posición y área de la caseta en base a la cantidad de tripulantes, es lo que arroja el resultado final.

Para las embarcaciones cubanas el área por tripulante en la caseta está entre 0.32 – 0.4

3. CONCLUSIONES.

1. El diseño naval visto como un proceso de sucesivas aproximaciones es más rápido y efectivo cuando se logra partir de un diseño inicial lo más cercano posible a lo que se desea. Para esto se requiere de disponer de criterios y guías para la definición de los parámetros iniciales y la predicción del comportamiento de la futura embarcación en el mar, los cuales para embarcaciones de porte reducido no abundan, por lo que el diseño de estas significa un proceso más largo y que puede no ser efectivo en cuanto a resultados finales si el punto de partida es escogido de forma errónea.

2. Las proporciones de las dimensiones principales y las características de forma de las embarcaciones pequeñas (L<30 m) varían enormemente A pesar de ello, sí hay identificadas una serie de particularidades geométricas propias de la mayoría ellas.

3. Para la determinación de las dimensiones principales hay dos aspectos que resultan básicos como punto de partida, el primero las premisas que establece en el pedido el armador y el segundo y no menos importante el lograr conformar un listado de embarcaciones que operen en lugar donde operará la futura embarcación o en otros lugares, pero con similar propósito. Cuando más completo sea el listado, o sea cuantos más datos se puedan recopilar de cada una de ellas así será más fácil hacer la selección.

4. La importancia de la conciliación de la solicitud del armador con las embarcaciones existentes, pues es lo que permite definir en una primera aproximación los rangos entre los que se seleccionará la velocidad, potencia, y dimensiones principales

4. BIBLIOGRAFÍA.

Archivos del Centro de Proyectos Navales

Frías Rodríguez O. E. Propuesta de nueva forma de casco para sustituir los actuales cascos de 14 m en la plataforma cubana. CEPRONA, 2015

Galiano Ortíz A. F. El ferrocemento. Su aplicación en la construcción de embarcaciones. ESPOL. Guayaquil, 2004

Galiano Ortíz A. F. Experiencias en la construcción de embarcaciones para la sostenibilidad de la pesca en las aguas de Cuba. COPINAVAL. La Habana 2003

Rakov, A. I. Optimizatsiya osnovnykh kharakteristik i elementov promyslovykh sudov.

Leningrad. "Sudostroenie", 1979.

Torres González F. La resistencia al avance de las embarcaciones de pequeño porte, CEPRONA, 1991

SWATH- A NEW CONCEPT FOR THE SAFETY AND SECURITY AT SEA

Grannemann, Fritz[1]

[1]Exclusive Representative of Abeking & Rasmussen in Mexico

Abeking & Rasmussen Schiffs- und Yachtwerft Aktiengesellschaft

Tel: +49 421 6733, in Mexico: +52-155-4368 4580

info@abeking.com, fritz.grannemann@globe.mx, www@abeking.com

RESUMEN.

SWATH *means* ***S****mall* ***W****aterplane* ***A****rea* ***T****win* ***H****ull and is guarantor for excellent sea keeping behaviour. The basis of this ship type was born in the 1960's and 70's when semi-submersible vessels were introduced to the offshore market. Naval architects developed these vessels further and it was used as navy test craft, pilot tender, yachts, passenger boats etc.*

The German Shipyard Abeking & Rasmussen has more than 100 year of experience in innovative ships and designs. Since 1999 more than 20 SWATH vessels like pilot tender, pilot station vessel, explorer yacht, wind park maintenance tender, offshore patrol vessels and a hydrographical research vessel were built.

This paper should give an insight to the SWATH technology and the implementation in the market. Different applications and ideas will be shown. Whatever you need - a navy ship, a workboat, a multi-purpose platform a ferry or a yacht – there are many possibilities.

1. INTRODUCTION.

The seakeeping capability of conventional ships depends mostly on their size and displacement. Naval architects usually optimize seakeeping behavior by well chosen main dimensions and refined hull lines.

Depending on sea state, a vessel is exposed to alternating accelerations, rolling and pitching motions. The difficulty is not to design a vessel strong enough to withstand those

environmental forces, but exposing sailors operating the vessel to these adverse conditions over a longer period of time.

Various stabilization systems have been developed to reduce rolling and pitching, some with remarkable results, but all of these systems have their limits as they cannot push beyond the limit set by physics.

By mastering a unique design, which focuses on minimizing the waterplane area of the vessel, A&R succeeded in reducing roll, pitch and accelerations in bad weather conditions to a comfortable level, even for non-sailors.

Since 1999 SWATH@A&R®-vessels are in daily service in the German Bight providing pilots a safe and stable platform with exceptional seakeeping capabilities. Over the years other applications were explored, designed and built and by today more than 20 SWATH vessels have been delivered.

This paper presents an overview of semi-submersible technology at the state-of-the-art for twin hull vessels and the special features developed by A&R.

2. WHAT MAKES A SWATH A SWATH?

The buoyancy of a SWATH is provided by fully submerged, torpedo-like bodies, which are connected by single or twin struts to the upper platform. The cross-section at waterline level is minimized and thus lowering the hydrostatic restoration forces at design draft. The resulting wave induced motions in the vertical plane are reduced about one quarter of those of comparable monohulls. Figure 1 shows a comparison of waterline areas for different hull configurations.

Using the precise wording of the German Armaments Control Act (Kriegswaffenkontrollgesetz), a SWATH is a craft with reduced waterplane area (A_{WL}) relative to its displaced volume (∇), specifically:

$$A_{WL} < 2 \cdot \nabla^{2/3}$$



Figure1: Comparison of different waterline areas

Two design justifications for reducing the waterplane area are:

- To reduce the wave-making resistance.
- To reduce sea-induced ship motions.

The original intention for the design of SWATH vessels was probably to develop unconventional fast crafts by reduction of wave-making resistance. A&R concentrated on the reduction of sea-induced ship motions to improve seaworthiness, crew effectiveness and vessel availability in bad weather conditions. A SWATH@A&R® is by definition a fast displacement vessel. It is designed for operation at speeds up to a Froude number of 0.75, without slamming. These are speeds higher than those of frigates, refrigerated carrierers or corvettes, when related to ship length.

Semi-submersibles can be classified by the number of displacement bodies in each configuration. Table 1 divides SWATH configurations into design configurations.

The evolution of SWATH design from first generation onwards increased the complexity of the development process because of the increasingly complicated interactions of the displacement bodies. The analysis of hydrodynamic and structural factors, including the optimization of resistance, becomes more difficult, increasing the required qualifications for naval architects during design development.

Type	Number of Displacement Bodies		Status
Monohull	1 Hull	1	proven
Catamaran	2 Hulls	2	proven
Generation I SWATH (single strut)	2 Struts 2 Torpedos	4	proven
Generation II SWATH (twin strut)	4 Struts 2 Torpedos	6	proven
Generation III SWATH (SLICE)	4 Struts 4 Torpedos	8	experimental
Generation IV SWATH (twin strut, single hull) (SWASH)	2 Struts 1 Torpedo 2 Outriggers	3 (5)	proven (in service since 2014)

Table 1: SWATH generations

The greater the number of displacement bodies in a SWATH design, the greater the potential for meeting specific design requirements. At the same time, increased complexity of the design procedure adds to the sensitivity of the design to construction inaccuracies, expressed as excess weight or inadequate hull structure.

2.1. Generation I SWATH: single strut

Advantages:

- Good accessibility to spaces in lower hulls.
- Good transverse strength.
- Simple construction.
- Significantly reduced ship motions compared to monohulls and catamarans.

Disadvantages:

- Hydrodynamic efficiency (resistance and seakeeping) limited by layout.
- Sensitive to speed dependent trim moments (Munk moments).

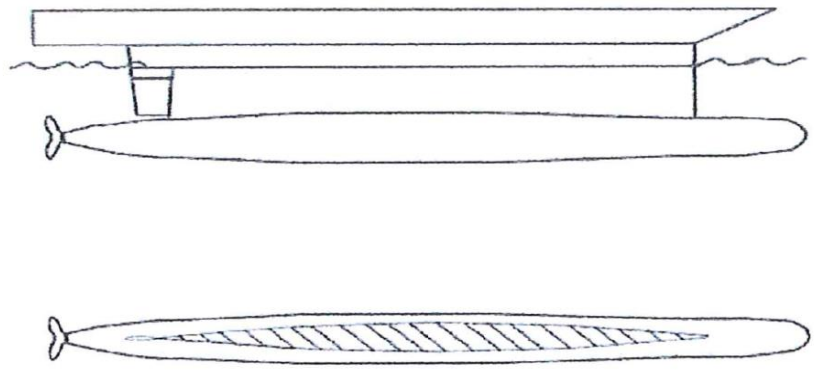


Figure 2: Generation I SWATH

2 *x 2 buoyancy hulls, usually streamlined, single struts and relative large waterplane area.*

2.2. Generation II SWATH: twin strut.

Advantages:

- more options for hull form shape to optimize resistance
- longitudinal stability can be matched easier to transverse for optimal seakeeping compared to Generation I SWATH (single strut)
- higher speed with stability in smooth water or a seaway
- compared with Generation I SWATH (single strut) further reduction of ship motion
- more sensitive reaction of ride control action, even stability longitudinally is increased

Disadvantages:

- limited accessibility to lower hull spaces („bottle necks“ in the struts for maintenance, ventilation, manholes, emergency exits)
- increased requirements to an optimized hull structure

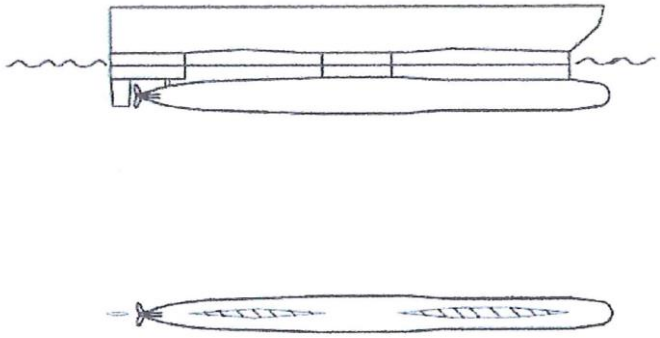


Figure 3: Generation II SWATH

2 x 3 buoyancy hulls, with optimized hull form and minimized waterplane area. The different buoyancy parts (twin strut and longer hull) interact depending on form, length and width.

3. SWATH VS. MONOHULL.

Human beings which are permanently exposed to sea response motions (i.e. alternating accelerations) suffer from lack of concentration, exhaustion and seasickness. Even if experienced sailors get accustomed to motions of a vessel, it only prolongs the period of time when exhaustion and fatigue occurs.

In order to keep crew and passengers fairly comfortable and enable them to perform their main duties, limits have been defined, e.g. by the U.S. Navy or by ISO standards for the permanent allowable accelerations on board of seagoing vessels.

Following limits are widely accepted:

- Crew and passenger comfort: 0,2 g
- Operating limit experienced Crew: 0,4 g

Figure 4 shows a comparison between vertical accelerations onboard a 33 m A&R built DeepVee Monohull and a slightly smaller 25 m SWATH@A&R® Pilot Tender with comparabale displacements. Measurements were conducted at various speeds in head seas of approximately 2 m and 3 m significant wave height respectively which corresponds to about sea state 5.

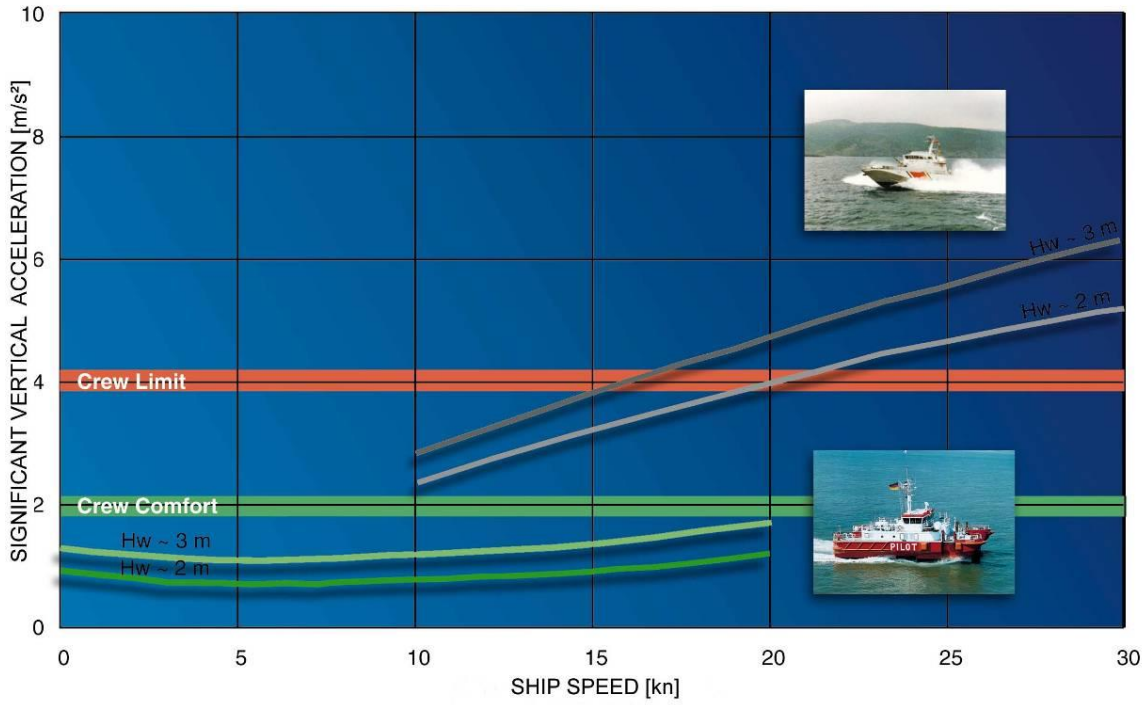


Figure 4: Comparison of vertical accelerations

To stay within the "Crew Limit" of 4 m/s², the maximum speed of the DeepVee vessel needs to be reduced to 16 and 20 knots depending on sea state.

In comparison, the 25m SWATH@A&R® Pilot Tender maintains its top speed of 20 knots even without exceeding the "Crew Comfort" limit of 2 m/s².

4. SWATH@AR DESIGN FEATURES.

a) General Design Concepts.

A&R has until today developed and built four different groups of SWATH vessels defined mainly by length and deadweight capacity. Each group is characterized by the same underwater body hull form, strut configuration, platform design and hull structure. Given the constraints for weight and centers of gravities, almost any other change to the designs are practicable which has been successfully proven by A&R in several cases (Table 2).

GROUP	APPLICATION	STATUS
25 m SWATH	Pilot Tender	built
	Hydrographic Research Vessel	built
	PV - Patrol Vessel	built
	MCMV - Mine Countermeasures Vessel	experimental
	USV - Unmanned Surface Vehicle	project
	Wind Farm Crew and Maintenance Vessel	built
40 m SWATH	Explorer Super Yacht	built
	Crew Supply Vessel	project
	Research Vessel	project
50 m SWATH	Pilot Station Ship	built
	Wind Farm Maintenance and Hotel Vessel	project
60 m SWATH	Pilot Station Ship	built
	Offshore Wind Farm Maintenance and Hotel Vessel	project
	SIGINT Vessel (**SIG**nal **INT**elligence)	project
	Research Vessel	project

Table 2: Different applications of SWATH@AR®

b) Propulsion Concepts.

Both diesel-electric and diesel-mechanic propulsion concepts are available for all SWATH@AR® vessels. Depending on the main task of the vessel, the most suitable concept with regards to operational and economical requirements is installed.

The contrast between both propulsion concepts is noticeable, especially for the smaller 25 m SWATH. Two diesel-generators are installed within the platform above water level providing power for electric motors which are installed within the displacement bodies below water level. Each of the electric motors drive fixed pitch propellers through reduction gearboxes enabling speeds up to 20 knots. A&R succeeded in implementing a diesel-mechanic propulsion where propulsion diesels are installed within the displacement bodies below water level driving controllable pitch propellers through reduction gearboxes enabling even higher speeds up to 21.4 knots.

Advantages of the diesel-mechanic propulsion are:

- Added space within the platform which can be utilized for extra cabins or other purposes.

- Low noise and vibration levels since exciters are installed below water level remote from personnel onboard.

c) Modularity

A multi-purpose tool contains a variety of elements in one basis. The different tasks can be fulfilled by "switching" from one to the other element. By the nature of such a tool, the integration of the different elements requires compromises with regard to handling the tool and the integration of other elements. Some bulked variants of the well known Swiss Army Knife represent best whereto multi-purpose might lead. A modular tool consists of one common basis which can be supplemented by modules for a dedicated task. By exchanging the modules the tool can be configured for various different tasks and at the same time each configuration represents a dedicated tool. A socket wrench set is the best example for such a modular tool. Dedicated, single tasked vessels are hardly affordable in an era of shrinking budgets while the mission variety is increasing, which is the case especially for navies and authorities. With decreasing number of hulls within most fleets, modular or multi-purpose "tools" are considered to be the solution for executing all required naval tasks.

A&R responded to these requirements by implementing a containerized solution to its 25 m SWATH. One module with the size of a standard ISO 20 ft. container can be stored in front of the superstructure in-between the stems (figure 5 and 6).



Figure 5: 20' container storage for modules

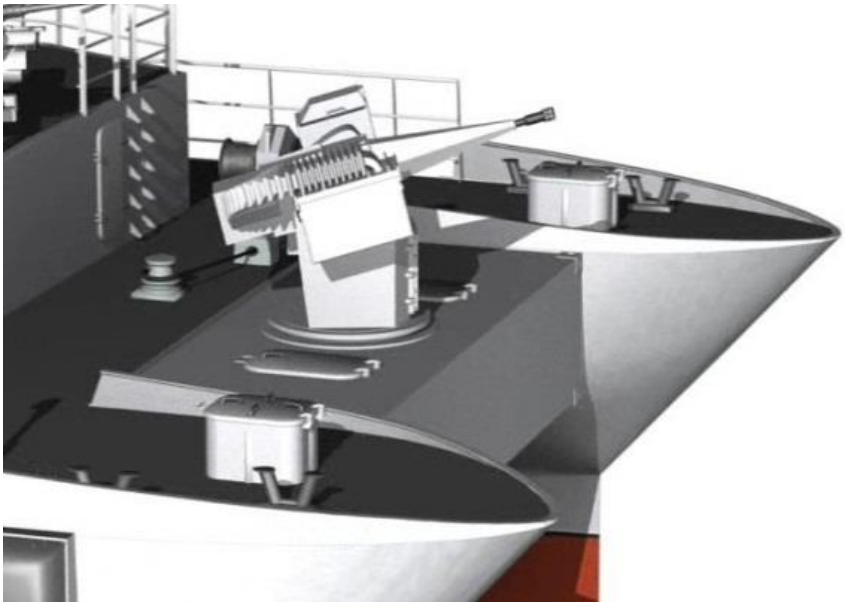


Figure 6: Example of a gun module

The gun module fitted with a medium calibre gun contains all subsystems necessary for operation of the gun, including ammunition. Only electric voltage (440V) will be supplied, target data will be transmitted by a data bus. Due to this limited interface requirement, the gun module can also be used on other units and even onshore.

Under condition of a compatible target assignment format, modules can be used by army units as well, e.g. for camp protection tasks. This brings the advantages of modular ship design into a “joint” account.

Instead of the gun module, other modules are possible for secondary tasks. The interfaces remain the same, i.e. only electric voltage, connection to the ship’s data bus plus seawater and possibly freshwater. These interfaces will be available on almost every other craft of opportunity thus broadening the basis of using the modules other than installed on board of the 25 m SWATH.

A module equipped with sonar ROV will enable MCM operations, such as e.g. route survey. Even a hyper baric diving chamber and breathing air compressor might be fitted for diving operations. The stable SWATH makes a perfect platform for diving operations. Access to the water is conveniently given by a hydraulic lift on the starboard side which reaches from main deck level well below the water surface.



Figure 7: ROV module, oil recovery module, diving module and gun module

Other modules might contain equipment for oil pollution control or hydrographic research equipment. Further applications can be developed as long as it is within the geometrical dimensions and the maximum weight. This allows cost effective future upgrades and enhancements of secondary missions.

d) Redundancy.

Depending on the requirements and operational profile of a vessel, different redundancy levels for propulsion and ship's service system can be achieved with a SWATH. In any case two independent compartments comprising both lower hulls including two identical propulsion systems (one in each hull) are available. Given this compartmentation, gensets, auxiliary systems and electric panels need to be located in separate and independent engine rooms within the superstructure to achieve extra safety and redundancy effects. This can be achieved with small structural changes within the platform and of course with duplication of systems as required by redundancy class. An additional benefit is the large spatial distance between both propulsion trains providing additional safety.

5. SWATH@A&R® IN SERVICE.

a) 25 m SWATH@A&R® Pilot Tender Mk I



Figure 8. 25 m A&R Pilot Tenders MK I

Length o.a:	25.65 m	Displacement:	129.0 t
Breath o.a.:	14.25 m	Speed:	18 kts
Draught:	2.70 m	Class:	GL

In close cooperation with the Elbe Pilot Association Abeking & Rasmussen developed technical systems tailored to the boarding procedure required, such as:

- Fendering system.
- Quick ballast system.
- Boarding aids.

Until today each of the vessels has accumulated more than 15.000 operating hours in regular all day/all weather pilot operation. This longtime operating since 1999 experience of SWATH vessels in a tough workboat application gives Abeking & Rasmussen a good insight into the structural and mechanical stresses of such a vessel and as such is a valuable design feedback.

b) 50 m SWATH@A&R® Pilot Station Ship



Figure 9. 50 m A&R Pilot Station Ship

Length o.a:	49.90 m	Displacement:	1,480.0 t
Breath o.a.:	22.55 m	Speed:	14.2 kts
Draught:	5.90 m	Class:	GL

Since commissioning in 2000 the “ELBE” has been in continuous operation in the North Sea of Cuxhaven. She is just undergoing her second class docking and has not been in a shipyard since the class docking before. The “ELBE” stays at sea all year round acting as a hotel ship for the off-duty Elbe Pilots. She is off station for about 12 hours when she calls Cuxhaven every 14 days for replenishment and crew change. During approx. 40.000 operating hours which were accumulated by the “ELBE” until today a lot of operational experience in supporting the SWATH Pilot Tenders was gained. This resulted in some important improvements with regard to SWATH Pilot Tender operation and replenishment at sea.

c) 25 m SWATH@A&R® MCMV Demonstrator



Figure 10. 25 m A&R MCMV Demonstrator

Length o.a:	26.15 m	Displacement:	132.9 t
Breath o.a.:	14.25 m	Speed:	16 kts
Draught:	3.20 m	Class:	GL

In 2002 the German MoD placed an order for the development of a remote operated Mine hunting System. Apart from the sonar system the sea keeping performance of the platform was a key issue. A calm and stable platform with good maneuverability is required to enhance the sonar performance. Therefore the choice was made for the SWATH@A&R® technology.

d) 40m SWATH@A&R® Motor Yacht



Figure 11. 40 m A&R SWATH Motor Yacht

Length o.a:	40.50 m	Displacement:	597.0 t
Breath o.a.:	17.80 m	Speed:	14 kts
Draught:	4.10 m	Class:	GL/MCA

In 2006 Abeking & Rasmussen secured the first order for a SWATH Motor Yacht for worldwide operation. This was the first SWATH-type Mega yacht of the world. It accommodates one yacht tender and a landing deck for a 2.5 t helicopter. All demanding contractual requirements for sea keeping parameter, speed and comfort were even exceeded. Her seaworthiness equals the much larger 50m SWATH@A&R® Pilot Station Ship

e) 60 m SWATH@A&R® Pilot Station Ship



Figure 12. 60 m A&R Pilot Station Ship

Length o.a:	60.40 m	Displacement:	1,800.0 t
Breath o.a.:	24.60 m	Speed:	12.5 kts
Draught:	6.0 m	Class:	GL

In 2007 the German Ministry of Transport ordered two larger variants of the existing Station Ship to serve the increasing traffic in the German North Sea to/from the ports and the Kiel Canal. The new ships include all improvements based on the 7 years of experience with the existing ships.

f) 25 m SWATH@A&R® Crew Transfer Vessel



Figure 13. 25 m A&R Crew Transfer Vessel

Length o.a:	26.10 m	Displacement:	132.9 t
Breath o.a.:	13.00 m	Speed:	18 kts
Draught:	2.70 m	Class:	GL

In March 2008 the BARD group ordered the 25m SWATH@A&R® platform as service vessel for their offshore wind farm under construction in the North Sea. To achieve a high availability of the wind energy converters it is mandatory to be able to transfer service personnel to the offshore structures even in high seas. Consequently the SWATH technology was chosen.

The 25 m SWATH@A&R® Crew Transfer Vessel is equipped with a special bow fender for additional damping, allowing direct boarding of the offshore structure and a dedicated diesel-electric propulsion for highest maneuverability at zero speed.

g) 25 m SWATH@A&R® Patrol Boat



Figure 14. 25 m A&R Patrol Boat

Length o.a:	25.80 m	Displacement:	132.9 t
Breath o.a.:	14.25 m	Speed:	20 kts
Draught:	2.70 m	Class:	GL

In 2008 the Latvian Navy placed an order for five 25m SWATH@A&R® Patrol Boats based on the design of the 25m Pilot Tender. The decision was explicitly made to benefit from the well proven seaworthiness of the compact vessels. A crew of eight can remain at sea for one week to fulfill patrol and surveillance tasks, SAR missions and to participate in international assignments.The new vessels features a modular mission bay at the fore ship. By fitting appropriate mission modules, such as a medium caliber gun or mine hunting equipment, the capabilities of the vessels can be flexibly enhanced to suit the actually assigned task.

h) 20 m SWASH@A&R®



Figure 15. 20 m SWASH@A&R

Length o.a:	20.42 m	Displacement:	65 t
Breath o.a.:	12.16 m	Speed:	16.5 kts
Draught:	3.10 m	Class:	GL

At first glance one would classify the SWASH as a trimaran which it is not. A typical trimaran features a very slender monohull supported by outriggers. Whereas 100% buoyancy is provided by two submerged hulls on the SWATH, only one submerged hull provides about 85% of the buoyancy on the SWASH. One outrigger on each side of the vessel provides the remaining buoyancy and the necessary static transversal stability.

Abeking&Rasmussen has built one SWASH prototype todate. The vessel is currently undergoing extensive trails as pilot transfer vessel at the entrance to the Kiel Canal at Brunsbüttel. In this area choppy wave conditions develop quite frequently when wind is against tide. In close cooperation with the Elbe Pilot Association Abeking&Rasmussen developed technical systems tailored to the boarding procedure required.

PROYECTO ANTARTICA I
DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROMPEHIELOS PARA CHILE

Diaz Ibieta, S.

Astilleros y Maestranzas de la Armada

Jorge Montt 250, Base Naval Talcahuano, sdiaz@asmar.cl

RESUMEN.

Chile es un país que tiene una gran cercanía al continente antártico, no solo geográficamente sino también en su historia, desde el año 1916 con el primer rescate y hasta el año 1959 cuando se firmó el tratado antártico, siendo Chile protagonista.

Actualmente Chile cuenta con medios navales para las labores de apoyo logístico, Búsqueda y Rescate y actividades científicas en la región antártica, pero que tienen grandes limitaciones estacionales, sobre todo en las áreas que se pretende incursionar. Por tal motivo se han efectuado los estudios necesarios para definir los requerimientos de alto nivel y aquellos de mayor nivel de detalle, con el objeto de generar las bases para el diseño de un buque que tenga mayores prestaciones y menores limitaciones estacionales, para ser construido en el Astillero de ASMAR.

Junto con la difícil tarea de recoger y congeniar todos los requerimientos de las distintas entidades participantes en las labores de Apoyo Logístico, Búsqueda y Rescate e Investigación Científica, hubo la necesidad de estimar el tamaño de la nave que resultaría de este requerimiento. Para tal efecto, se definió una Especificación Técnica de Requerimientos, la cual fue desarrollada en una estructura sistémica incorporando todos los requerimientos necesarios, tanto de alto nivel como niveles más bajos y se inició el desarrollo de un arreglo general conceptual, que terminó con un grado de detalle importante. En algunos casos se establecieron soluciones técnicas por adelantado, a pesar de que aún no había comenzado el diseño básico, pero que eran necesarias para definir los volúmenes, áreas y espacios interiores del buque.

La presentación tiene por objeto mostrar el resultado del análisis conceptual del buque que mejor cumpliera los requerimientos establecidos por todos los participantes (operadores), con el grado de detalle que se manejó para definir las bases técnicas que servirán para desarrollar el diseño básico del buque. Finalmente se indicarán los aspectos más importantes para considerar la construcción de este buque en el Astillero de ASMAR en Chile.

1. INTRODUCCION

1.1. Antecedentes

Chile ha tenido una participación importante y protagónica en el territorio Antártico, siendo parte de la historia desde 1916 cuando el Escampavía Yelcho de la Armada Nacional, bajo el mando del Piloto 2° Luis Pardo, efectuó el difícil rescate de los náufragos de la célebre expedición científica británica de Ernest Shackleton, que llevaban ocho meses en la Isla Elefante (Shetland del Sur) en pleno invierno. Posteriormente el año 1940, el presidente Gabriel Gonzalez Videla decreta el "Territorio Antártico Chileno", comprendido entre los meridianos 53° y 90° oeste. La primera base nacional llamada Soberanía, se inauguró el año 1947, la que actualmente se llama Arturo Prat y hacia el año 1948 el Presidente Gabriel Gonzalez Videla ordena la creación de la Base Libertador Bernardo O'Higgins, siendo estas una de las más antiguas en el Continente.

Entre los años 1946 y 1959 se desarrollaron diversas maniobras, actividades conflictivas y discusiones en torno a la Antártica, en donde participaron muchos países, pero principalmente Chile, Argentina, Gran Bretaña, Estados Unidos y Rusia, no logrando llegar a ningún acuerdo.

A fines del año 1959 se firma el "Tratado Antártico" por parte de los 12 países activos en este continente, el cual entró en vigencia el 23 de Junio de 1961. La firma del tratado Antártico sirvió de fundamento para otros acuerdos internacionales que facilitaron la actividad científica y la preservación del medio ambiente natural. Ejemplo de estos tratados son la Convención de Bruselas de 1964 para la protección de la flora y fauna antártica, el Tratado de Londres de 1972, el de Canberra de 1980, hasta el protocolo de Madrid firmado en 1991 y que entró en vigor en 1998, reforzando los principios del Tratado Antártico y garantizando la protección de la Antártica como reserva natural consagrada a la paz y a la ciencia.

1.2. Bases Antárticas.

En el continente Antártico existe presencia de unas 27 naciones y una diversidad de bases, las cuales están habitadas en forma permanente o temporal, dependiendo del equipamiento y uso que se les da. Estas bases son utilizadas exclusivamente para la investigación científica (estudios ambientales, biológicos, climatológicos, geológicos, marinos e incluso espaciales), permitiendo también cierta actividad comercial bajo un estricto control ambiental (pesca y turismo).

Algunas de las bases actuales son de tal tamaño e importancia que viven familias enteras, poseyendo incluso escuelas, iglesias, estaciones de radio y todo lo necesario para vivir en forma permanente con temperaturas de hasta -70°C (Temperatura media anual es de -49°C) y vientos de hasta 100 km/hr.

Como el Tratado Antártico explícitamente prohíbe reclamar o afirmar territorio a nombre de un país o agrupación, cualquier país puede instalar una base en cualquier sector del territorio que sea aprobado por los miembros consultivos, dentro de los cuales se encuentra Chile.

Por disposición internacional (y según lo establecido en el Tratado Antártico), todas las bases están obligadas a proveer ayuda a otra base si así lo requiriera, independientemente del país al que pertenezca, no sólo humanamente, sino que también deberán compartir la información obtenida en estudios científicos realizados y mediciones tomadas.

Interesante resulta destacar que Chile es el 3er país con más bases permanentes en la Antártica (20 países, 41 bases, 4 Chilenas), posee la 2da y 3ra bases más antiguas instaladas (1era es Argentina) y posee la 2da base con mayor capacidad de personal (*Pdte. E. Frei CHILE (78)*)[1].

1.3. Proyecto Antártica I

El estado de Chile, consiente de la labor que debe desarrollar en el Territorio Antártico, asigna

[1] Referencia: https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Bases_antárticas_permanentes

la responsabilidad de Apoyo Logístico a las Bases Antárticas, apoyo a la Investigación y

labores de búsqueda y rescate, a la Armada de Chile y Fuerza Aérea de Chile, los cuales ponen a disposición los medios con que cuentan para tal efecto.

La Armada, a través de su buque rompehielos "AP-46 Almirante Oscar Viel", el cual fue construido en 1969, ha estado otorgando este apoyo desde principios del año 1995, pero ya ha superado su vida útil (Actualmente tiene 46 años) siendo necesario su reemplazo. El resto de las unidades que prestan apoyo a las bases Antárticas no fueron diseñadas ni construidas como rompehielos y por lo tanto dan soporte estacional limitado, principalmente en épocas de verano y en sectores geográficos alejados de los hielos.

La Armada de Chile, con el apoyo de Astilleros y Maestranzas de la Armada, ASMAR, está llevando a cabo un proyecto, denominado ANTARTICA I, para el diseño y construcción de un buque rompehielos que sirva para el cumplimiento de las misiones que el Estado de Chile le ha encomendado en la Región Antártica. El proyecto se ha dividido en 2 fases, la primera que corresponde al desarrollo del Diseño Básico y la segunda que concierne a la Construcción del buque en ASMAR, previa evaluación del costo y otras implicancias que pueda tener.

2. OBJETIVOS.

Previo al desarrollo del diseño básico, el cual se definió para ser ejecutado por un Diseñador con experiencia en este tipo de buques, ASMAR desarrolló un estudio conceptual, en conjunto con la Armada, principalmente para determinar o tener una idea de las dimensiones aproximadas y características que resultarían para un buque de este tipo, habida cuenta de los requerimientos de alto nivel (RAN) establecidos por la Armada que debía cumplir.

El objetivo de este trabajo es mostrar el resultado del análisis conceptual del buque que mejor cumpliera los requerimientos establecidos por todos los participantes (operadores), que servirán además para definir las bases técnicas para desarrollar el diseño básico. Finalmente se indicarán los aspectos más importantes a considerar la construcción de este buque en el Astillero de ASMAR en Chile.

3. REQUERIMIENTOS DEL BUQUE.

3.1. Roles o Misiones.

Como resultado de las tareas que se deben desarrollar en la Antártica, ya sea por responsabilidad directa de la Armada o indirectas como apoyo a otras entidades, se han definido 3 Misiones principales:

a) Apoyo Logístico a las Bases Antárticas:

Esta considera desde la provisión de víveres, combustible, traslado de personal, retiro de basura, transporte de equipamiento y materiales, etc.

b) Búsqueda y Rescate:

Asistencia a naves o embarcaciones accidentadas en un vasto territorio marítimo asignado, debiendo el buque estar dotado contar con los medios adecuados.

c) Investigación Científica:

Desarrollo de investigación de diferente naturaleza, ya sea efectuada a bordo o en tierra, para lo cual debe contar con áreas y equipamiento adecuado.

3.2. Requerimientos del Plan Antártico.

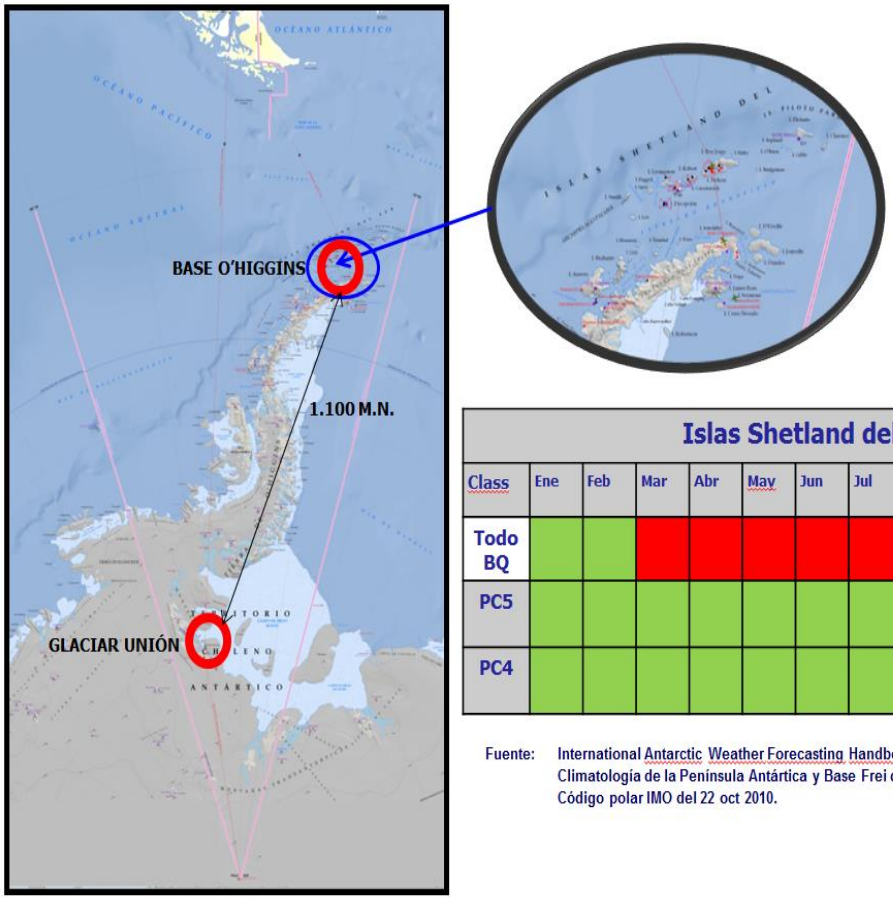
Se indican a continuación las 3 áreas principales de operación[2], siendo la primera la de mayor concurrencia, tanto para labores de Apoyo Logístico, como de Investigación.

a) Islas Shetland del Sur.

Rol Logístico, de Apoyo a la Ciencia y Rescate. Fortalece la presencia de Chile en el Continente.

---

[2] Información proporcionada por la Dirección de Programas, Investigación y Desarrollo de la Armada de Chile - DIPRIDA



Islas Shetland del Sur

Class	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Todo BQ												
PC5												
PC4												

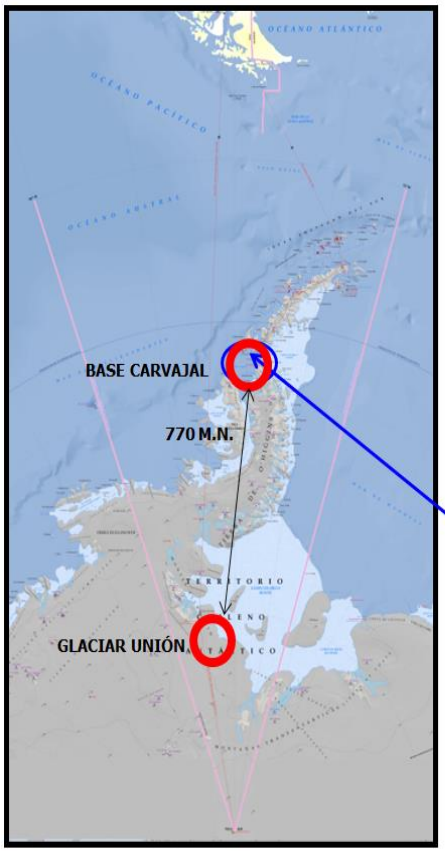
Fuente: International Antarctic Weather Forecasting Handbook ago 2000.
Climatología de la Península Antártica y Base Frei de la Dirección Meteorológica de Chile.
Código polar IMO del 22 oct 2010.

El gráfico indica que, cualquier buque sin características de Rompehielos (Todo BQ) puede operar los meses de Enero y Febrero, teniendo la precaución de esperar condiciones meteorológicas favorables en Diciembre (temporada de verano). Durante el resto del año estos buques no pueden operar. Buques rompehielos con la clasificación PC4[3] y PC5[1] pueden operar sin restricciones durante todo el año.

b) Isla Adelaida (Base Tte. Carvajal) y Bahía Margarita.

Rol Logístico, de Apoyo a la Ciencia y Rescate. Fortalece la presencia de Chile en el Continente.

PC4[3]: Operación todo el año en hielos de un año de formación, 1.2 m espesor y que pueden tener inclusiones de hielos viejos.
PC5[4]: Operación todo el año en hielos de un año de formación, 0.7 a 1.2 m espesor y que pueden tener inclusiones de hielos viejos.



Isla Adelaida (Base Tte. Carvajal) y Bahía Margarita

Class	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Todo BQ												
PC5												
PC4												



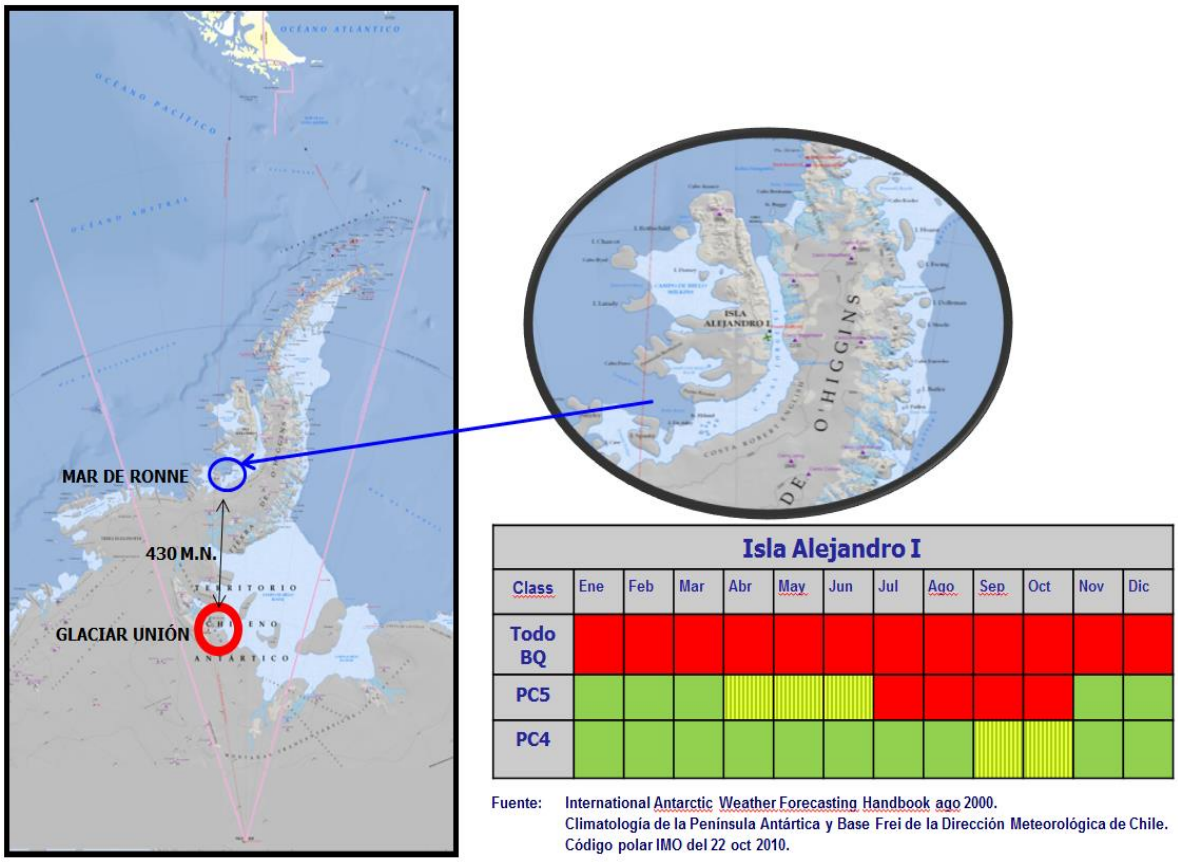
Fuente: International Antarctic Weather Forecasting Handbook ago 2000.
Climatología de la Península Antártica y Base Frei de la Dirección Meteorológica de Chile.
Código polar IMO del 22 oct 2010.

En esta zona de operación no pueden operar buques sin características de Rompehielos (Todo BQ). Buques con la clasificación PC5 pueden operar sin restricciones desde Noviembre hasta Abril, teniendo la precaución de esperar condiciones meteorológicas favorables entre Mayo y Agosto e imposibilitados para operar durante Septiembre y Octubre. Los buques con clasificación PC4 pueden operar todo el año sin restricción.

c) Isla Alejandro I.

Rol de Apoyo a la Ciencia. Fortalece la presencia de Chile en el Continente.

En esta zona de operación no pueden operar buques sin características de Rompehielos (Todo BQ). Buques con la clasificación PC5 pueden operar sin restricciones desde Noviembre hasta Marzo, teniendo la precaución de esperar condiciones meteorológicas favorables entre Abril y Junio e imposibilitados para operar entre Julio y Octubre. Los buques con clasificación PC4 pueden operar prácticamente todo el año, con la precaución de esperar condiciones meteorológicas favorables entre Septiembre y Octubre.



Isla Alejandro I

Class	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Todo BQ												
PC5												
PC4												

Fuente: International Antarctic Weather Forecasting Handbook ago 2000.
Climatología de la Península Antártica y Base Frei de la Dirección Meteorológica de Chile.
Código polar IMO del 22 oct 2010.

3.3. Requerimientos de Alto Nivel (RAN).

Durante los años 2013 y 2014 ASMAR y/o la Armada llevaron a cabo una serie de reuniones con los distintos operadores y usuarios Antárticos (Instituto Antártico Chileno INACH, Ejército, Fuerza Aérea, III Zona Naval, Dirección de Ingeniería y Sistemas Navales, Comando de Aviación Naval, Dirección de Sanidad y Dirección de Programas, Investigación y Desarrollo), con el propósito de definir y limitar bien los requerimientos de alto nivel que la nave debía cumplir, los cuales se resumieron en:

a) General para todas las Misiones.

Navegar en forma continua a velocidad de 2 nudos sobre una capa de hielo de 1m de espesor (Hielo con resistencia a la flexión de 500 kPa), cubierta de 20 cm de nieve. Considerando períodos prolongados en zona antártica, el buque debe estar equipado con sistema de climatización adecuado para sectores de habitabilidad, trabajo y algunos exteriores. Además, debe contar con talleres y pañoles.

b) Misiones de Apoyo Logístico.

Espacios y equipos para transporte y manejo de: 20 Contenedores de carga general, de los cuales se deben habilitar 10 para carga refrigerada, Carga paletizada o a granel, 800 m3 de combustible, 300 tambores de 200 lt de Jet A1, barca autopropulsada para descarga de contendores a tierra, vehículos motorizados y 60 m3 de área de cubierta para carga, entre otros.

c) Misiones de Búsqueda y Rescate (SAR).

Debe estar equipado con botes de rescate, 2 helicópteros medianos (cubierta de vuelo y hangar), capacidad para remolcar buques y comunicaciones de emergencia según SOLAS, capacidad para atender heridos y llevar a cabo cirugías de emergencia.

d) Misiones Científicas.

Debe estar equipado con espacios de laboratorios y equipos para llevar a cabo investigación científica de diferente naturaleza en los campos de la Oceanografía, Hidrografía, Geofísica, Meteorología y Pesquerías.

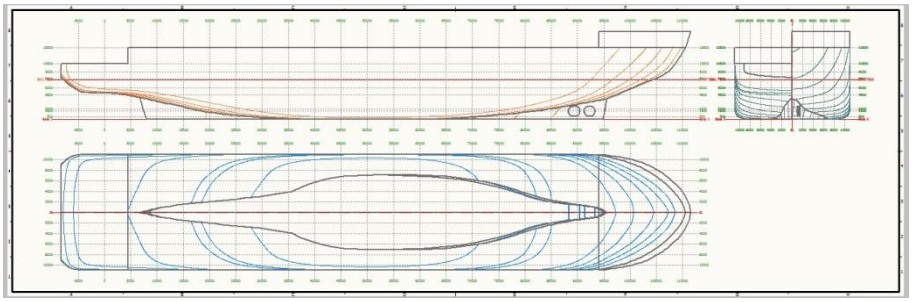
ASMAR confeccionó una Especificación Técnica de Requerimientos, en donde además de los RAN incluyó otros de más bajo nivel y de mayor detalle técnico, que sirviera con el propósito de formar parte de las Bases Técnicas de una llamada a licitación Internacional.

4. RESULTADOS ANÁLISIS CONCEPTUAL.

Con la Especificación de Requerimientos y, en Conjunto con la Armada, ASMAR desarrolló un Plano de Arreglo General Conceptual, cuyo principal objetivo era el de determinar las características relevantes de la plataforma.

Posteriormente el Arreglo General conceptual se elaboró en mayor detalle para verificar el cumplimiento de los requerimientos y también minimizar el tiempo de análisis con diseñadores de Ingeniería Básica Externa.

Para la determinación de las formas, los análisis de estabilidad y otros, se tomaron como referencia otros diseños existentes, desarrollando un modelo 3D y efectuando las estimaciones de pesos en base a parámetros varios.



4.1. Características Principales.

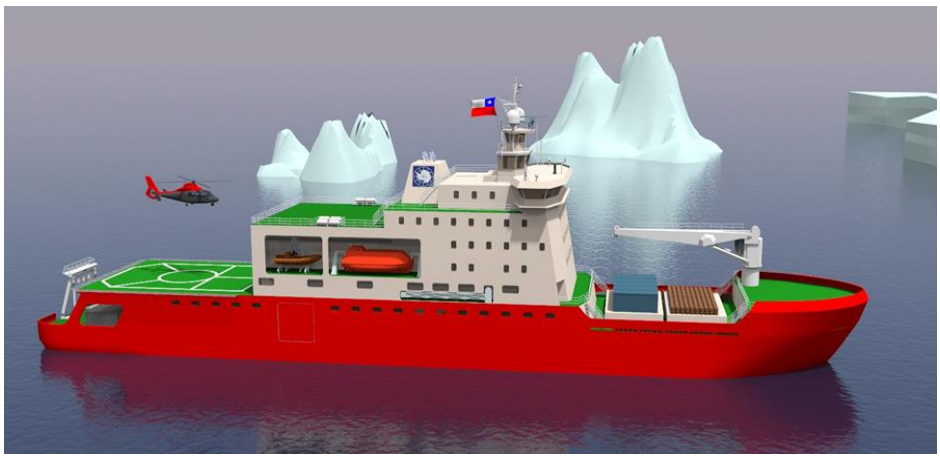
Las características resultantes, después de incorporar todos los requerimientos, fueron las que se indican en la siguiente Tabla:

Eslora Total	119.75	m
Manga Moldeada	22.00	m
Calado Máximo	8.00	m
Puntal cub ppal.	10.60	m
Pot. Propulsiva	10	MW
Generación	14-15	MW

Winterización (observando)	LR H(-31, B(-31) o equiv
Clase	LR +100A1, Research/Supply Ship, Ice Class PC4, *IWS +LMC, UMS, DP(AM) o equiv.
IBS	Puente Integrado
Ruido (URN)	DnV SILENT R o equiv.

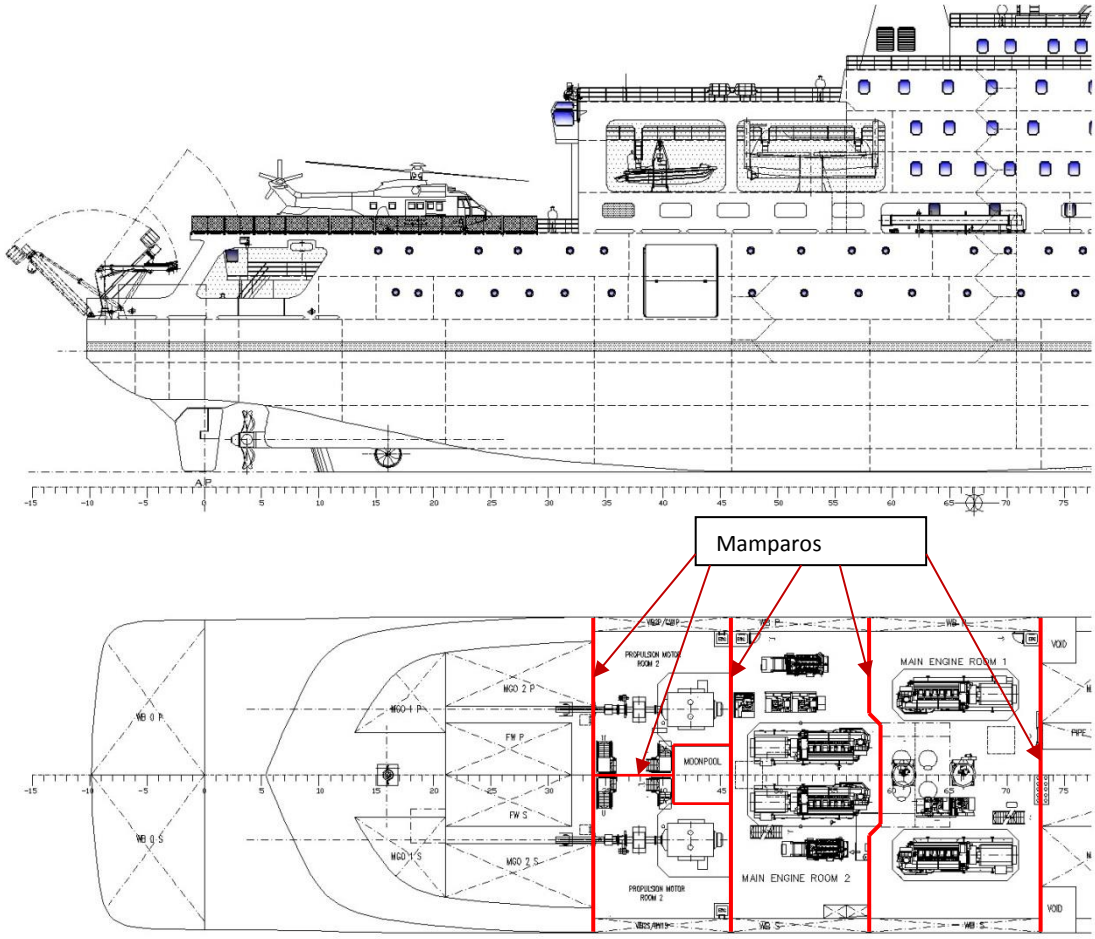
Capacidad de Hielo:

Navegar en mar cubierto de hielo de 1 m de espesor y resistencia a la flexión de 500 kPa, cubierto de 20 cm de nieve, a una velocidad continua de 2 a 3 nudos.



4.2. Propulsión – Generación.

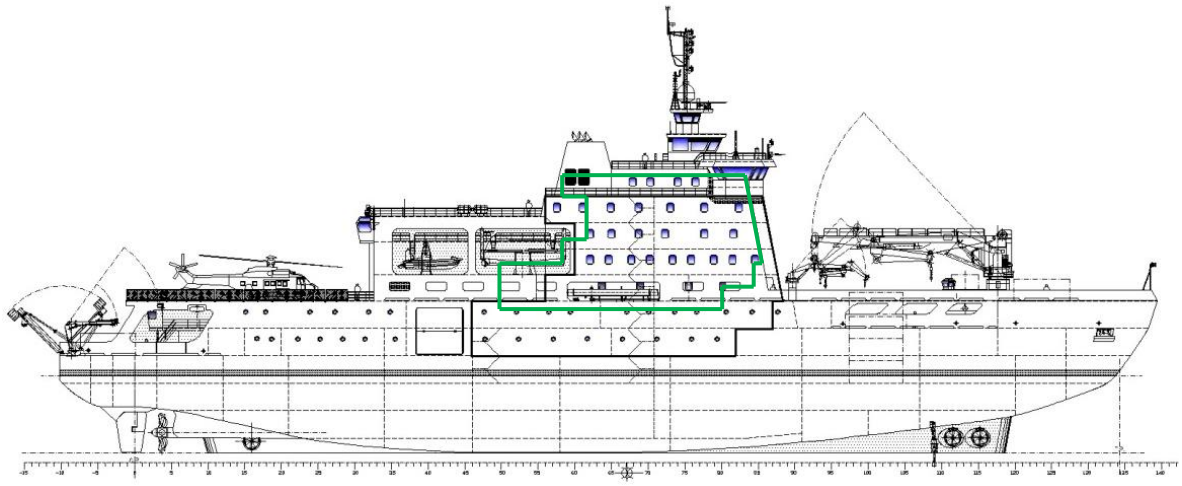
Se consideró un sistema de propulsión Diésel Eléctrico, mediante 2 líneas de ejes independientes y con empujadores laterales en proa (2) y popa (1). Se estimó una potencia de propulsión de aproximadamente 10 MW, con 2 motores propulsores eléctricos y Generación de 14-15 MW con una combinación de grupos generadores Diésel adecuada. El buque posee además generador(es) de puerto y un generador de emergencia exclusivo para este propósito. La instalación de la propulsión se consideró en 2 secciones separadas, una para los motores propulsores y otra para los grupos generadores y maquinaria auxiliar. A su vez, se consideró separar la sección de motores propulsores en 2 compartimentos estancos transversales y la sección de grupos generadores en 2 compartimentos estancos en sentido longitudinal, dando mayor seguridad ante un accidente o pérdida parcial de generación o de propulsión.



4.3. Habitabilidad.

El buque cuenta con capacidad para llevar 155 personas en camarotes, dispuestos en el centro del buque como lo indica el contorno de la figura y con la distribución que se indica, la cual se dispone por cubiertas dependiendo de las funciones y grados.

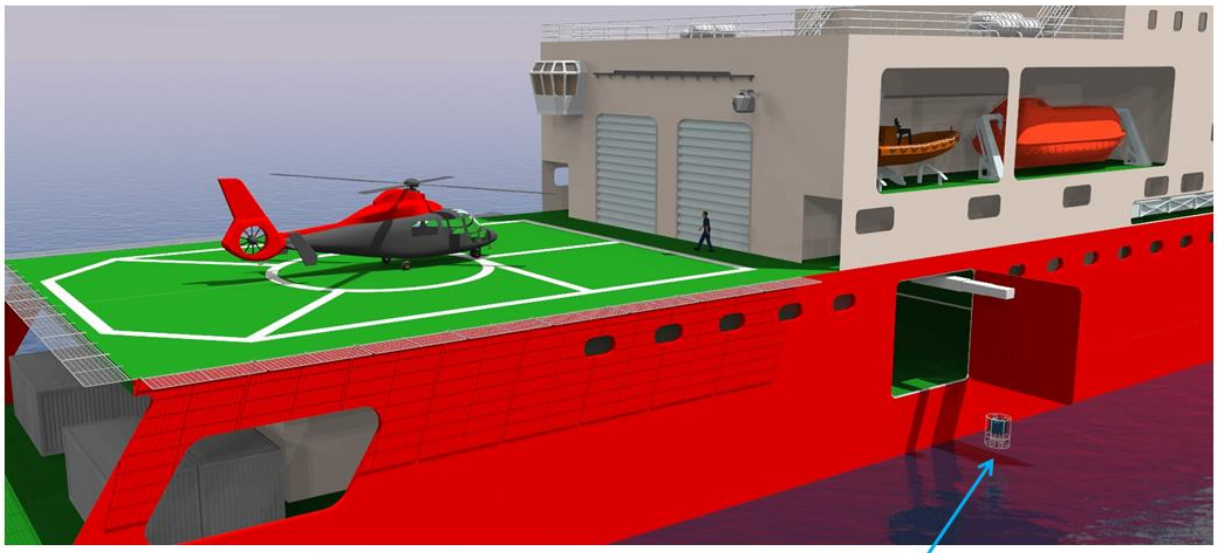
Oficiales	22	Buque+Helo+Antartica	Científicos	40	Ingenieros
Tripulación	75	Buque+Helo+Antartica		8	Técnicos
Pasajeros	10				
TOTAL 155					



4.4. Área Científica.

El área científica está compuesta por el Área de recepción y clasificación de muestras, los Laboratorios, Salas especiales, equipos científicos de cubierta y sector de laboratorios móviles conteinerizados en la popa del buque, según el siguiente detalle:

1 x Laboratorio de Macrobiología y Sedimentos
1 x Laboratorio Químico
1 x Laboratorio de Microbiología
1 x Pañol Químico
1 x Sala de Servidores (Informática sist. Científicos)
1 x Sala de Operaciones Acústicas
1 x Sala de procesamiento de datos (post proceso).
1 x Sala Roseta CTD para muestras de agua, incluyendo un "moon pool" (interior)
1 x Sala control del winche CTD
1 x Sala control para winches de popa
1 x Sala de Gravímetro
1 x Sala de reuniones
1 x Biblioteca técnica y científica
2 x Salas refrigeradas con temps. de +5°C hasta -20 °C
1 x Sala fría (+4°C) con refrigeradores de -80°C
1 x Pañol oceanográfico
1 x Sala separación de muestras



ROSETA MUESTRAS DE AGUA (CTD) ACCIONADA POR WINCHE Y GRUA TELESCÓPICA LATERAL

4.5. Helicóptero y Hangar.

Para efectuar labores de búsqueda y rescate, transporte de personal y carga desde y hacia las bases, campamentos o refugios Antárticos, se dispone 2 Helicópteros medianos (9.5 ton) embarcados con su correspondiente Hangar para estos. El hangar dispone de todos los medios para efectuar la mantención a los Helos, incluso para cambiar rotores en caso necesario, contando con talleres y pañoles para estos efectos. El buque tiene además dos pasillos laterales de suficiente ancho para trasladar la carga desde el sector de bodegas en proa hasta la cubierta de vuelo mediante traspaletas eléctricos. De esta forma se puede desembarcar carga en tiempos muy reducidos, en caso de premura por pronóstico de mal tiempo avecinándose.

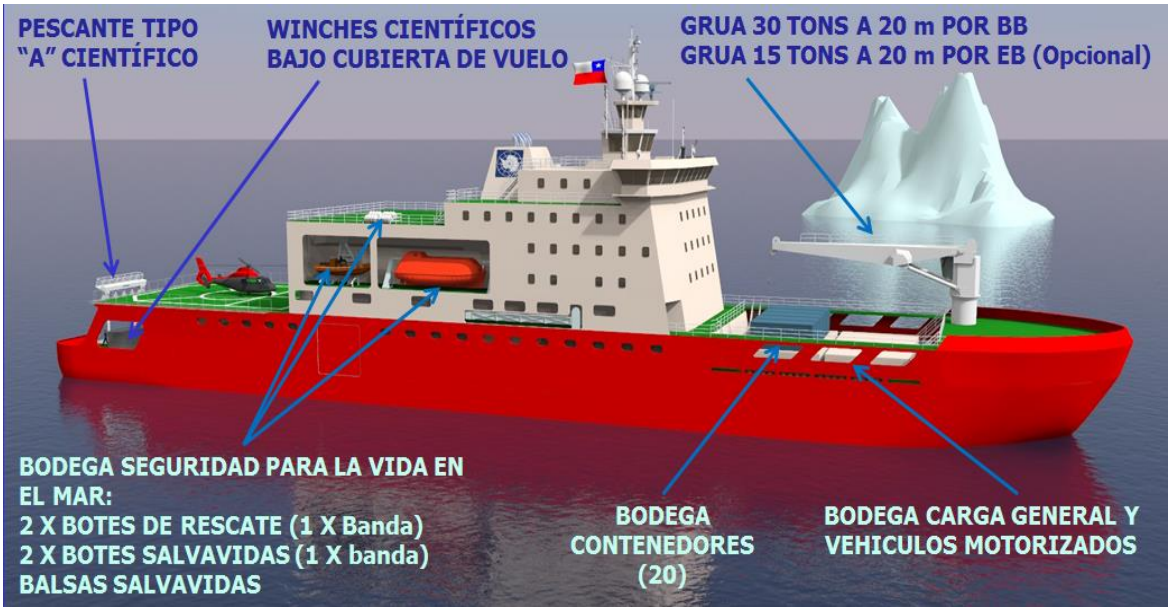
El hangar cuenta también con una cabina para el Oficial Cubierta de Vuelo, el que mantiene el control de las comunicaciones con la aeronave y asiste en las maniobreras de despegue y aterrizaje del Helicóptero, contando el buque con horizonte artificial, comunicaciones y equipos de ayuda para maniobras con Helo.



4.6. Seguridad, equipos de cubierta y carga.

El buque está dotado de los elementos de seguridad para la vida en el mar que define SOLAS, como Botes de rescate, botes salvavidas y balsas para toda la tripulación y pasajeros (total de 155 personas), entre otros.

Para las maniobras de carga y descarga cuenta con una grúa de 30 ton y una de 15 ton (opcional) en proa del buque, disponiendo un sector del castillo para la desconsolidación de la carga, antes de llevarla a la cubierta de vuelo o descargarla mediante embarcación propia.



4.7. Comunicaciones y Navegación.

El buque tiene un sistema de Puente Integrado (IBS), contando además con un amplio y cómodo espacio en el puente de gobierno.

Posee también un Sistema Integrado de Comunicaciones (ICS) para comunicaciones internas y externas incluyendo satelitales, por medio de anillos de fibra óptica y en donde las posibilidades de interconexión son variadas. Mediante las comunicaciones satelitales, se puede transmitir data y voz a estaciones terrestres, especialmente importante para el trabajo científico (conexión a servidores VPN, transmisión de data científica, etc.).



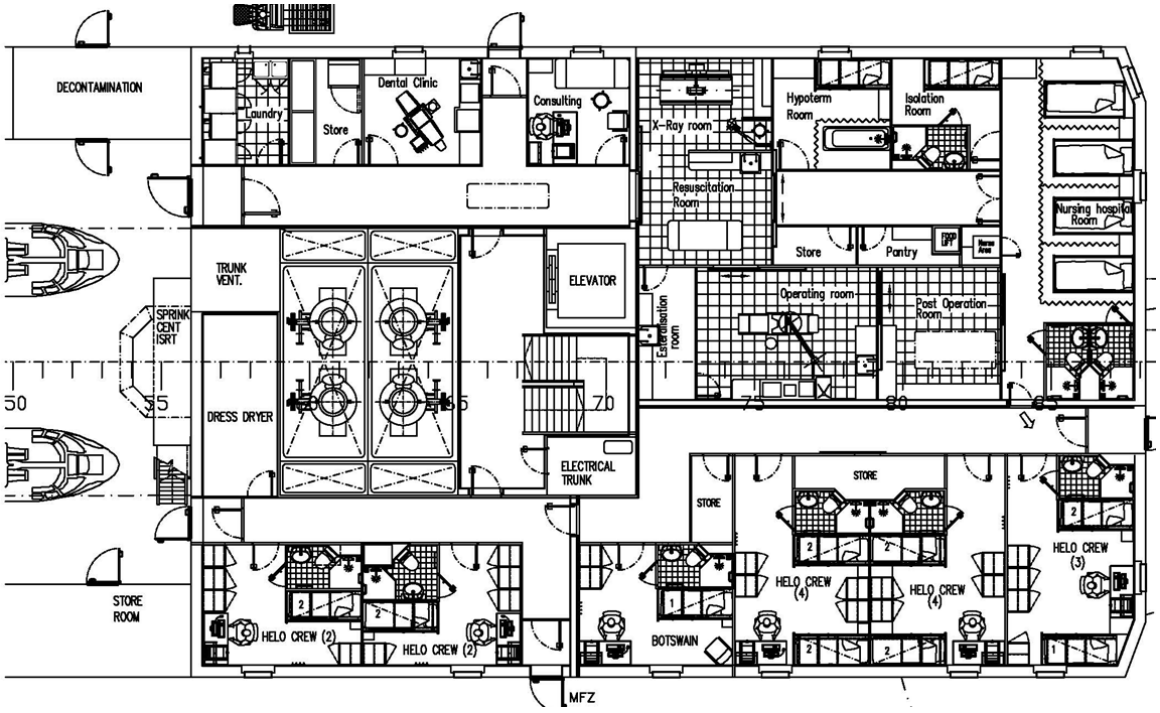
4.8. Espacios Médicos.

Uno de los requerimientos que tomó tiempo en definirse fue el hospital, ya que existe la necesidad de contar con capacidad para efectuar atenciones médicas y cirugías no menores en sectores o áreas alejados de centros médicos, ya sea en las Bases Antárticas Chilenas o en apoyo a Bases extranjeras.

El Hospital está ubicado a proa del Hangar y contiguo a la escala real de ingreso al buque, objeto facilitar el ingreso del herido a través de puertas anchas. Las instalaciones cuentan con:

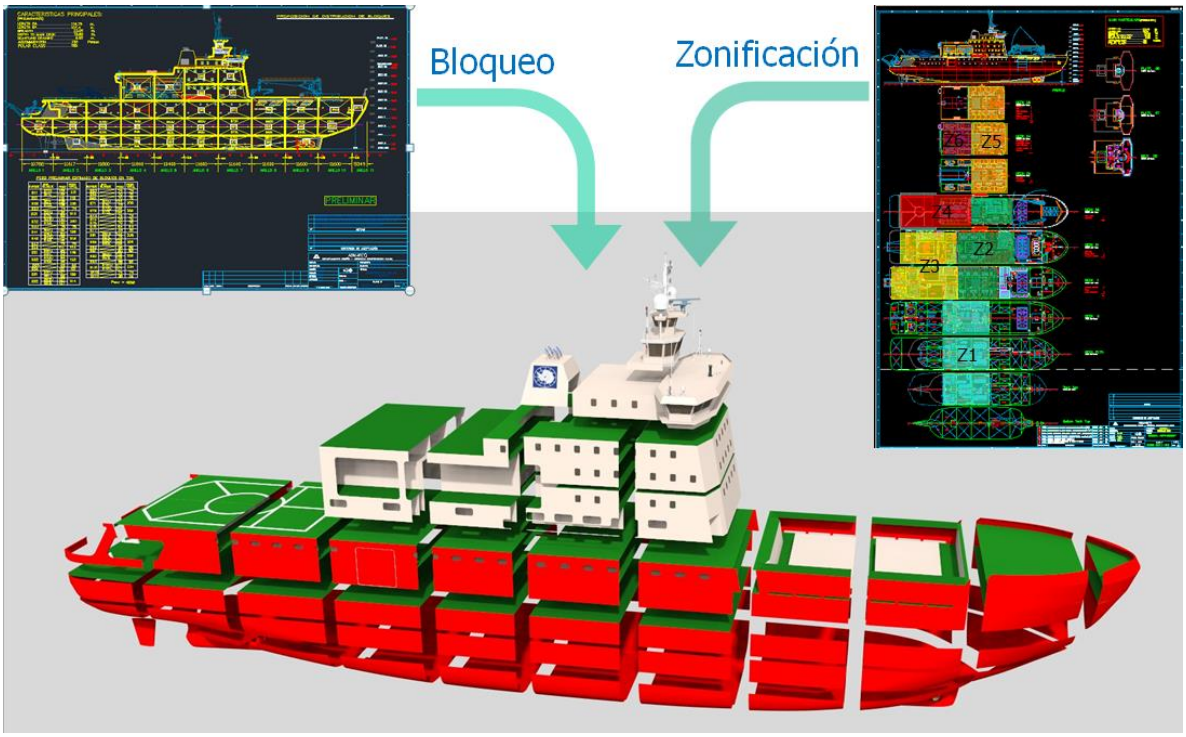
- ✓ Sala de Resucitación
- ✓ Sala de Rayos X

- ✓ Sala de Esterilización
- ✓ Pabellón quirúrgico (Sala de Operaciones)
- ✓ Sala de Post-Operación
- ✓ Sala de Hipotermia
- ✓ Sala de Aislación (Cuarentena)
- ✓ Enfermería con camas para pacientes
- ✓ Sala para Consulta médica
- ✓ Clínica Dental
- ✓ Pañoles y Farmacia.



5. COSTRUCCIÓN EN ASMAR TALCAHUIANO.

Para analizar el tema de la construcción del buque en el Astillero de ASMAR Talcahuano y definir los impactos tomando consideración de las actuales capacidades, se debió confeccionar un plano de bloqueo (estimando peso estructural) y otro de zonificación (áreas de trabajos afines, las cuales se van formando a medida que se unen los bloques estructurales).



Este análisis arrojó, como era previsible, que era necesario:

a) Incrementar la capacidad de levante en grada a unas 150 ton mediante grúa tipo pórtico en lugar de las 2 grúas portales de 50 ton existentes.

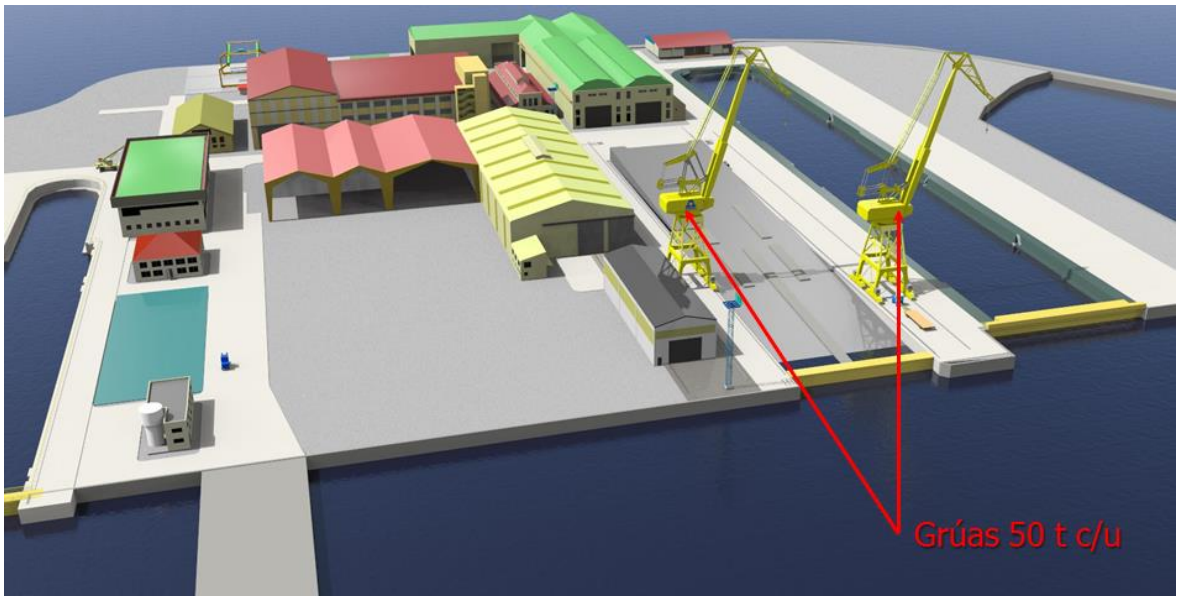
b) Incrementar la capacidad de transporte de grandes pesos (bloques estructurales y equipos principales) a unas 180 ton en lugar de las 50 ton actuales, mediante carro

multi-ruedas, con el objeto de transportar los sub-bloques y bloques desde los lugares de armado hacia la grada, obteniendo tiempos razonables de construcción.

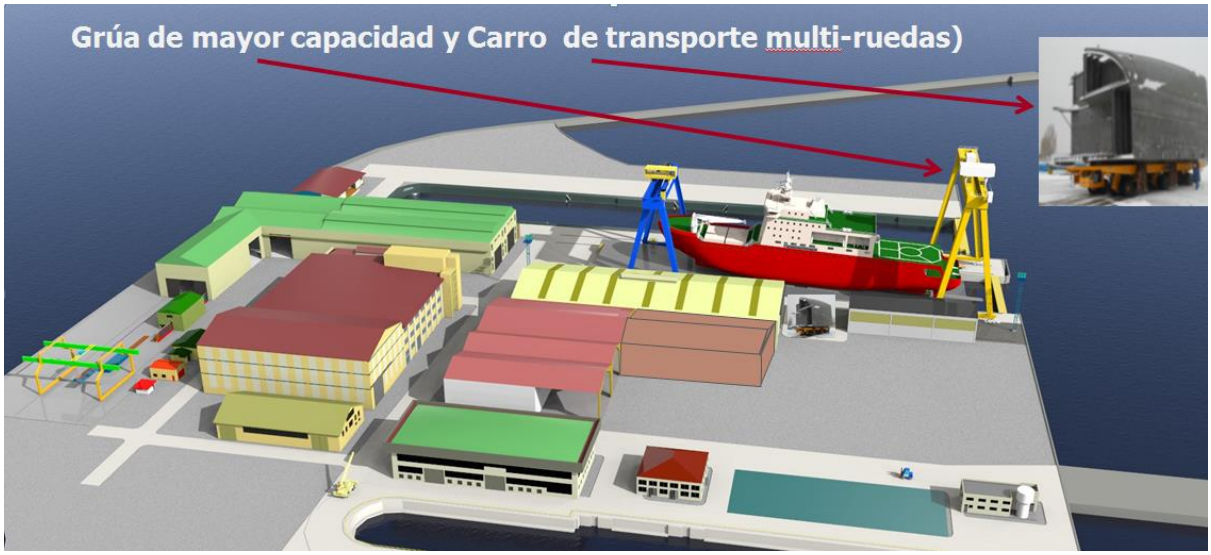
c) Aumento superficie taller de cañerías y outfitting.

Las inversiones están en proceso de evaluación y cotizaciones actualmente.

Modelo del Layout Actual del Astillero



Modelo de posible Layout futuro del Astillero



6. CONCLUSIONES.

El desarrollo del estudio conceptual del proyecto facilitó el entendimiento de los requerimientos de la Armada, complementándolos y permitiendo definir las dimensiones aproximadas de una plataforma que pudiera cumplir con todos ellos. La tarea no fue fácil, pero se logró gracias al trabajo integrado entre ASMAR y la Armada, con la valiosa participación de todos los entes involucrados, es decir, Operadores del buque, Direcciones Técnicas de la Armada, responsables de la logística para las bases antárticas del Ejército, Armada y Fuerza Aérea de Chile e Instituto Antártico Chileno.

Este ejercicio sirvió también para formar las bases técnicas de un llamado a licitación internacional por el Desarrollo de la Ingeniería Básica, el cual se encuentra en ejecución.

Finalmente, el análisis de las capacidades de ASMAR se evaluó en torno a la plataforma que resultó de este estudio, generando requerimientos de inversiones que deberán ser tomados en cuenta para materializar la construcción, de los cuales destacan el incremento de las capacidades de levante y transporte de grandes pesos.

DESARROLLO DE VEHÍCULO SUBMARINO AUTÓNOMO PARA EXPLORACIÓN OCEANOGRÁFICA

Zilic de Arcos, F.[1]; Tampier Brockhaus, G.[2]; Luco Salman R.[3]

[1]Ingeniero Naval, Instituto de Ciencias Navales y Marítimas, Universidad Austral de Chile, efe011@gmail.com
[2]Dr. Ingeniero Naval, Instituto de Ciencias Navales y Marítimas, Universidad Austral de Chile, gonzalo.tampier@uach.cl
[3]Dr. Ingeniero Naval, Instituto de Ciencias Navales y Marítimas, Universidad Austral de Chile, rluco@uach.cl

RESUMEN.

El presente trabajo detalla los esfuerzos realizados para el desarrollo de un vehículo submarino autónomo o AUV (por sus siglas en inglés, Autonomous Underwater Vehicle) dentro del marco de los proyectos DID NºS2014-34 y FDI Deeplight(2014-2015). Este vehículo ha sido ideado como una plataforma multipropósito para exploración de entornos marítimos y fluviales, diseñado en función de los requerimientos de países en vías de desarrollo y, sobre todo, con foco en algunos de los principales retos regionales a nivel sudamericano en materia de investigación y monitoreo ambiental.

Este documento inicia con una descripción de las implicancias regionales de este desarrollo y de su potencial aplicabilidad para luego describir las tareas de diseño general, análisis estructural, hidrodinámico y prototipado, junto a la descripción y esquematización de sistemas de electrónicos para planificación, navegación y control.

1. INTRODUCCIÓN.

Antecedentes e implicancia regional.

En la actualidad, utilizamos nuestros mares para un sinnúmero de actividades. Son fuente de alimentos, ya sea a través de captura de especímenes silvestres o mediante cultivo, actúan como medio para transportar más del 90% del comercio mundial y nos proveen de energía y otros recursos. Los océanos también son una pieza clave en la maquinaria que regula el sistema climático global, agentes en materia geodinámica, albergue de recursos arqueológicos

invaluables y, entre muchas otras, también una oportunidad para buscar lo desconocido, pues sólo conocemos una ínfima parte de ellos.

Existen muchas otras razones para justificar la realización de estudios en los océanos, que cubren un 70,8% de la superficie terrestre. Entenderlos es fundamental para comprender al planeta como sistema en forma holística y, a través de ello, lograr comprender problemas de escala global como el cambio climático, cuyos efectos se reflejan a través de parámetros medibles en superficie y en aguas profundas [5].

En materia político-económica, los recursos presentes en los océanos, y en especial en zonas costeras, son considerados estratégicos por las naciones [5]. Estos incluyen no sólo pesquerías sino también yacimiento minerales [6], recursos energéticos [7] y muchos otros aún no identificados.

La creación de nuevas industrias en zonas costeras y de aguas abiertas, en tanto, propone nuevos desafíos que deben abordarse. Por ejemplo, está en pleno desarrollo la industria de la minería submarina de aguas profundas, existiendo ya acciones de prospección en búsqueda de recursos minerales, tanto en aguas jurisdiccionales como internacionales, y ya existen amplias zonas entregadas en concesión a distintas entidades privadas y públicas interesadas en la extracción de nódulos polimetálicos, incrustaciones de cobalto y fumarolas hidrotermales, de los que se espera obtener manganeso, hierro, cobre, níquel, cobalto, oro, plata y tierras raras en leyes muy superiores a las halladas en tierra firme [8].

No obstante, el alto costo de desarrollar investigación oceanográfica y monitoreo ambiental en zonas costeras y de mar abierto deja a, sobre todo, los países en vías de desarrollo con un gran déficit en materia de información respecto a las actividades que se desempeñan en sus costas y sobre los efectos que puedan estar teniendo los distintos fenómenos tanto locales como globales.

Más aún, en un futuro próximo se deberán crear esquemas legales para la operación de las nuevas industrias marítimas que aseguren la protección del ambiente, se deberán desarrollar nuevas técnicas, artefactos y dispositivos para la extracción y prospección de recursos, así como también nuevos medios de monitoreo ambiental para hacer efectivos los marcos normativos.

Todo ello se engloba, más aún, en la necesidad comprender las dinámicas del océano a niveles físicos, biológicos, geológicos, etc., lo que implica la necesidad de generar tecnologías para observar y operar en entornos marítimos tanto a nivel de superficie como en inmersión, y para lo cual es posible utilizar vehículos no tripulados.

2. ESTADO DEL ARTE.

Los vehículos submarinos no tripulados suelen dividirse en ROVs (*Remote Operated Vehicles* o vehículos operados remotamente), dispositivos conectados a través de un cable a una estación o embarcación en superficie y en AUVs (*Autonomous Underwater Vehicles* o vehículos submarinos autónomos) que operan en forma autónoma y sin conexión física con superficie, para lo que emplean alguna forma de inteligencia artificial. Por último, existe un tercer grupo de vehículos híbridos que pueden encontrarse entre estos dos anteriores.

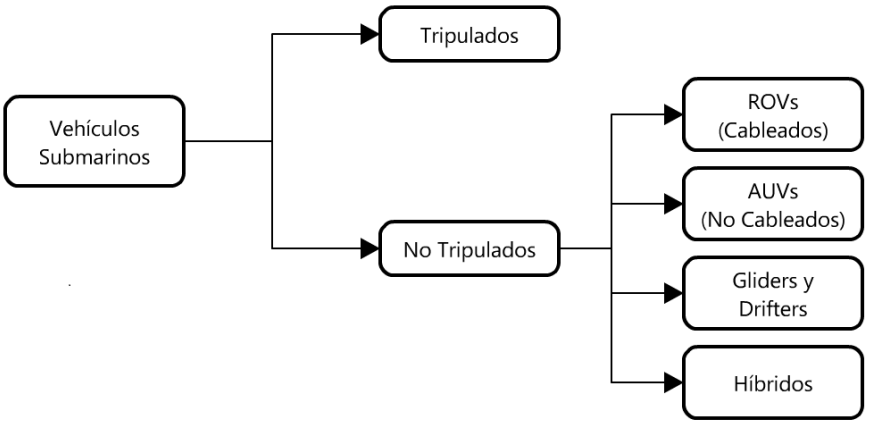


Ilustración 1 Categorización de vehículos submarinos.

Los ROVs son plataformas cuya tecnología es bastante madura. Son plataformas ampliamente usadas tanto en la industria (petróleo, gas, minería, acuicultura, etc) como en el mundo científico, siendo particularmente aptos para desempeñar labores con objetivos bien delimitados, como revisión de fondeos, estructuras, artefactos o maquinaria, dentro de extensiones geográficas acotadas. Operan conectados con un cable a superficie que es capaz de permitirle capacidades de operación importantes, pudiendo integrar potentes motores, brazos hidráulicos u otros sistemas de actuación, sistemas de iluminación y cámaras, entre otros. Sin embargo, el cable también actúa como limitante en el rango de operación, y aumentando los problemas logísticos asociados.

Dentro de los vehículos que operan sin conexión con superficie, existe un grupo que suele diferenciarse debido a que no poseen medios de propulsión tradicionales en forma de hélices. Se trata de los *drifters*, instrumentos que realizan mediciones desde la superficie hasta las cercanías del fondo sólo alterando su densidad, siendo simplemente arrastrados por las corrientes [9], y de los *gliders,* similares a los anteriores pero que cuentan con superficies alares que les permiten avanzar mientras descienden o ascienden en el mar de forma similar a como funciona un planeador en el aire [10]. Estos vehículos son los más aptos para realizar mediciones en grandes extensiones y de larga data, pues su naturaleza les fuerza a navegar a baja velocidad pero a un consumo energético mínimo.

Los AUVs tradicionales, por su parte, son vehículos autopropulsados que tampoco requieren de ningún tipo de atadura física con superficie para operar. Son limitados sólo por la capacidad de sus baterías, y pueden llegar a funcionar por días según su diseño y régimen de operación. Son plataformas en las que se montan sensores y sistemas de procesamiento inteligentes para navegación en el espacio oceánico tridimensional, que operan con medios propios de propulsión siguiendo misiones pre-programadas, con trayectorias que pueden ser fijas o variar según lo que el dispositivo reciba de sus sensores, y particularmente aptos para desarrollar largos trayectos ya sea siguiendo recorridos rectilíneos a profundidad constante o alterando su profundidad, perfilando verticalmente las distintas capas del mar según se requiera. Se trata, finalmente, de los vehículos más aptos para realizar labores de exploración, monitoreo y búsqueda en largas extensiones espaciales.

Las aplicaciones de los AUVs son tan variables que se han utilizado incluso para perseguir y filmar tiburones gracias a dispositivos de rastreo y algoritmos especializados [11] o realizar chequeo de cañerías submarinas llegando a realizar intervenciones como operar válvulas [12], además, por supuesto, de las tradicionales funciones de medición de variables ambientales. La mayoría de estos vehículos tienen velocidades de crucero entre los 2 y 5 nudos, con una autonomía que depende de su diseño, habiendo alcanzado tiempos de operación suficientes como para lograr el cruce del Ártico [13].

Los AUVs son particularmente buenos cuando se trata de desarrollar mapeos submarinos con sistemas acústicos [14] [15] ya sea para cartografía, estudios de la composición del fondo marino o de las capas de hielo en las zonas polares [16]. El gran abanico de sensores disponibles en el mercado permite, además, realizar mediciones de todo tipo de parámetros de

interés sobre amplios espacios geográficos operando como plataformas que permiten abordar el gran reto común de hacer llegar los instrumentos hasta la zona de estudio.

A pesar de los enormes avances realizados durante los últimos 30 años, los AUVs consisten en una serie de tecnologías que permanecen en desarrollo y que están lejos de ser una solución completamente madura tanto para la industria como para el mundo científico. Esto puede demostrarse al analizar pérdidas tan sensibles como la del Nereus, perteneciente a la Woods Hole Oceanographic Institution[17], que fue probablemente uno de los vehículos submarinos (Híbrido ROV-AUV) más avanzados hasta la fecha en que se perdió debido a una implosión mientras exploraba el foso de Kermadec a una profundidad de 9900m, durante Mayo de 2014.

Las dificultades a superar subyacen en que el océano es un entorno complejo y adverso que presenta grandes dificultades a cualquier artefacto que pretenda adentrarse en sus aguas, tanto en materia de corrosión, presión, comunicaciones, navegación o sistemas de inmersión, entre otros.

Abordar un proyecto de esta naturaleza requiere de un enfoque multidisciplinario dadas las características del problema que involucra áreas de conocimiento en temas tan variados como robótica, autómatas, navegación, resistencia estructural, cálculo y uso de materiales, hidrodinámica, diseño mecánico, electrónica, sensórica y, por supuesto, oceanografía.

Sin embargo, la complejidad de un proyecto de esta envergadura no es tan diferente al diseño de un buque convencional, cuyo desarrollo depende de una serie de disciplinas asociadas y coordinadas por un conjunto de ingenieros navales.

3. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.

Se establecieron criterios de diseño en función de una propuesta de estudio oceanográfico para la zona costera de la Región de Los Ríos, Chile (39º 48’30’’S 73º14’30’’W), que cubre la totalidad de la plataforma continental de dicha región (4100 km^2). La distancia máxima desde la costa es de 26 MN, mientras que la mínima es de 16 MN.

El objetivo del estudio es conocer el efecto y la evolución de las diferentes perturbaciones físicas causadas por la pesca de arrastre, clasificadas según edad radiométrica e identificar, de

este modo, si los lugares afectados son capaces de recuperarse o si, por el contrario, el estado de daño se perpetúa.

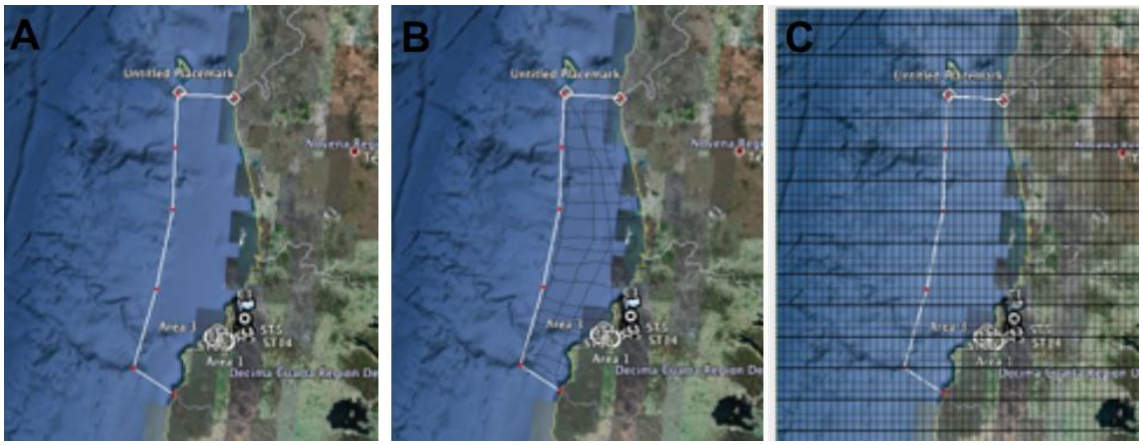


Ilustración 2. Mapas del área de estudio. **A.** Área de 4100 km^2, cuyas fronteras norte y sur se establecieron siguiendo los límites geopolíticos de la Región de Los Ríos. **B.** El área de estudio mostrado posibles rutas de navegación para mapeo con sonar. **C.** Mallado (aprox. 0,48 MN por cuadro) del área de estudio que será usado para el posicionamiento de las mediciones bénticas, SPI, biogeoquímica, y muestreos radiológicos y biológica béntica. La profundidad del área de estudio oscila entre 20 y 300 metros.

Con la propuesta de estudio anterior, se elaboraron los siguientes requerimientos de diseño para una plataforma autónoma que pueda utilizarse como reemplazo y/o complemento de los medios tradicionales:

- Capacidad de navegar en forma autónoma y sin conexión.
- Rango de operación de 26 millas náuticas.
- Velocidad crucero de 3 nudos.
- Espacio modular para montaje de sensores.
- Profundidad máxima de operación de 200m.

4. PROPUESTA DE DESARROLLO.

4.1. Características.

En base al desarrollo del primer prototipo de AUV realizado bajo el alero del Instituto de Ciencias Navales y Marítimas [2] [3], se generó una nueva propuesta[1] a los efectos de cumplir las especificaciones de diseño definidas en la sección anterior.

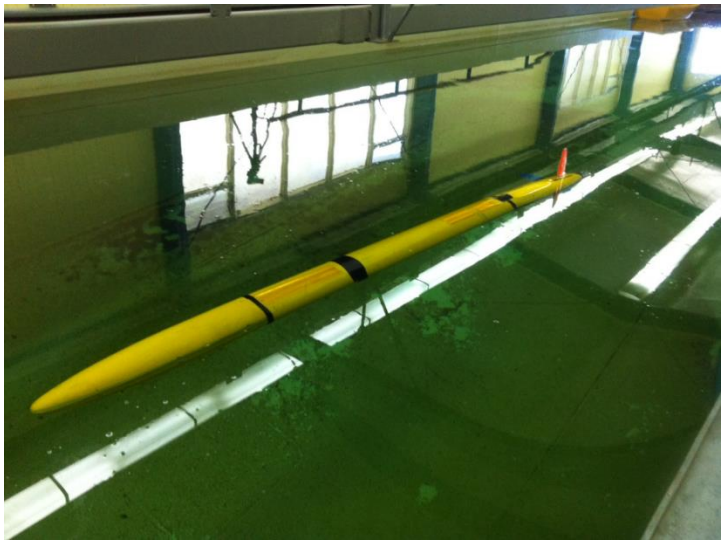


Ilustración 3 Primer prototipo de AUV desarrollado en el Instituto de Ciencias Navales y Marítimas de la Universidad Austral de Chile (2013).

Se determinó una eslora de 2m con una sección maestra circular de 160mm de diámetro, con un compartimento estanco central cilíndrico de 1m de longitud, tapas estancas en sus extremos y dos compartimentos inundados de 0,5m a ambos extremos.

El compartimento de popa se diseñó en forma similar al primer prototipo, con espacio para alojar el sistema propulsivo completo, estanco por sí mismo, y parte de la mecánica para la actuación de las superficies de control. Adicionalmente, cuenta con espacio para el montaje de sensores que no sean tan sensibles a las vibraciones y al ruido electrónico producido por los componentes electromecánicos.

El compartimento de proa, por su parte, se diseñó de forma que sea posible alojar en él sensores para medición de variables ambientales en conjunto con dos sonares: Uno orientado hacia el fondo, para medir profundidad y realizar mapeos batimétricos, y otro orientado hacia el frente, para otorgar al vehículo capacidad de detectar y evitar obstáculos. Se elaboró una configuración de modo tal que este compartimento esté los más alejado posible de las fuentes de ruido y vibración.

El compartimento estanco central se diseñó con capacidad de alojar toda la electrónica de gobierno, sensores internos, sistemas de navegación, comunicaciones, baterías y sistemas electromecánicos para el control de las superficies de control y balance del centro longitudinal de gravedad (LCG) mediante un dispositivo electromecánico capaz de desplazar lastre fijo en el sentido de la eslora.

El gobierno y la propulsión se diseñaron en forma análoga al prototipo antes citado, prescindiendo de sistemas que alteren la boyantés para la inmersión con el objetivo de mantener la simpleza en el prototipo. Así, la inmersión es lograda usando sólo las fuerzas dinámicas generadas por el conjunto casco, superficies de control y propulsor, concepto que fue probado exitosamente en los ensayos de canal realizados al primer prototipo. Se instalaron, de este modo, dos pares de superficies de control en popa para gobernar el vehículo en *pitch* y *yaw.*

La ilustración 4 muestra el diseño final del prototipo. Como se describe anteriormente, se muestra la mecánica en la zona de popa, el cuerpo central estanco con toda la electrónica y mecánica de control, sensórica de navegación, módulos de comunicaciones y bancos de baterías, y por último la zona de proa en donde se ubican dos sonares para batimetría y detección de obstáculos, junto al espacio destinado para el montaje de sensores para oceanografía. La estructura interna del casco de presión que se aprecia en forma de anillos transversales es la versión final calculada mediante el método de elementos finitos, según se describe en secciones posteriores.

4.2. Sistemas de guía, navegación y control.

El sistema de gobierno e inteligencia artificial se divide, básicamente, en tres bloques independientes: Planificación, Navegación y Control. Se trata de módulos que interactúan entre sí a través de canales de transmisión de información.

Esta división no se hace presente en forma física, sino que es una manera conveniente de expresar tres grupos bien definidos de labores que deben realizarse a través del software de gobierno para que el vehículo pueda realmente movilizarse en forma autónoma.

Debido a la naturaleza de prototipo experimental de este vehículo, se decidió aislar y modularizar cada uno de los bloques del sistema de gobierno, para así facilitar las labores de desarrollo y experimentación, a costa de disminuir la eficiencia en términos computacionales del sistema, pero permitiendo a futuro la rápida expansión de las capacidades de operación mediante la implementación de nuevos algoritmos.

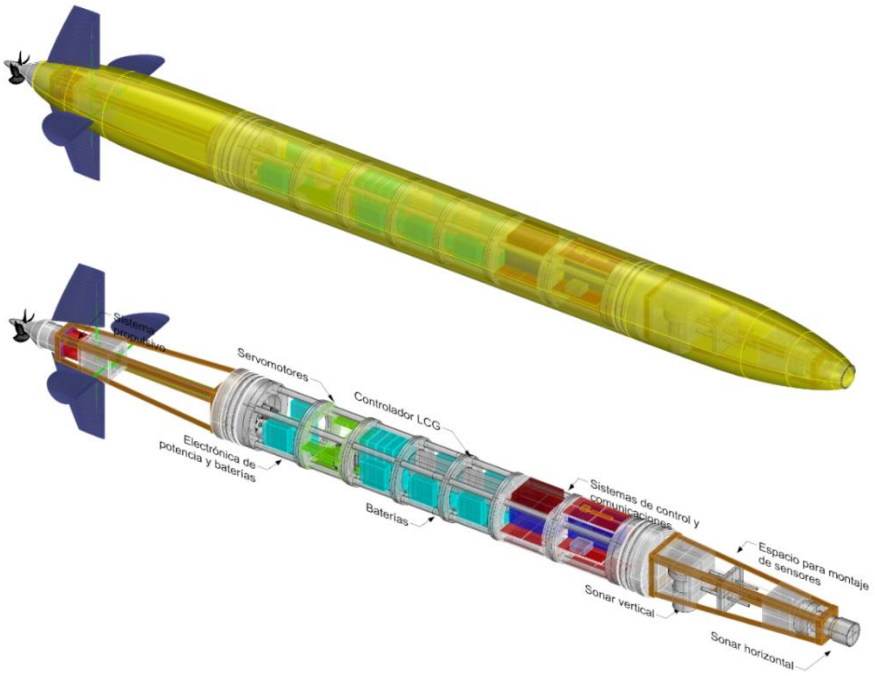


Ilustración 4 Arreglo general del prototipo de diámetro 160mm, vista isométrica.

4.2.1. Planificación.

El módulo de planificación es el encargado de calcular continuamente las posiciones de referencia, velocidades y aceleraciones que se desea tome el AUV a partir de las trayectorias generadas en base a la misión programada por un operador humano para así cumplir con los objetivos de misión, para lo cual este módulo se vale de la información entregada por el módulo de navegación, definiendo velocidad y rumbo deseados, los cuales luego son comunicados al sistema de control.

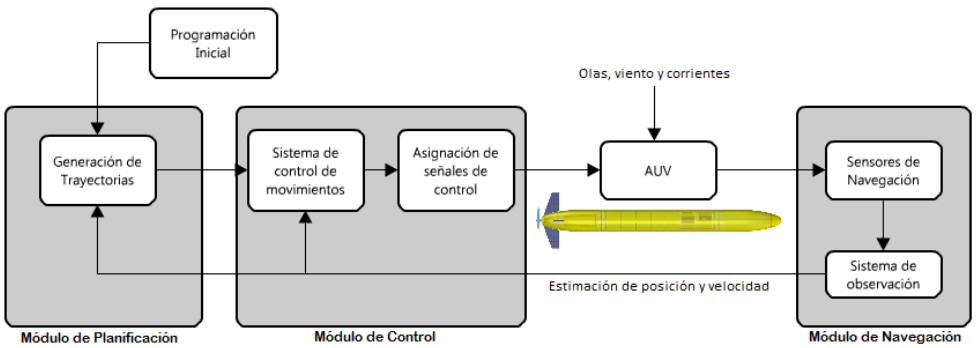


Ilustración 5 Diagrama de integración de los módulos de planificación, navegación y control.

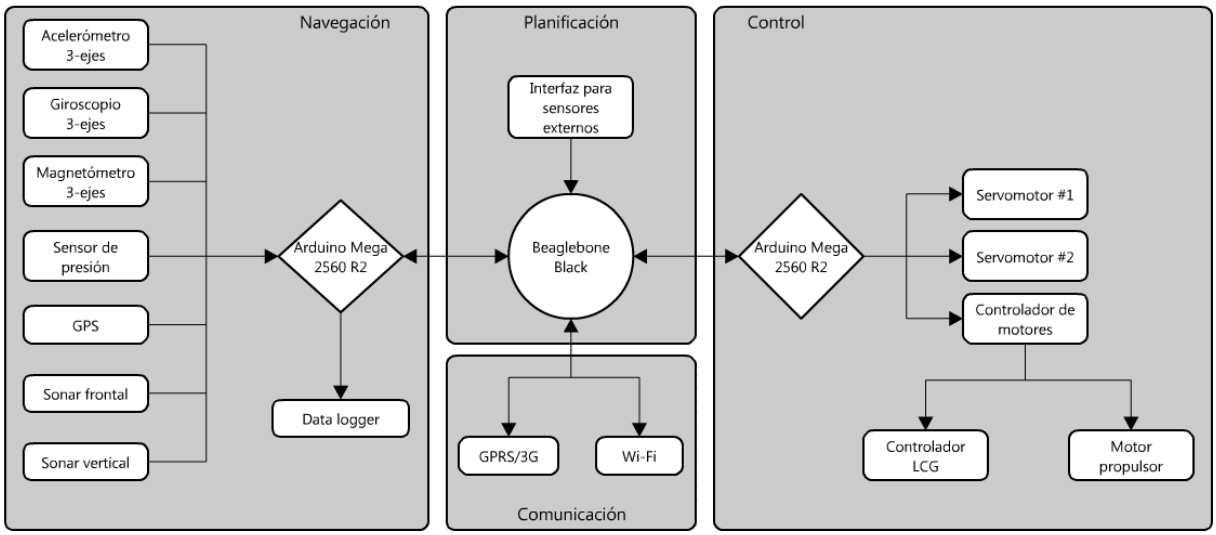


Ilustración 6 Diagrama de hardware del AUV.

Así, este módulo se encarga de la toma de decisiones abordo tales como seguir una trayectoria recta o curva, alterar la ruta según información recibida, navegar a una cierta profundidad o siguiendo un patrón vertical, seguir una ruta óptima que minimice el consumo de energía, entre otras opciones.

El módulo de planificación se implementa sobre una unidad central, un ordenador Beaglebone Black, que es una plataforma de bajo costo y soportada por una gran comunidad, la cual opera en base a un sistema operativo Linux.

4.2.2. Navegación.

Navegación, en términos genéricos, se refiere a la ciencia de dirigir una embarcación determinando su posición, orientación, curso, distancia recorrida e incluso velocidades y aceleraciones. Esto se realiza, generalmente, utilizando sistemas de posicionamiento global y, en menor medida, sistemas inerciales [18].

Como las señales de los sistemas de posicionamiento global no son capaces de penetrar la superficie del agua más que unos pocos centímetros, el AUV fue diseñado de forma tal que pueda utilizar sistemas de posicionamiento global GPS en superficie, el cual entrega una posición inicial con un grado aceptable de precisión, para luego usar un conjunto de sensores para navegar por estima en condición de inmersión: Un sensor de presión con resolución de

+/-1cm columna de agua, un sistema de navegación inercial o INS(por sus siglas en inglés: *Inertial Navigation System*) compuesto de acelerómetro, giroscopio y magnetómetro con 3 ejes ortogonales de medición cada uno, dos sonares, corredera, tacómetro en la hélice y sensores de ángulo en superficies de control.

Toda la información que proveen los sensores es filtrada, procesada e integrada en forma conjunta en un ordenador para generar la mejor estimación de la posición del vehículo, dentro de lo que se denomina sistema de observación o estimador de estado (Del inglés: *Observer* y *State Estimator*, respectivamente).

4.2.3. Control.

El sistema de control es el que se encarga de hacer de interfaz entre el módulo de planificación, que genera las trayectorias, velocidades y dirección deseadas, y los actuadores: propulsor y superficies de control. Utiliza algoritmos PID (Proporcional Integral Derivativo) y genera señales acorde a la perturbación del sistema [18]: Si se desea navegar a un rumbo de 160º, y el AUV se encuentra posicionado en 158º, es de esperar una pequeña reacción sobre el timón, mientras que si una perturbación llevara al AUV a tener una orientación de 90º, el algoritmo debiera utilizar el máximo ángulo de timón para retomar su rumbo.

4.3. Diseño estructural.

Uno de los grandes retos relacionados al diseño de un dispositivo submarino son los grandes esfuerzos ocasionados por la presión hidrostática. Para el caso particular del AUV diseñado, las cargas hidrostáticas son mayores a cualquier otro esfuerzo presente en el vehículo por varios órdenes de magnitud, y es por ello que el diseño estructural fue tomado con suma cautela.

Para diseñar la estructura, se empleó el método de elementos finitos, lo que permitió evaluar una serie de propuestas estructurales distintas y seleccionar la más idónea en función de criterios de eficiencia principalmente en temas constructivos.

4.3.1. Prototipos ensayados.

El desarrollo de prototipos estructurales fue un proceso de ensayo y error, buscando encontrar una estructura que fuese capaz de soportar los esfuerzos requeridos y, al mismo tiempo,

manteniendo formas que pudieran ser construidas sin mayor dificultad con materiales disponibles en el mercado local dentro de los márgenes de costo permisibles.

Se decidió, finalmente, utilizar una estructura interna de refuerzos de aluminio con casco externo de fibra de vidrio, mientras que el sello estanco se lograría usando tapas de poliamida con O-Rings actuando entre el borde lateral de la tapa y la superficie interna del forro, como se aprecia en la ilustración 7.

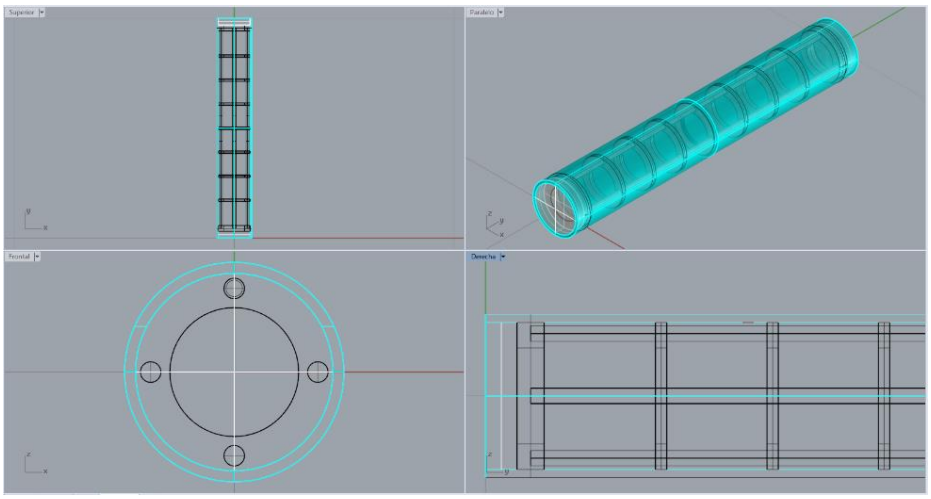


Ilustración 7 Prototipo estructural seleccionado para construcción.

4.3.2. Modelamiento.

La estructura general se modeló usando el software ANSYS en conjunto con el módulo para materiales compuestos ACP.

La estructura en aluminio fue modelada con una malla no estructurada de elementos principalmente tetraédricos, con una presencia menor de elementos hexaédricos. Se utilizaron elementos tridimensionales SOLID186 y SOLID187, selección realizada por el propio software en función de la conveniencia según la zona de mallado.

El forro del casco estanco, de compuesto de fibra de vidrio y resina epóxica, fue modelado con 8 capas en sentido radial de elementos SOLID185, utilizados generalmente para estructuras tridimensionales y con capacidad de operar como sólido estructural por capas. Las especificaciones del compuesto (incluyendo espesor de las capas, material, orientación, etc) así como todo el proceso de cálculo de propiedades micro mecánicas, fueron definidas utilizando el módulo ACP-Pre de ANSYS. El laminado se desarrolló con un esquema de dos

capas de *roving* en sentido perimetral, una axial, dos perimetral, una axial y finalmente dos perimetral. Cada capa se definió con un elemento independiente.

Las características de los materiales utilizados son las siguientes:

- **Aluminio**
  - Densidad: 2770 kg/m^3
  - Módulo de Young: 7,1E+10Pa
  - Coeficiente de Poisson: 0,33

- **Fibra de Vidrio + Resina epóxica**
  - Densidad: 1850 kg/m3
  - Módulo de Young:
    - E_x: 3,5E+10Pa
    - E_y: 9,0E+09Pa
    - E_z: 9,0E+09Pa
  - Coeficiente de Poisson:
    - V_{xy}: 0,28
    - V_{yz}: 0,40
    - V_{xz}: 0,28
  - Módulo de Corte:
    - G_{xy}: 4,7E+09Pa
    - G_{yz}: 3,5E+09Pa
    - G_{xz}: 4,7E+09Pa

Las condiciones de borde, mostradas en la ilustración 8, se definieron para una profundidad de 400m, el doble de la profundidad máxima de operación proyectada, resultando en una presión de 4,0221E+06Pa aplicada sobre toda la superficie del casco. Sólo fue modelado medio casco, aprovechando la simetría del problema.

Otras cargas, como las generadas dinámicamente, son despreciables en relación a la presión hidrostática y por tanto no se incluyeron en el modelo.

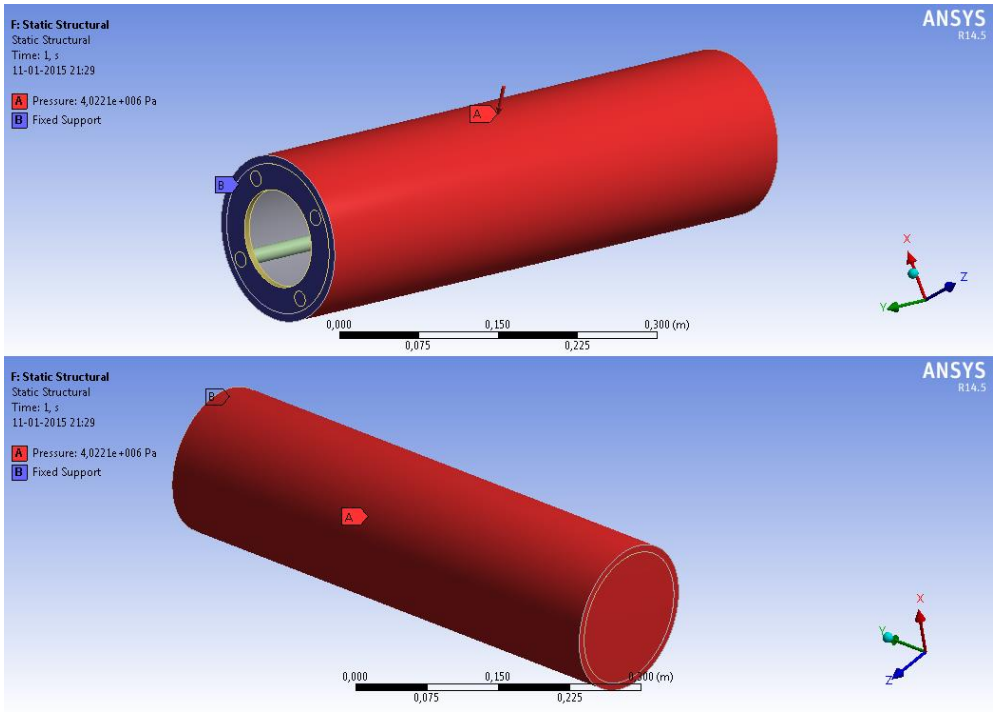


Ilustración 8 Condiciones de borde en modelo de elementos finitos. Rojo: Presión hidrostática a 400m de profundidad. Azul: Empotramiento.

4.3.3. Análisis de resultados.

Se analizó la convergencia del modelo de solución sobre el forro de compuesto, prescindiendo de este análisis para la estructura de aluminio por encontrarse estos refuerzos sumamente sobredimensionados, como se aprecia en la ilustración 9.

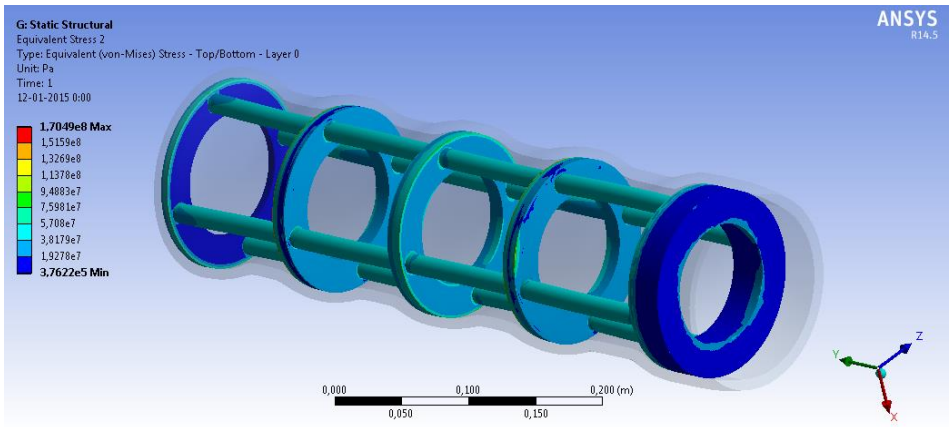


Ilustración 9 Esfuerzos sobre estructura de refuerzos de aluminio bajo carga hidrostática a 400m de profundidad

Se evaluaron tres mallas distintas, obteniéndose los resultados expuestos a continuación. Se seleccionó la malla intermedia por ser un buen compromiso entre resultados y eficiencia en recursos computacionales. Los resultados se aprecian a continuación, en las tablas 1 y 2:

Resultados del análisis de convergencia		
Malla	Elementos	Esfuerzo máximo[Pa]
Gruesa	5.320	5,3982E+07
Intermedia	21.000	5,0498E+07
Fina	81.360	5,0147E+07

Tabla 1. Resultados del análisis de convergencia realizado para el análisis mediante elementos finitos del forro de fibra de vidrio del AUV.

Análisis de convergencia[%]			
Malla	Gruesa	Intermedia	Fina
Gruesa	-	6,45	7,10
Intermedia	-6,90	-	0,70
Fina	-7,65	-0,70	-

Tabla 2. Diferencias porcentuales de esfuerzo máximo entre distintas mallas usadas en análisis por elementos finitos

El análisis estructural del compuesto, por no tratarse de un material isotrópico, se realizó con el módulo ACP-Post de ANSYS mediante la aplicación de criterios de falla específicos: Máxima deformación, máximo esfuerzo, Tsai-Wu, Tsai-Hill, Hashin, Puck, LaRC y Cuntze. La visualización de estos criterios se expresa a continuación en la ilustración 10 en la forma de factor de reserva inverso tal que

$$IRF = \frac{Esfuerzo\ Máximo}{Esfuerzo\ Local}$$

Bajo la condición de que:

$$IRF > 1 \Rightarrow Falla$$

$$IRF < 1 \Rightarrow Seguro$$

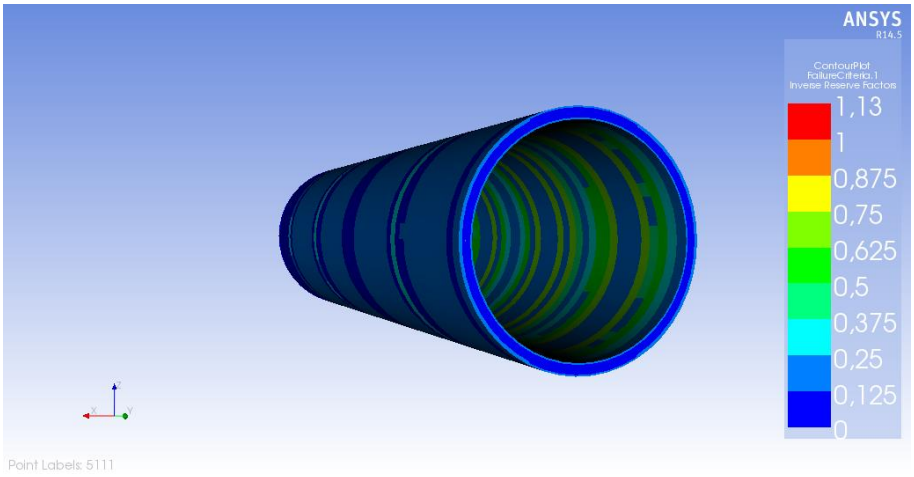


Ilustración 10. Análisis bajo criterios para compuestos de forro del AUV

La solución estructural seleccionada finalmente consiste en un forro de 8mm de *roving* de resina epóxica reforzada con fibra de vidrio, con cuatro longitudinales de aluminio de sección circular y 8 anillos del mismo material equidistantes entre sí, como se muestra en la ilustración 6.

Los criterios básicos de esfuerzos, así como los específicos de compuestos, muestran que el casco de presión es apto para soportar presiones incluso superiores a los 400m calculados, manteniéndose un factor de reserva superior a 2 respecto a los 200m de operación máxima. Además, cabe mencionar que es posible aumentar las prestaciones de este casco simplemente aumentando el espesor de la fibra de vidrio, lo que no significaría mayores costos extra en su manufactura.

4.4. Características hidrodinámicas y estimación de potencia.

Asumiendo la hipótesis, validada en trabajos previos, de que el mayor consumo energético del vehículo es su planta propulsora, se efectuó un análisis de potencia en función de este parámetro y se incluye en resto de los consumos de energía en un factor de seguridad.
La estimación de potencia almacenada expuesta en este informe se realiza considerando el vehículo sumergido lejos de la superficie libre y desarrollando una misión en aguas sin corrientes navegando a velocidad de 3 nudos para un rango de 26 millas náuticas.
Se aplican dos métodos: Una estimación según formulaciones empíricas y mediante cálculo numérico CFD.

4.4.1. Formulaciones empíricas.

La resistencia a la propulsión suele separarse en componentes según:

$$R_T = R_w + R_v$$

De donde R_T es la resistencia total, R_w la resistencia por formación de olas y R_v es la resistencia viscosa.

Mientras que R_w es inexistente para el submarino navegando en inmersión, R_v puede separarse de la siguiente manera:

$$R_v = R_f + R_{pv}$$

De donde R_f es la resistencia por fricción y R_{pv} es la resistencia por presión viscosa.

La resistencia total puede determinarse según:

$$R_T = \frac{1}{2} C_T \rho v^2 S_m$$

Con $C_T = C_w + C_v$ el coeficiente de resistencia total, C_w el coeficiente de resistencia por formación de olas y C_v el coeficiente de resistencia viscosa que se compone por la suma de los coeficientes de fricción C_f y de presión viscosa C_{pv}.

Mientras que la resistencia por formación de olas es nula, el cálculo de resistencia por fricción puede realizarse en base a los resultados de la convención ITTC-57:

$$C_f = \frac{0{,}075}{(\log R_n - 2)^2}$$

De donde R_n es el número de Reynolds de longitud.

La resistencia viscosa, por su parte, puede determinarse según [19]:

$$C_v = C_f \left[1 + 1{,}5 \left(\frac{d}{L} \right)^{1{,}5} + 7 \left(\frac{d}{L} \right) + 0{,}002 (C_P - 0{,}6) \right]$$

De donde d es el diámetro del AUV, L su eslora y C_P el coeficiente prismático tal que:

$$C_P = \frac{\nabla}{L \cdot \pi \cdot d^2/4}$$

Con ∇ el volumen sumergido del AUV.

Luego, el resultado obtenido para la resistencia total para una superficie mojada de $1{,}067m^2$, incluyendo superficies de control y navegando en agua salada con densidad $\rho = 1026kg/m^3$ es de:

$$R_T = 5{,}21\ N$$

Finalmente, considerando que la potencia entregada por el motor es $P_B = vR_T/\eta_P$, con v la velocidad de navegación equivalente a 3 nudos y $\eta_p = 0{,}5$ una eficiencia propulsiva preliminar, obtenemos que la potencia entregada por el motor debe ser de:

$$P_B = 16{,}08\ W$$

4.4.2. Código CFD RANS.

Utilizando el software ANSYS CFX para resolver numéricamente las ecuaciones de Navier-Stokes, es posible obtener una estimación de resistencia al avance.

Se modeló el problema con un volumen de control de radio 2,5m y 18,5m de largo, generando una condición de simetría en crujía para reducir el uso de recursos computacionales. La discretización se realizó con una malla no estructurada y un máximo de 12 capas de inflación en casco y superficies de control. Se utilizó un *solver* CFD RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes*) con modelo de turbulencia *Shear Stress Transport.*

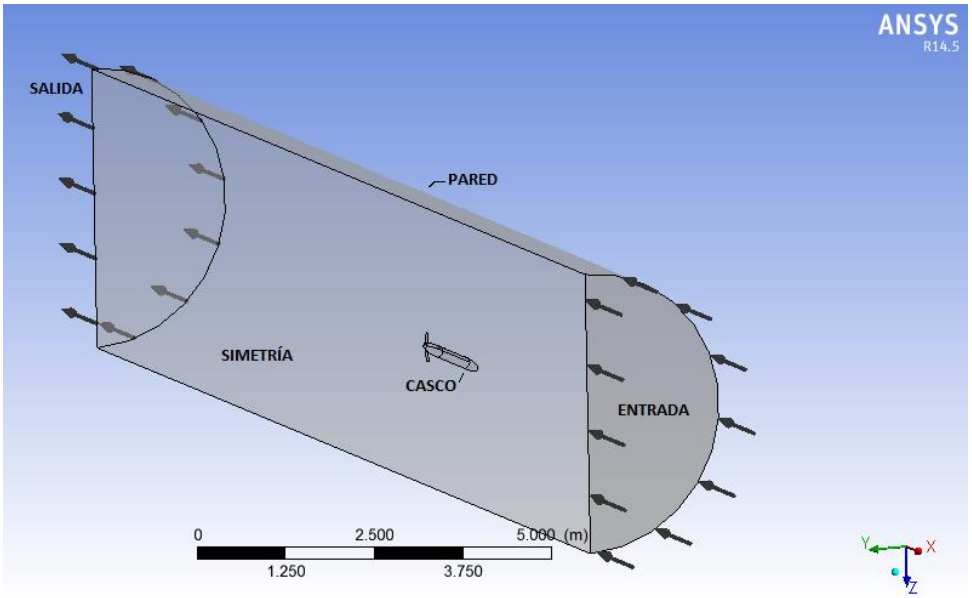


Ilustración 11. Nombre de las distintas condiciones de borde en modelo CFD

Las condiciones de contorno se definieron de la siguiente manera:

- Casco: No Slip Wall, Smooth
- Superficies de Control: No Slip Wall, Smooth
- Pared: Free Slip Wall
- Entrada: Inlet, Normal Speed 3[kt], Medium Turbulence
- Salida: Outlet, Normal Speed 3[kt]
- Simetría: Symmetry

Se realizó un análisis de sensibilidad para tres mallas distintas con el objeto de evaluar la independencia de la solución respecto al número de elementos. Los resultados se exponen a continuación, en las tablas 3 y 4:

Malla	N° de Elementos	Resistencia[N]		
		Casco	Apéndices	Total
Gruesa	271.490	4,5522	1,4503	6,0025
Media	449.660	4,5374	1,45136	5,99276
Fina	1.169.804	4,4686	1,44624	5,91484

Tabla 3 Resultados de resistencia obtenidos mediante CFD para distintas mallas.

Diferencia porcentual[%]			
Malla	Gruesa	Media	Fina
Gruesa	-	0,16	1,46
Media	-0,16	-	1,30
Fina	-1,48	-1,32	-

Tabla 4 Análisis de sensibilidad de malla para modelo CFD.

El resultado del análisis de sensibilidad, expuesto en la Tabla 4, muestra variaciones inferiores al 2% entre las mallas gruesa y fina, eligiéndose la malla intermedia como el mejor compromiso.

Las diferencias entre el modelo CFD y las formulaciones empíricas se ubican, además, en el orden del 13%, lo que se considera dentro de lo aceptable, tomando como mejor aproximación el cálculo del modelo numérico.

Las ilustraciones 12 y 13 muestran los campos de velocidades y presiones obtenidos del post procesamiento de la solución numérica.

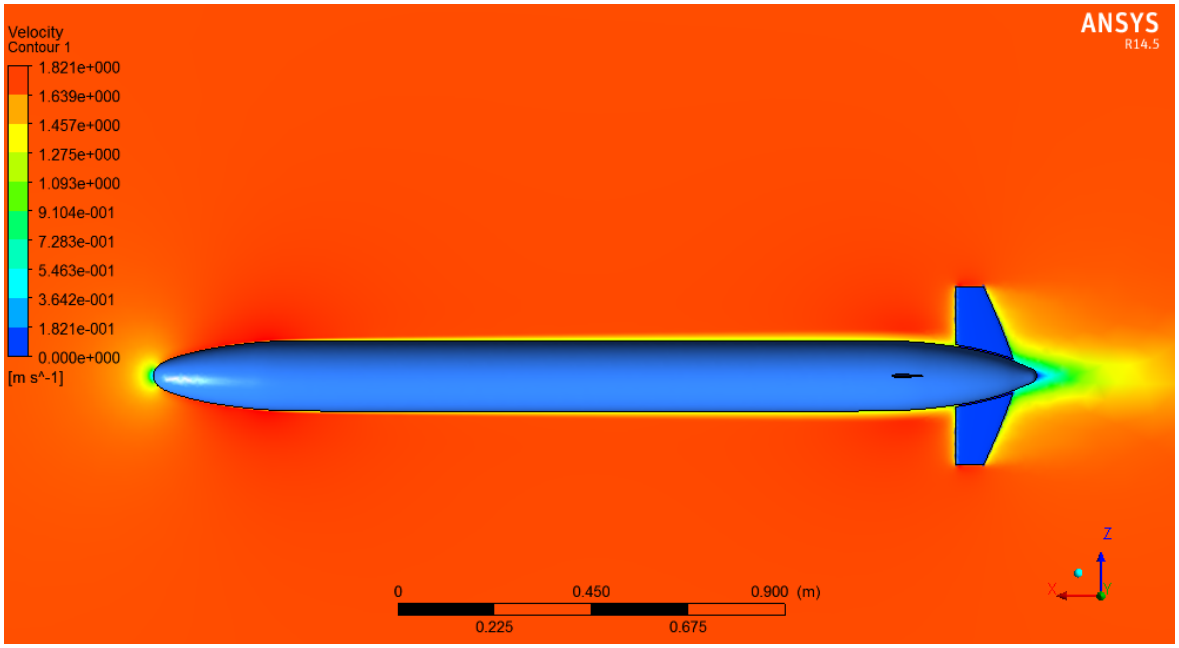


Ilustración 12 Mapa de velocidades obtenido del cálculo CFD

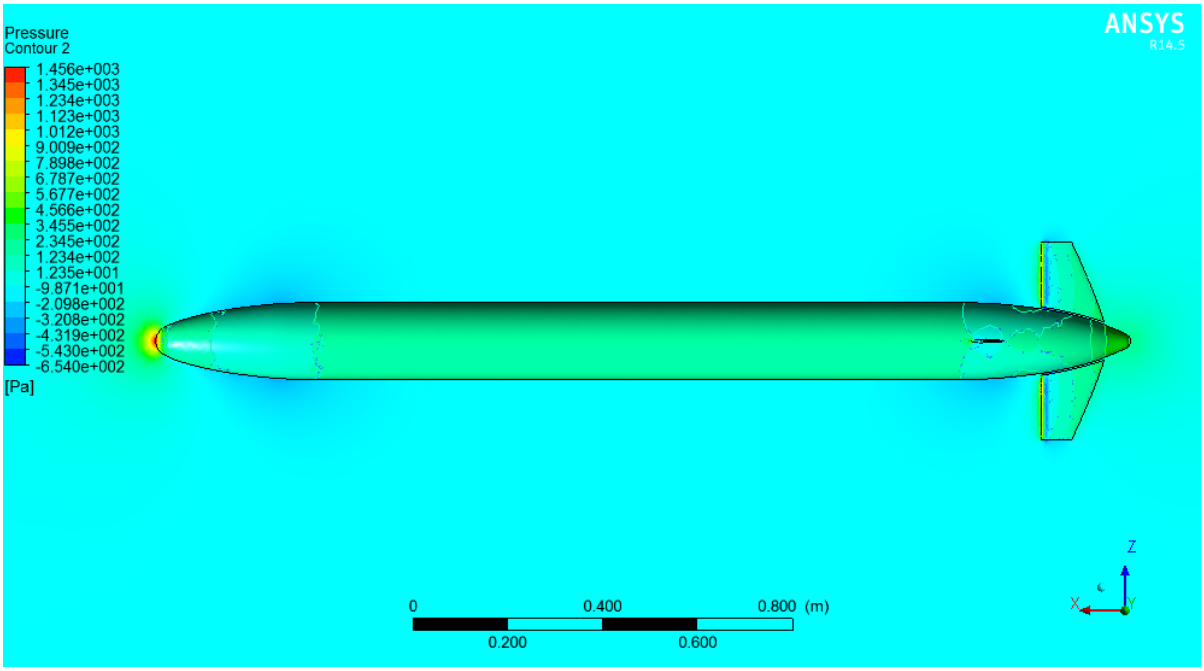


Ilustración 13 Mapa de presiones obtenido del cálculo CFD

Por último, usando de igual forma que en la sección de cálculos empíricos una eficiencia propulsiva preliminar de $\eta_p = 0{,}5$ se calcula la potencia entregada por el motor $P_B = 18{,}5W$.

$$t = \frac{26MN}{3kt} = 17{,}33h$$

4.4.3. Análisis de resultados.

Se observa que la diferencia entre los resultados obtenidos según métodos empíricos y mediante el código CFD empleado es acotada. Asumiendo como mejor aproximación el resultado del CFD, y considerando el requerimiento de operar en un rango de 26 MN a 3 nudos, ida y vuelta, entonces el tiempo de operación debe ser de al menos 17,33h, con lo que es posible calcular la potencia instalada requerida usando un factor de resguardo preliminar de 2 que incluya los efectos de pérdida y el consumo de los demás componentes electrónicos, para obtener finalmente una potencia instalada en baterías de 641W.

Usando una densidad energética por volumen para baterías de litio de $0{,}3Wh/cm^3$ y una densidad por peso de $141Wh/kg$, obtenidas como un promedio de diversos proveedores, entonces es posible establecer un requerimiento de aproximadamente $2140cm^3$ o $4{,}54kg$ en baterías de litio.

5. CONCLUSIONES.

El desarrollo y la utilización de herramientas autónomas significan un gran avance para muchos campos. En el ámbito marítimo, estamos aún a tiempo de desarrollar plataformas útiles que nos permitan estar a la vanguardia en un sinnúmero de áreas tanto científicas como industriales.

Este trabajo ha sido la base para el desarrollo de una herramienta inédita para la región, diseñada en función de los requerimientos locales tanto en prestaciones como en costos, con el objetivo de facilitar las condiciones para la realización de labores de exploración y monitoreo científico ambiental.

Este proyecto, además, resulta pertinente a la luz de los nuevos avances en materia de extracción de recursos, y viene a satisfacer las necesidades futuras de monitorear los efectos que tendrá el desarrollo de toda una nueva dimensión industrial para nuestra región.

El AUV, actualmente en construcción, es un proyecto en curso que está siendo ejecutado bajo un enfoque novel para este tipo de tecnología, pero completamente usual para el resto de la industria marítima: Se ha diseñado con un enfoque central puesto en la ingeniería naval,

integrando las distintas disciplinas complementarias en forma similar a como se realiza un buque convencional.

Las diferencias, al fin y al cabo, no son tan grandes, ya que un AUV, al igual que muchas embarcaciones, también integra sistemas electrónicos, sistemas eléctricos para propulsión y/o gobierno, sensores para navegación, entre otros. La ventaja principal de este enfoque es que se han generado todas sus especificaciones con conocimiento del entorno y énfasis en la fiabilidad de los sistemas bajo condiciones de navegación.

6. AGRADECIMIENTOS.

El financiamiento de este proyecto es provisto por la Dirección de Investigación de la Universidad Austral de Chile bajo el código DID Nº2014-34 y por el Ministerio de Educación de la República de Chile bajo el proyecto FDI Deeplight.

7. BIBLIOGRAFÍA.

[1] ZILIC, F. 2015. Desarrollo de vehículo submarino autónomo (AUV) para exploración oceanográfica (DID Nº S-2014-34). Cybertesis UACh, Universidad Austral de Chile.

[2] BUSQUETS, J.; J. V. BUSQUETS; F. ZILIC; G. TAMPIER. 2013. Low cost AUV in multiple deployment configurations for oceanographic research. OCEANS'13 MTS/IEEE Bergen, Norway.

[3] BUSQUETS, J.; F. ZILIC; C. ARON. 2013. AUV and ASV in twinned navigation for long term multipurpose survey applications. OCEANS'13 MTS/IEEE Bergen, Norway.

[4] IRIARTE, J.L.;C. VARGAS; F. TAPIA. 2011. Primary production and plankton carbon biomass in a river-influenced upwelling area off Concepción, Chile. Progress in Oceanography 92-95(2012) 97-109.

[5] FERRER, F. H. 1999. Perspectivas sobre la naciente industria para la explotación del océano profundo. Revista de Marina. Chile.

[6] QUINONEZ, L., C. 1998. ˜ La oceanominería en Chile: Presente y futuro. Revista de Marina. Chile.

[7] MORALES G., E. 2003. Methane hydrates in the Chilean continental margin. Biotechnol,vol.6,n.2,pp.80-84.ISSN 0717-3458.

[8]MULSOW, S. 2015. Update on the Status of Deep Sea Mining Beyond National Jurisdictions. The Journal of Ocean Technology, 10(1), 1-12.

[9] NIILER, P. 1995. Global drifter program: measurements of velocity, SST and atmospheric pressure. Intl. WOCE Newsletter, vol. 20, p. 3-6.

[10] WEBB, D.C.; P.J. SIMONETTI; C.P. JONES. 2001. SLOCUM: an underwater glider propelled by environmental energy. Oceanic Engineering, IEEE Journal of , vol.26, no.4, pp.447,452,(2001).

[11] PACKARD, G. E.; A. KUKULYA; T. AUSTIN; M. DENNETT; R. LITTLEFIELD;... G. SKOMAL. 2013. Continous Autonomous Tracking and Imaging of White Sharks and Basking Sharks Using a Remus-100 AUV Oceans 2013 - San Diego, pp.1,5.

[12] CARRERA, A.; N. PALOMERAS;D. RIBAS; P. KORMUSHEV; M. CARRERAS. 2014. An Intervention-AUV learns how to perform an underwater valve turning. OCEANS 2014-TAIPEI IEEE, pp. 1-7.

[13] KAMINSKI, C.; T. CREES; J. FERGUSON; A. FORREST; J. WILLIAMS;D. HOPKIN; G. HEARD. 2010. 12 days under ice–an historic AUV deployment in the Canadian High Arctic. Autonomous Underwater Vehicles (AUV), 2010 IEEE/OES. IEEE, 2010. p. 1-11.

[14] McPHAIL, S.D.; PEBODY, M., 2009. Range-Only Positioning of a Deep-Diving Autonomous Underwater Vehicle From a Surface Ship. Oceanic Engineering, IEEE Journal of , vol.34, no.4, pp.669,677. 43

[15] YOERGER, D.R.; M. JAKUBA; A.M. BRADLEY; B. BINGHAM. 2007. Techniques for deep sea near bottom survey using an autonomous underwater vehicle. The International Journal of Robotics Research, 26(1), 41-54.

[16] KUNZ, C.; C. MURPHY; R. CAMILI; H. SINGH;J. BAILEY;R. EUSTICE; ... C. WILLIS. 2008. Deep sea underwater robotic exploration in the ice-covered arctic ocean with

AUVs. Intelligent Robots and Systems. IROS 2008. IEEE/RSJ International Conference on. IEEE, 2008. p. 3654-3660.

[17] BOWEN, A. D.; D.R. YOERGER; C. TAYLOR; R. McCABE; J. HOWLAND; ... M.V.JAKUBA. 2009. The Nereus Hybrid Underwater Robotic Vehicle for Global Ocean Science Operations to 11,000 m Depth. In Proc. OCEANS (Vol. 8.)

[18] FOSSEN, T. I. 2011. Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control. John Wiley Sons, 2011.

[19] MARTZ, M. A. 2008. Preliminary design of an autonomous underwater vehicle using a multiple-objective genetic optimizer Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University.

DESARROLLO DE LA INGENIERÍA NAVAL NACIONAL:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DRAGA ARENERA

Freiria, Jorge[1]; Romano, Emmanuel [2]

[1]Arquitectura Naval Asociados, Montevideo, Uruguay

[2]Volfer Ingeniería Metalmecánica, Tacuarembó, Uruguay

RESUMEN.

La expansión de la economía a escala global ha impulsado la industria naval a niveles apenas imaginados hace pocos años. El ingreso de China acompañado del resto de los países asiáticos en la construcción naval, ha acaparado y prácticamente monopolizado, en base a una política de costos, los contratos por embarcaciones de mediano y gran porte, incluyendo barcazas con destino a nuestra región.

Las posibilidades de competencia sobre las bases de disminución de costos, aun afectando la calidad del producto final, son escasas ante los niveles alcanzados en estos países. La solución es enfocarse en segmentos de mercado que no pueden explotar estas potencias de la industria naval actual, embarcaciones de pequeño y mediano porte, con alta especialización, y con altos niveles de calidad.

La apuesta por un desarrollo sustentable debe fundamentarse en tres pilares fundamentales: el desarrollo de una robusta ingeniería naval nacional capaz de producir proyectos innovadores y con alto valor agregado, una capacidad de transformación metalúrgica apoyada en una alta formación y compromiso de los operarios y en una actualización constante de los equipos y procesos de manufactura, y finalmente en la confianza y el riesgo meditado de los armadores nacionales.

1. INTRODUCCIÓN.

Uruguay ha apostado a la reactivación de una industria naval con una rica y larga tradición, que a mediados de la década de 1980 comenzó a declinar, arrastrada por los mismos problemas que el resto de la industria naval en el continente.

Los proyectos que lideraron esta nueva transformación fueron la construcción de las barcazas para el transporte de celulosa de la actual UPM, siguiendo con otros proyectos básicamente orientados a la construcción de embarcaciones para vías fluviales, primero para ANCAP y en la actualidad para Montes del Plata.

La estrategia de desarrollo fue centrada en la construcción de barcazas para participar en la reposición de la inmensa flota existente operando en la hidrovía, y en el suministro de bloques para la industria naval brasilera, la cual actualmente no tiene capacidad suficiente para cumplir con los contratos asumidos ante la empresa Petrobrás.

El primer objetivo no pudo ser alcanzado por motivo de la crisis global desatada en 2008 que repercutió en la cancelación de grandes contratos ante la caída de negocios.

El segundo se mantiene vigente en la medida que sigue existiendo interés y que el gobierno está haciendo todos los esfuerzos a su alcance para impulsar este acuerdo, aunque aún queda por definir el tema de los costos de producción.

De todas maneras es necesario establecer que este si bien este acuerdo multiplicaría varias veces la producción metalúrgica naval con un fuerte desarrollo en la elaboración de bloques conformados, mantiene una muy baja componente de ingeniería.

Fuera de estas expectativas, los esfuerzos en tratar de recuperar la industria naval han terminado en acciones puntuales donde la componente nacional propiamente dicha estuvo reservada, en el mejor de los casos, a la transformación metalúrgica, mientras que el aporte en diseño, ingeniería e innovación estuvo ausente, con proyectos provenientes de países como Argentina o Paraguay.

Igualmente cabe consignar que estos movimientos, y la necesidad de nuevas embarcaciones asociadas con negocios en un marco de amplio crecimiento económico, generaron al interior

del sector un impulso que no se veía desde hacía más de 35 años desde la implantación del Plan Pesquero.

Es así que una vez finalizada la construcción de las primeras barcazas ya se tenían en carpeta los proyectos de una embarcación tipo catamarán para utilización de la Armada en las tareas de balizamiento, una embarcación auxiliar para trabajos de buceo y reparaciones a flote, y algunos proyectos de alistamiento.

Seguramente como parte de esa corriente, un armador nacional entendió que existían las condiciones técnicas adecuadas para iniciar este proceso que se está presentando, encargando el proyecto completo, incluida la ingeniería básica y de detalle y el diseño de los distintos sistemas, que finalizará con la entrega, a mediados del mes de Noviembre de 2014 de una embarcación especializada cuyo propósito es la extracción de arena.

2. ETAPAS DEL PROYECTO.

Cabe consignar que en el desarrollo del proyecto se cumplieron, en las escalas que corresponden, todas las etapas que involucran el llevar una idea a la concreción de un prototipo.

El Armador, ante una necesidad concreta, presenta el problema a resolver, definiendo los parámetros básicos que definen o acotan la solución.

En base a estas definiciones se comienza con una aproximación y sucesivas etapas de refinamiento en un contacto fluido hasta completar una idea básica que permite continuar avanzando.

Se entra entonces en lo que denominamos la espiral de diseño, comenzando con un primer esquema que presenta el primer punto de control y decisión, obligando a una modificación tendiente a obtener una mayor capacidad de carga.

Un rápido recorrido en esa espiral llevó al diseño final, sorteando otros aspectos relacionados con las condiciones de flotabilidad y estabilidad del buque, el dimensionamiento de la planta motriz y los elementos de maniobrabilidad, etc

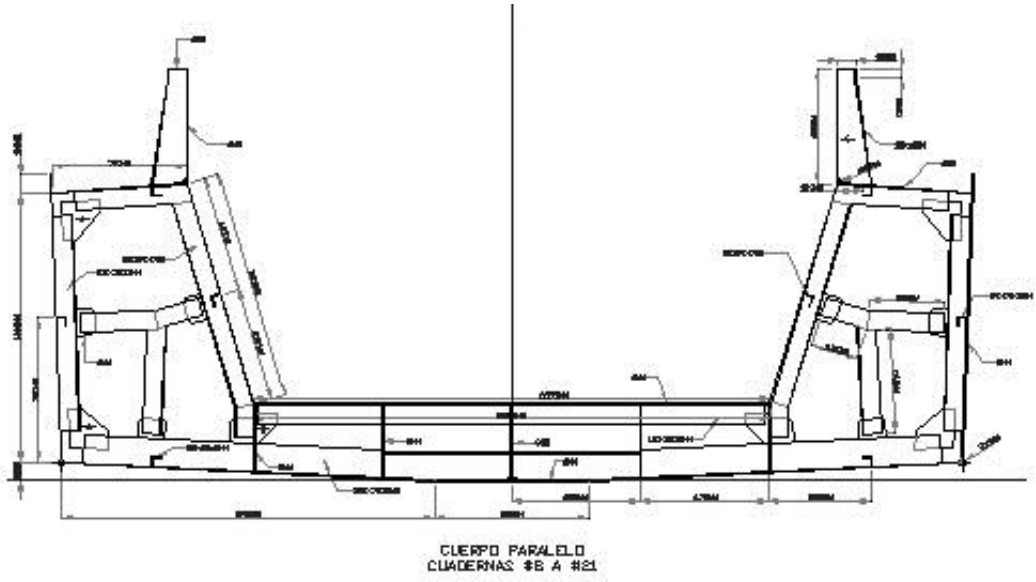


Fig. 1. Cuaderna central, detalles constructivos

Completados los pasos básicos se toma la decisión de comenzar con la construcción, dando paso a la etapa de astillero, donde se continúa el trabajo de diseño en etapas de lo que se denomina ingeniería de detalle, resolviendo aspectos prácticos de las representaciones planas de la ingeniería básica.

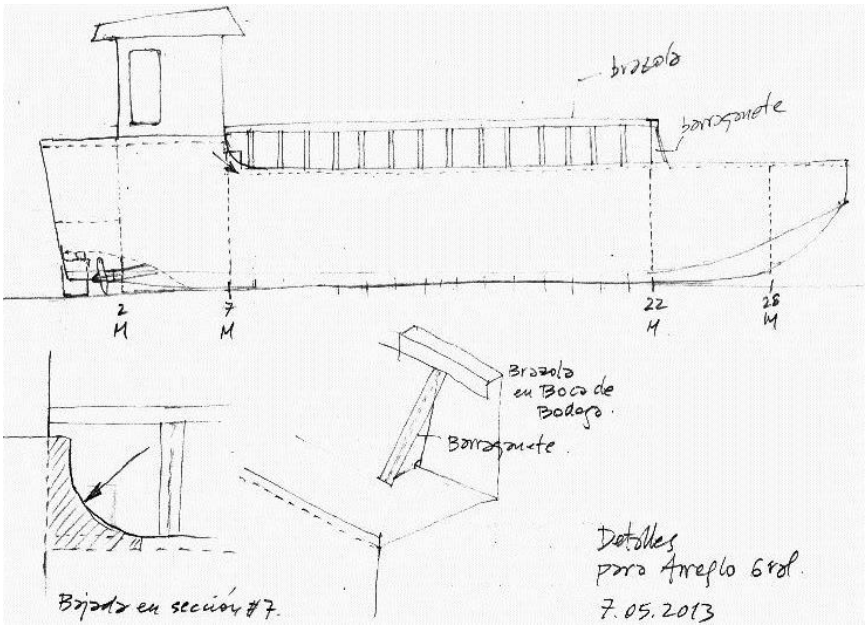


Fig. 2. Ingeniería de detalle, borrador

3. PROCESO DE DISEÑO.

Desde una posición conceptual personal, se entiende que el desarrollo de una industria naval nacional deberá estar apoyado sobre la base de las siguientes premisas:

1.1. Identificación de un área específica, adecuada a las limitaciones en la fase de producción, en la cual exista un potencial mercado al cual expandirse

1.2. Especialización en las áreas identificadas, con especial atención a las fases del proceso que aportan mayor valor agregado al proyecto

1.3. Destacar el producto final a través de la calidad de los procedimientos y los procesos de diseño y manufactura

1.4. Fuerte compromiso de la inversión nacional en el desarrollo de proyectos competitivos para el desenvolvimiento de áreas de actividad específica, como pueden ser la turística, el transporte fluvial o marítimo, o servicios especiales como en este caso.

En ese esquema de trabajo fue encarado este proyecto, habiendo logrado ese propósito en los aspectos de diseño, tanto básico como en la ingeniería de detalle, y en los aspectos involucrados en la construcción propiamente dicha.

Como primera acción, se realizó un diseño preliminar para poder realizar una estimación de materiales y costo de construcción, con la idea de establecer un primer punto de control y decisión.

Una vez el armador definió seguir adelante con el proyecto en base a esa estimación de costos, se ajustaron los parámetros de diseño y se llegó a un primer diseño de formas con un cierto de grado de integración.

Se verificaron las condiciones de carga y se encontró que era necesario un aumento en las dimensiones principales para poder completar el volumen inicialmente solicitado manteniendo condiciones de flotabilidad adecuadas, con un francobordo mayor a los mínimos establecidos para navegación fluvial.

Este aumento en las dimensiones generó un consecuente aumento en el costo de materiales y producción, apareciendo el segundo punto de control y decisión. Al igual que en el primer caso, se decidió continuar con el programa pautado.

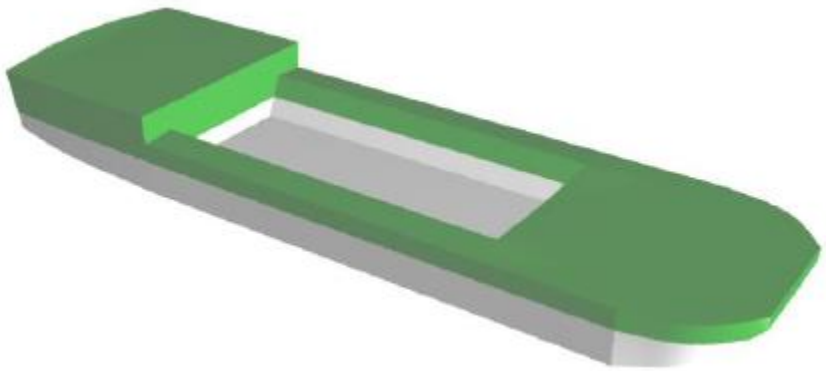


Fig. 3. Modelo 3D de la embarcación

A partir de ese momento se comienza con la etapa de diseño estructural, definiendo las estructuras transversales y, longitudinales que conforman la estructura resistente, junto con la determinación de espesores de chapa para el forro del casco.

En forma paralela se determinan las capacidades de los distintos servicios que serán instalados para que la embarcación complete su misión de acuerdo a las pautas establecidas en el contrato.

4. CALIDAD EN EL PROYECTO.

La calidad del producto final, como se destacaba en 3.3, depende de la calidad de todos los pasos que componen el proceso de diseño y manufactura.

El concepto de calidad debe entenderse como el resultado de la acción de un conjunto de elementos y acciones que, integradas, generan esa calificación y agregan valor al producto final.

Esta definición un tanto pragmática debe extenderse a todo el proceso, comenzando con las primeras etapas de diseño hasta completar la fase de producción.

La aplicación de estos conceptos en este proyecto que se está presentando, puede esquematizarse de la siguiente manera:

4.1. Comunicaciones / Información.

Implementación de un sistema de comunicaciones claras e intercambio de información eficiente que permita la toma de decisiones sin generar demoras en las distintas fases del proyecto.

4.2. Herramientas tecnológicas.

Las herramientas tecnológicas no sustituyen el trabajo o habilidades de los técnicos, pero permiten un enfoque con mayores niveles de celeridad, definición y calidad en los procesos y productos desarrollados.

Programas CAD de dibujo y diseño, integrados con capacidades de cálculo de propiedades específicas, en conjunto con máquinas automatizadas para el procesamiento de los materiales utilizando tecnologías CNC, son algunas de las herramientas referidas que fueron adoptadas en este proyecto.

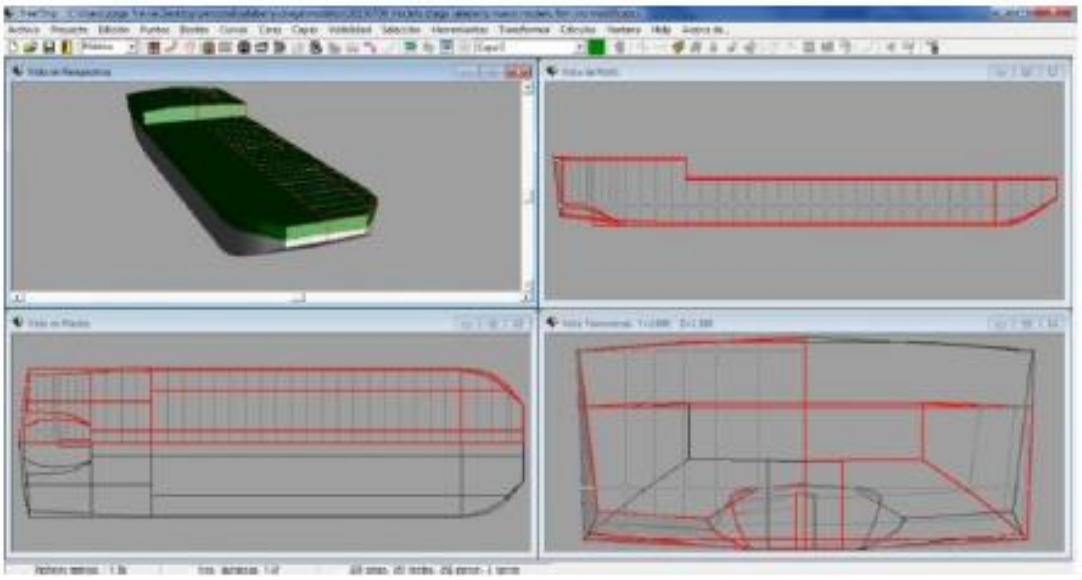


Fig. 4. Programa de diseño naval

4.3. Normalización.

Trabajar sobre la base de una normativa reconocida establece niveles de seguridad en los proyectos, permitiendo el cumplimiento de acciones de resguardo relacionadas con la operativa de los sistemas.

En particular, en el diseño naval, éste es un requerimiento básico para la emisión de pólizas de seguro para los buques, denominado Clasificación.

Las aseguradoras se apoyan en los servicios de lo que denominamos Sociedades de Clasificación, las cuales son las encargadas de la emisión de las normas de diseño y construcción naval.

Por lo general las condiciones de clasificación significan un proceso muy costoso del cual se exonera a las embarcaciones menores, para las cuales las empresas aseguradoras aplican procedimientos técnicos alternativos.

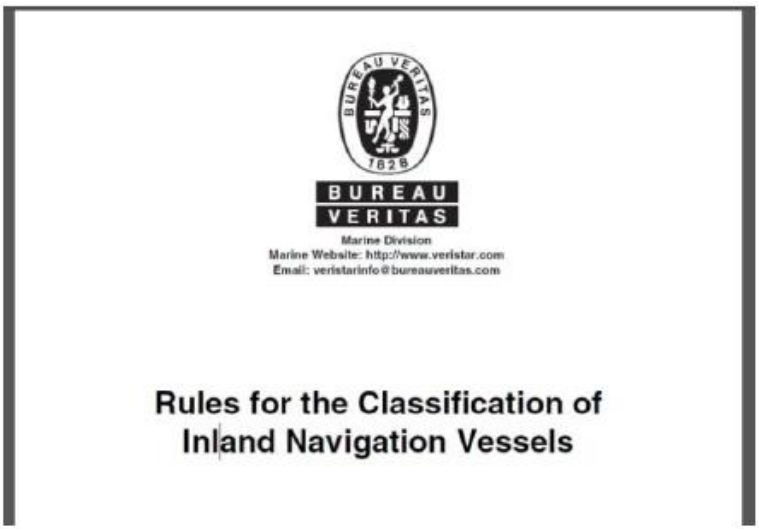


Fig. 5. Normas del Bureau Veritas relacionadas con embarcaciones para navegación interior

Independientemente que en el presente caso no se va a solicitar la correspondiente clasificación, todo el proceso de diseño fue contrastado contra las normas emitidas por la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas, tanto en lo relacionado con la estructura resistente y forro del casco, como con distintos elementos de alistamiento de la embarcación.

4.4. Automatización de procesos metalúrgicos.

Fue mencionado anteriormente la utilización de herramientas tecnológicas para una mayor eficiencia y calidad en distintos procesos del proyecto.

Merece destacarse la incorporación de estas herramientas en el proceso de manufactura, total o parcial, del producto final.

Una buena parte del trabajo se completa con el soporte de este tipo de máquinas que facilitan la obtención de piezas con una terminación y niveles de tolerancia que permiten optimizar los procedimientos de ensamblado y montaje, tanto en sus condiciones de producción como en los tiempos empleados.



Fig. 6. Cortadora de plasma con interface CNC



Fig.7. Plegadora con interface CNC



Fig. 8. Estructura de doble fondo, sección central



Fig. 9. Montaje de bloques, sección central

4.5. Control de procesos metalúrgicos (END).

Uno de los aspectos especialmente observados por las Sociedades de Clasificación es lo concerniente a la calidad final, procedimientos y recursos humanos involucrados en los procesos metalúrgicos que requieren soldadura.

Como primera medida, las normas exigen la clasificación de los operarios. Esto se logra mediante exhaustivas pruebas controladas por la institución seleccionada para ese servicio, con controles y exámenes comparativos contra patrones normalizados. Las probetas incluyen soldadura en todas las posiciones y configuraciones.

Los procedimientos de soldadura también deben ser sometidos a la autorización de la Sociedad de Clasificación, la cual además establece los criterios de aceptación para las dimensiones de los cordones de soldadura.

Como última etapa, se exige la realización de una serie de ensayos no destructivos que pueden terminar con la obligación de la reparación puntual o local de cordones de soldadura de distinto tipo.

En ese espíritu, fueron seleccionados los operarios que mejor se ajustaban a los variados requerimientos de soldadura, derivados de las distintas posiciones y configuraciones que impone este tipo de construcción.

En la fase de control se realizaron relevamientos técnicos con inspecciones visuales y métodos de ensayos no destructivos para determinar la calidad de la soldadura, tanto en los procedimientos llevados a cabo por los operarios, como en la calidad de la misma.

Este trabajo fue desarrollado por una empresa especializada, Serintec Ltda. / Servicios de Inspección Técnica, a cargo de destacados técnicos en el tema.

Esta empresa finalmente debe respaldar sus observaciones con un informe completo que es remitido a la Autoridad Marítima, responsable final por los aspectos formales relacionados con la construcción y registro de embarcaciones de bandera nacional, y por la custodia del mantenimiento de las buenas prácticas en el arte naval.

4.6. Autoridad Marítima.

Todos los aspectos relacionados con la construcción, modificación, registro y autorizaciones para la navegación, son analizados, autorizados y controlados por la Autoridad Marítima Nacional a través de la Prefectura Nacional Naval su Comisión Técnica.

El procedimiento se comienza con la presentación de la solicitud de autorización para comenzar las obras mediante el Permiso de Construcción, el cual incluye una extensa documentación de registro y técnica como planos de formas, planos de construcción, memorias de materiales, memorias de proyecto y soldadura, estimación de condiciones de estabilidad, etc.

Presentada la solicitud se coordina con el cuerpo de inspectores de la Comisión Técnica para la realización de la inspección inicial, estableciendo las futuras instancias que llevarán a la inspección final que habilite la botadura de la nave.

5. REGISTRO DE ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN.

Se presentan a continuación fotografías que muestran el desarrollo de la construcción desde las primeras instancias de confección de bloques hasta la situación actual en la que se encuentra en un 80% de su montaje y desarrollo total.

5.1. Construcción de bloques.



Fig. 10. Bloques laterales, sección central



Fig. 11. Montaje de bloques laterales y estructura de doblefondo



Fig. 12. Estructura de cántara y doble fondo



Fig. 13. Estructura de cántara y doble fondo

5.2. Colocación del forro del casco.



Fig. 14. Inicio de colocación del forro del casco



Fig. 15. Inicio de colocación del forro del casco



Fig. 16. Túnel y sección de salida de eje portahélice

5.3. Botadura.



Fig. 17. Posicionamiento para botadura



Fig. 18. Tareas de botadura

5.4. Alistamiento.



Fig. 19. Buque a flote completadas tareas de alistamiento

6. CONCLUSIONES.

Se debe destacar como una primera conclusión, que existe un área de desarrollo de la ingeniería e industria naval nacional, con un potencial interesante referido a embarcaciones de pequeño y mediano porte con un alto grado de especialización.

Queda demostrado que existen las capacidades técnicas suficientes para llevar adelante proyectos de esta naturaleza con altos niveles de calidad y eficiencia, apuntando a todos los aspectos involucrados y detallados en el capítulo 4.

Se entiende que proyectos como el presentado abren la puerta a un desarrollo local de una industria que tiene un futuro marcado por la concreción de varios proyectos productivos y de integración en marcha, como los son la producción y transporte de madera a través de un sistema multimodal, el inicio de actividades del puerto de la Charqueada y la implementación de la hidrovía que une al Uruguay con el Puerto de Río Grande.

7. REFERENCIAS.

Artículos de revistas:

Freiria, J.; Leopold, A.; *Soltando Amarras: Resurgimiento de la industria naval;* Revista Enlaces, Nro. 4, pp. 6 - 9; 2010

Libros:

Bureau Veritas; Rules for the Classification of Inland Navigation Vessels; Inland Navigation Management, Amberes, Bélgica, 2011

5. EDUCACIÓN Y FORMACIÓN NAVAL

APROVECHAMIENTO DE LAS TICS EN CURSOS UNIVERSITARIOS

Doisenbant, G. J.[1]
[1]Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires - Argentina
gdoisenbant@fi.uba.ar

RESUMEN.

Si bien la aplicación de nuevas Tecnologías de Información y Comunicación (TICs) en la educación de nivel universitario no reemplaza a los cursos presenciales, es un complemento muy útil para el desarrollo de los mismos. Las TICs posibilitan una mayor interacción entre los docentes y los alumnos, y también preparan a los estudiantes en el uso de tecnologías que les permitirá un mejor desempeño profesional luego de su graduación. En el presente trabajo se busca compartir la experiencia de aplicación de las TICs en dos asignaturas obligatorias de la carrera Ingeniería Naval y Mecánica de la Universidad de Buenos Aires. Asimismo, se muestra el aprovechamiento de algunos recursos disponibles en la plataforma virtual Moodle y la respuesta de los alumnos ante las nuevas propuestas didácticas y la posibilidad de interacción. La experiencia se desarrolló en las asignaturas Dibujo para Ingenieros y Vibraciones de Estructuras. En ambos casos se utilizaron algunos recursos de la plataforma Moodle, complementados con el uso de diversos software específicos de dibujo, diseño, cálculo y simulación naval. El campus universitario virtual permite una fácil creación y actualización de los contenidos. Es de especial interés el análisis de los resultados obtenidos en ambos cursos y el comportamiento de los alumnos frente a las nuevas tecnologías. En ambos casos se pueden observar mejoras en la organización del curso y las ventajas que ofrece en cuanto a la interacción entre docentes y alumnos como extensión de las clases presenciales, y para la presentación de trabajos prácticos. Por su parte, en el transcurso de las experiencias se observó que una buena presentación visual y el correcto aprovechamiento de los recursos de la plataforma ayudan a una mayor participación de los alumnos y un mayor interés por las materias que se reflejó también en las clases presenciales.

1. ANTECEDENTES SOBRE EL TEMA.

La gran expansión a nivel mundial que atravesaron la electrónica y la informática a fines del milenio pasado permitieron que a comienzos de este tercer milenio, se extendiera la incorporación de nuevas tecnologías en las universidades. En ese contexto se publicaron varios trabajos que abrieron camino a un nuevo campo de investigación y desarrollo científico en la pedagogía de nivel superior. A continuación realizamos un repaso por algunos de los trabajos más destacados en la materia.

En 2001 Marquès [1] publicó un estudio sobre el impacto de las TICs en la Universidad Autónoma de Barcelona. En él habla de un cambio en el paradigma de la enseñanza tras la aparición de internet. Desde su perspectiva, esta red mundial descentralizada presenta dos características principales: proporciona acceso a todo tipo de información siempre disponible en todas partes, y facilita la comunicación en forma inmediata. De esa forma, el marco en que se puede desarrollar el aprendizaje es totalmente distinto al que se tenía previamente. El paradigma de la enseñanza incorpora los conceptos de virtualidad, bimodalidad, nuevos roles del profesorado y de los estudiantes, y nuevos materiales formativos. No obstante, Marquès observó en su propio trabajo que las TICs no suponen por si mismas una garantía de cambio positivo en la universidad, y aparecieron nuevos retos que es necesario afrontar: nuevos programas docentes, control de la calidad de los materiales y servicios virtuales, buenas prácticas docentes en el uso de las TICs y formación del profesorado, entre otros.

Al año siguiente Oliver [2] publicó un artículo en que destaca el carácter social de la educación, y cómo las nuevas tecnologías modifican las relaciones tradicionales entre los docentes y los alumnos. En su artículo realiza un interesante análisis sobre cómo las TICs afectan qué se aprende, cómo se aprende, y cuándo y dónde se aprende. También destaca la posibilidad de incorporar nuevos educadores y educandos gracias a las nuevas herramientas disponibles.

Selwyn [3] y Rodríguez [4], en cambio, adoptan una postura más crítica desde el punto de vista social con respecto al uso de tecnología computacional en enseñanza universitaria. Si bien no niegan las ventajas del uso de las TICs, plantean eventuales problemas que podrían surgir al implementarlas. Mencionan el acceso restringido a la tecnología, el acceso restringido a los servicios de apoyo y la falta de habilidades tecnológicas, entre otros, y expresan que se deben producir cambios organizativos y estructurales a nivel institucional.

Ibáñez [5] expresa la necesidad de flexibilización de las instituciones de educación superior para integrar las TICs en los procesos de formación. Introduce el concepto de ciberespacio como un entramado de redes, dentro del cual aparecen nuevas organizaciones de enseñanza, que se constituyen como consorcios o redes de instituciones y cuyos sistemas se caracterizan por la modularidad y la interconexión. Esto exige a las instituciones de educación superior una flexibilización de sus procedimientos y de su estructura administrativa a nivel global, y no solamente la oferta de cursos en línea o la investigación sobre TICs. Las universidades necesitan implicarse en procesos de mejora de la calidad que se traduce en procesos de innovación educativa apoyada en las TICs, pero donde éstas son simplemente una herramienta para mejorar la calidad de la enseñanza y el aprendizaje.

Al respecto, es interesante la perspectiva que aporta Nieto [6], quien realizó un estudio del uso de TICs en la educación desde el punto de vista de la integración y convergencia de la enseñanza universitaria en el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). A partir de su estudio sobre la evaluación del aprendizaje de los estudiantes, expresa algunas reflexiones que si bien no están directamente relacionadas con el presente trabajo, pueden resultar muy interesantes para el lector, y no queríamos dejar de mencionar.

Concannon [7] llevó a cabo un estudio en Irlanda sobre las percepciones que tienen los estudiantes universitarios sobre la educación con nuevas tecnologías. Las encuestas realizadas a los alumnos permitieron detectar posibles deficiencias y realizar sucesivas mejoras en la estructura de los cursos.

Godoy [8] también realizó una investigación de campo en Venezuela, centrándose en el rendimiento académico de los estudiantes. El análisis de carácter cuantitativo se elaboró a partir de encuestas sistemáticas y anónimas a estudiantes de seis instituciones de nivel superior, y abarcó aspectos como el acceso a internet en el hogar, la confianza en el uso de las TICs en los estudios, la experiencia de los estudiantes en el uso de la computadora para los estudios, y la fracción del tiempo semanal de conexión dedicada al trabajo académico, entre otros. Como conclusión expresa que no hay nada inherente a la tecnología que provoque una mejora en el aprendizaje, aunque el proceso de rediseñar un curso para adaptar su contenido al uso de la tecnología puede mejorar el curso y los resultados.

Una descripción exhaustiva de los factores que posibilitan el aprovechamiento de las TICs en ámbitos educativos fue publicada por Castro [9]. En su trabajo expresa que las tecnologías

auguran la progresiva desaparición de las restricciones de espacio y tiempo en la enseñanza y la adopción de un modelo de aprendizaje más centrado en el estudiante. Luego analiza las múltiples ventajas de los recursos digitales y las eventuales limitaciones que podrían presentarse si el docente no está bien capacitado para este tipo de enseñanza. En este sentido, concluye que la incursión de las TICs no hará más cómodo el trabajo de los profesores, más bien al contrario, ya que les exigirá una mayor competencia pedagógica y un mayor grado de motivación.

En la misma línea de pensamiento, García-Valcárcel [10] afirma que el profesor deberá asumir un cambio de protagonismo en el proceso de enseñanza y aprendizaje, y su principal objetivo será ayudar al alumno a ser agente activo y protagonista de su propio aprendizaje. Su función ya no será únicamente la de un mero transmisor de información y cultura, sino que actuará como experto, guía, tutor y motivador de aprendizajes. En este sentido, el profesor deberá estar preparado para aprovechar al máximo las posibilidades que le brindan las tecnologías en cuanto que posibilitan contextos de aprendizaje diferentes, centrados en el alumno, ofreciéndole diversas modalidades de interacción, proporcionándole distintas opciones y grados de control de su propio proceso de aprendizaje, respondiendo a sus intereses personales, promoviendo actividades de aprendizaje colaborativo, desarrollando una mayor autonomía de trabajo y aprendizaje autorregulado, rompiendo con las situaciones de aprendizaje pasivo y exclusivamente acumulativo y dependiente del profesor.

Mahdizadeh [11], por su parte, realizó un estudio de campo en Países Bajos mediante encuestas a docentes. Así, pudo establecer que el grado de empleo de tecnologías educativas por parte de los docentes está relacionado en forma directa con la percepción subjetiva que ellos tienen acerca de las ventajas que ofrecen estas tecnologías.

Otros estudios estadísticos como los de Moguel [12], López de la Madrid [13] y García-Valcárcel [14] analizaron en forma cuantitativa el efecto de la introducción de TICs en distintos ámbitos educativos de nivel superior en México y España. Tejedor [15] también estudió el problema de forma empírica en España, pero lo hizo mediante la utilización de escalas, lo que le permitió una cuantificación aún más fina de los resultados.

Estudios más recientes introducen el concepto de nativos digitales, que son aquéllos que crecieron con acceso a computadoras e internet, y que ya son estudiantes de nivel superior. Margaryan [16] verifica que los nativos digitales y los estudiantes de disciplinas técnicas

como ingeniería usan más herramientas tecnológicas en comparación con los "inmigrantes digitales" y los estudiantes de disciplinas no técnicas. Sin embargo, encuentra que estas diferencias son sólo cuantitativas y no cualitativas, es decir, su investigación no encontró evidencias de que ambos grupos de estudiantes adopten diferentes formas de estudio.

Un nuevo artículo de López de la Madrid [17] enumera algunos de los cambios que se observan cada vez con mayor frecuencia en las instituciones de educación superior gracias a la incorporación de TICs. Dentro del campo de la investigación: conformación de cuerpos académicos interinstitucionales, realización de convenios entre universidades de distintos países, mayor divulgación de resultados de investigación, gestión de información (bibliotecas) más eficiente, formación de recursos humanos en cursos de posgrado con modalidades no convencionales, investigación a distancia y uso de TICs. Dentro del campo de la docencia: trabajo con colegas mediante foros y correo electrónico, realización de programas educativos interinstitucionales con mayor flexibilidad pedagógica, nueva oferta educativa, introducción de TICs en las aulas, mayor comunicación docente-alumno que disminuye la demanda de presencialidad. Dentro del campo de la extensión universitaria: mejora de la comunicación entre la institución y la sociedad, y realización de actividades abiertas al público en general a través de plataformas digitales. Como beneficios indirectos se cuentan la economía de recursos que implican al mismo tiempo ventajas ecológicas.

En el ámbito de la Universidad de Buenos Aires (UBA), se crea en 2011 el programa UBA-TIC para potenciar la enseñanza en el nivel superior a través de las nuevas tecnologías. En ese marco, la Facultad de Ingeniería de la UBA (FIUBA) se suma a la propuesta con su propio Centro de Educación a Distancia (CEAD). Esta iniciativa se propone incentivar, en la comunidad de la Facultad de Ingeniería de la UBA, la aplicación de diferentes modalidades de enseñanza con el desarrollo y la incorporación de diversos recursos tecnológicos en las clases presenciales y en el Campus FIUBA. La propuesta incluye el equipamiento de un aula multimedia. Según explica la Mg. Ema Aveleyra, Directora del CEAD, las TICs se insertan y modifican el escenario pedagógico y, por lo tanto, es necesario acompañar a los docentes con estas innovaciones. Por ello, también se están desarrollando cursos de capacitación sobre el uso tecnológico y pedagógico de programas para el diseño de material didáctico. La implementación del proyecto tiene inicialmente como beneficiarios directos tanto a los docentes como a los estudiantes de las asignaturas de ciencias básicas de los primeros años de todas las carreras de ingeniería y se hará extensiva de manera progresiva a toda la comunidad

de la FIUBA.

Se han publicado diversos trabajos sobre la integración de las TICs en la enseñanza de la ingeniería, entre los cuales se destacan en de Ferrini [18] y el de Aveleyra [19].

En este contexto es que el presente trabajo busca avanzar en el conocimiento de los recursos tecnológicos disponibles y en su aplicación y aprovechamiento para mejorar el desarrollo de los cursos universitarios. Se procura asimismo evaluar la respuesta de los alumnos ante las nuevas propuestas didácticas y la posibilidad de interacción en asignaturas de la FIUBA.

2. METODOLOGÍA Y RECURSOS.

Para la experiencia se seleccionaron dos asignaturas obligatorias de la carrera Ingeniería Naval y Mecánica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. En la selección se consideraron múltiples factores, entre ellos:

- Ubicación temporal de la materia en el plan de estudios de la carrera. Se selecciona una asignatura de la etapa inicial de la carrera y una asignatura de la etapa final.
- Carácter predominante teórico o práctico de los contenidos. Se selecciona una asignatura de cada tipo.
- Ambas materias deben tener escasa o nula incorporación de nuevas tecnologías al comienzo de la experiencia.

Teniendo en cuenta estos criterios, las materias seleccionadas fueron Dibujo para Ingenieros y Vibraciones de Estructuras.

Dibujo para Ingenieros es una asignatura de los primeros años de la carrera, de carácter predominantemente práctico, en la que no se tenía una experiencia previa de aplicación de TICs. Se realizaban trabajos prácticos que consistían principalmente en planos de buques o partes de buques realizados a mano. Esta materia era una buena elección para la experiencia de incorporación de tecnología, dada la necesidad de actualizar los contenidos para incorporar el uso de software de dibujo y diseño naval. El perfil de los alumnos es netamente de nativos digitales que utilizan habitualmente TICs, fuera del ámbito educativo, pero la inserción de tecnologías en su educación es aún limitada.

Vibraciones de Estructuras es una asignatura de los últimos años de la carrera, de carácter predominantemente teórico, en la que se tenía una escasa experiencia previa de aplicación de

las TICs. Esta experiencia se limitaba a un subdominio dentro de la página web de la Facultad donde los docentes publicaban información en forma unidireccional para los alumnos. Al ser estudiantes avanzados en la carrera, el perfil de los alumnos es el de transición entre inmigrantes digitales y nativos digitales. Algunos de ellos incorporaron el uso de computadoras y el acceso a internet en forma cotidiana recién durante sus estudios universitarios.

Para nuestro estudio utilizamos dos tipos de recursos tecnológicos. Por un lado recursos físicos (hardware), y por otro lado recursos informáticos (software). A continuación detallamos cada uno de ellos.

En cuanto a los recursos físicos, la Facultad cuenta con los siguientes:

- Una Sala Multimedia, con capacidad para 42 asistentes que tiene a disposición una computadora de escritorio con software actualizado y adecuado a los usos y funciones de la Sala, varias computadoras portátiles para los asistentes, cañón de proyección con pantalla de gran tamaño, televisor de pantalla plana de alta definición con puerto HDMI, pizarra electrónica, tabla digitalizadora, puntero láser, equipo de videoconferencia, cámara digital, grabador digital, y un gabinete para diseño de materiales.
- Un aula especialmente equipada para dibujo a computadora, con capacidad para 40 alumnos que cuenta con 20 computadoras de escritorio con programas de dibujo y diseño asistido por computadora (CAD), un proyector que permite exhibir la imagen proyectada sobre una pizarra blanca en la cual también se pueden utilizar marcadores al agua
- Varios laboratorios de computación de libre acceso para docentes y estudiantes, cuyas computadoras cuentan con software CAD, programas de simulación y software de cálculo mediante elementos finitos.
- Conexión a internet en todas las computadoras de escritorio de la FIUBA, y WiFi accesible desde todos los espacios utilizados por los docentes y los estudiantes (biblioteca, aulas, laboratorios, espacios de estudio y esparcimiento).

Los nuevos recursos informáticos que comenzaron a implementarse en ambas materias como parte de nuestro estudio estuvieron centrados en el uso de la plataforma Moodle. El campus universitario virtual permitió una mayor facilidad para la creación y actualización de los

contenidos y para la interacción entre los docentes y los alumnos. Se creó un aula virtual para cada uno de los cursos, en simultáneo con la incorporación de diversos software, de acuerdo a los contenidos de cada asignatura. En el caso de Dibujo para Ingenieros, se incorporaron programas de dibujo y diseño asistido por computadora, y en Vibraciones de Estructuras se incorporaron programas de simulación y cálculo mediante elementos finitos. Además, permanentemente se crean nuevos contenidos digitales que se incorporan al aula virtual, incluyendo el aprovechamiento de diversos recursos como la carga y descarga de archivos y software, la lectura de contenido online, enlaces externos y foros de intercambio.

Merece un párrafo especial la importancia de la comunicación entre los docentes y los alumnos. Ya se mencionó el recurso de los foros dentro de la plataforma Moodle. Pero las perspectivas de comunicación entre los integrantes de cada curso no se limitan al ámbito del campus virtual. Otros medios constituyen alternativas complementarias y muchas veces superadoras, ya que Moodle no se especializa en la comunicación sino en la creación de un entorno marco para el desarrollo del aula virtual. En forma complementaria se utilizan otros recursos para la comunicación entre docentes y alumnos, como el correo electrónico, videoconferencia, Skype y WhatsApp. Para comprender mejor el concepto de complementariedad expuesto, es importante destacar los usos que pueden darse a cada uno de estos recursos. En primer lugar, el correo electrónico es generalmente la herramienta con que se establece la primera comunicación digital formal entre los docentes y los alumnos. La videoconferencia, por su parte, permite contactar en forma sincrónica a grupos de personas ubicados en distintos lugares. Esto puede ser muy útil, por ejemplo, cuando un especialista en el tema del curso no puede participar en forma presencial. El software Skype, adicionalmente, presenta la opción de compartir pantalla, que es un recurso muy valioso al momento de enseñar el uso de un software determinado, o para la resolución de consultas de los alumnos. Por último, WhatsApp es un recurso que utilizan prácticamente todos los docentes y estudiantes en forma cotidiana y presenta la característica de la inmediatez para la comunicación. Si bien mencionamos sólo los recursos complementarios utilizados en nuestra experiencia, no se descarta el empleo de otros que permitan una interacción más fluida entre los agentes del proceso de enseñanza y aprendizaje.

Para el éxito del proyecto se realizaron instancias de capacitación docente que incluyeron cursos a distancia sobre uso de tecnologías educativas. Además, se mantuvo un intercambio permanente entre los docentes, el Centro de Educación a Distancia y los Servicios de Ayuda y

Soporte Técnico de la FIUBA.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En ambas asignaturas se incorporaron nuevos trabajos prácticos que requieren el uso de programas informáticos simultáneamente con la creación de nuevos entornos virtuales. Es de especial interés el análisis de los resultados obtenidos en ambas materias y el comportamiento de los alumnos frente a las nuevas tecnologías.

Para los trabajos prácticos se desarrolló nuevo material didáctico digital (apuntes teóricos, tutoriales, instructivos y metodologías de trabajo) y se realizó un seguimiento del desempeño de los estudiantes.

A modo ilustrativo, en la Figura se muestra uno de los trabajos prácticos que fue posible incorporar gracias al empleo de nuevas tecnologías. En este caso se trata de la realización de un modelo tridimensional de la hélice de un buque que los alumnos deben construir a partir de los datos principales (diámetro, paso, número de palas) mediante el uso de una serie dada.

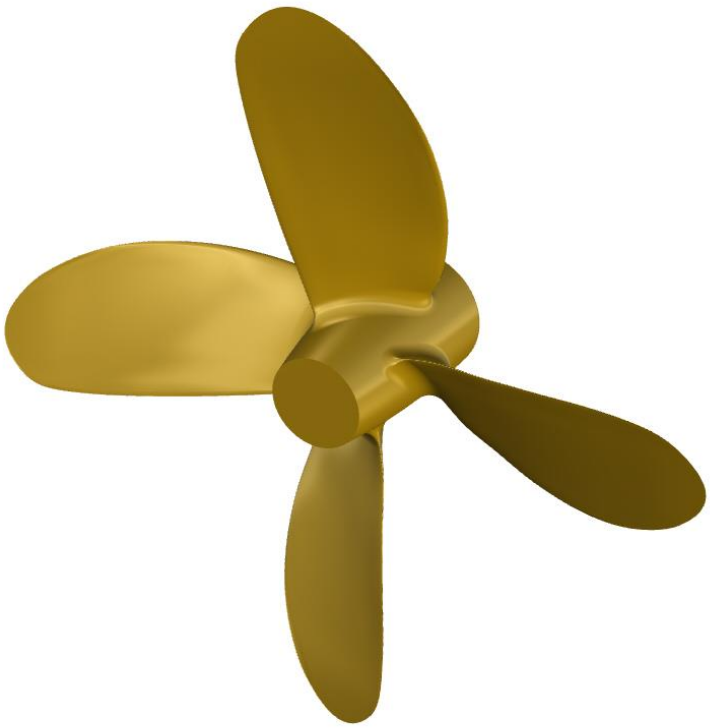


Figura 1. Trabajo práctico de Dibujo para Ingenieros

En la misma asignatura se incorporaron otros trabajos prácticos de dibujo a computadora y se promovió el empleo de programas informáticos para los cálculos relacionados con los trabajos prácticos, y la realización de renderizados y simulaciones.

Por su parte, en la asignatura Vibraciones de Estructuras se utilizaron principalmente software de análisis de estructuras por método de elementos finitos. La entrega de los trabajos prácticos se realizó también mediante el campus universitario virtual, donde los estudiantes reciben la devolución de los docentes y centralizan el control de sus calificaciones. A modo de ejemplo, en la Figura se muestra una toma de pantalla del entorno para la entrega de trabajo práctico dentro del campus universitario virtual de la FIUBA.

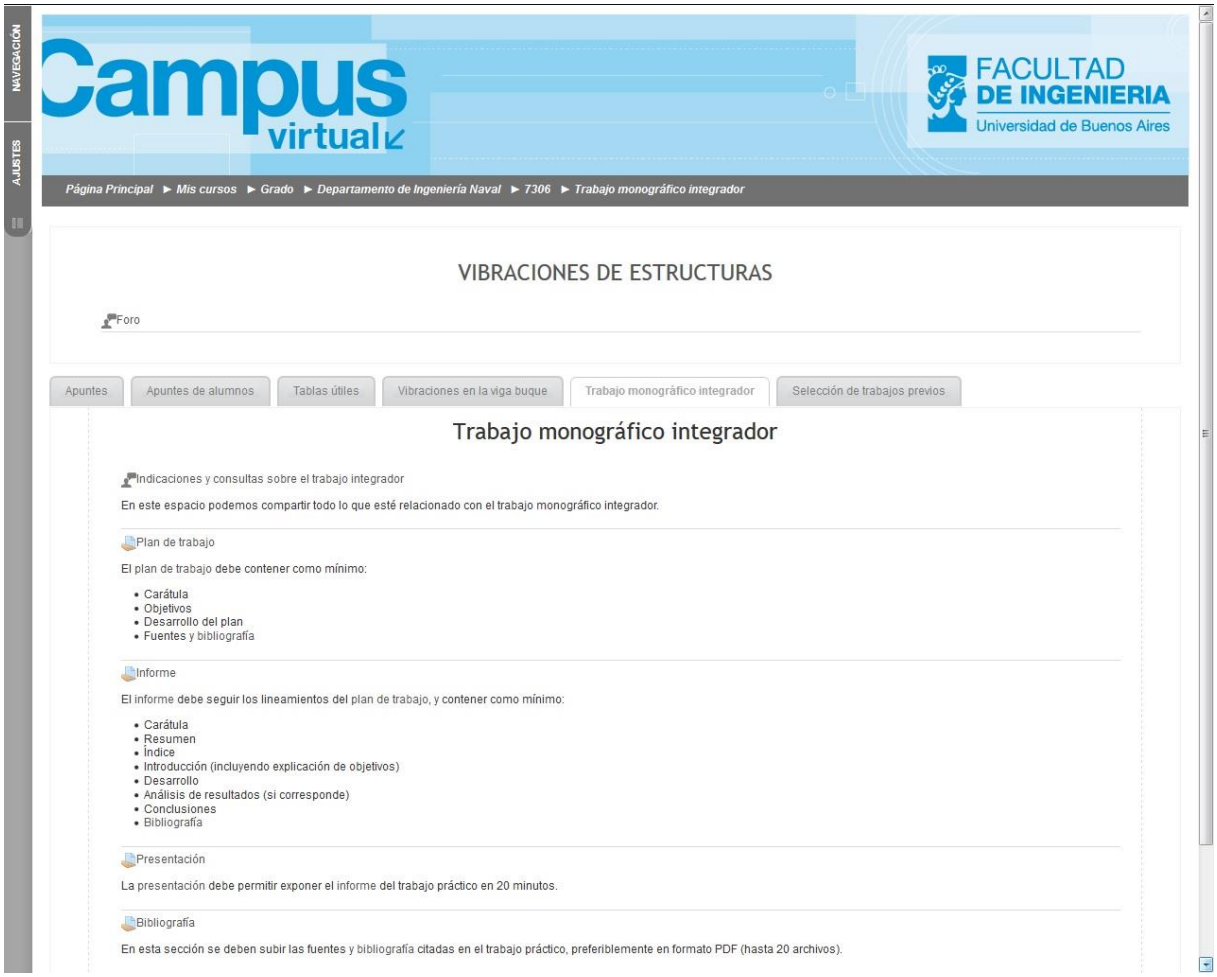


Figura 2. Entorno virtual para la entrega de trabajos prácticos de Vibraciones de Estructuras

Si bien en Vibraciones de estructuras el perfil de los alumnos significó una mayor resistencia a las nuevas tecnologías porque se estaban enfrentando por primera vez a algo desconocido, una vez superada la etapa de adaptación, los mismo estudiantes reconocieron las ventajas de la implementación de TICs, no sólo para el desarrollo del curso, sino también como parte de su preparación profesional. Por lo tanto, en ambas materias se obtuvo una buena repercusión entre los docentes y los alumnos.

En el transcurso de las experiencias se observó que una buena presentación visual y el correcto aprovechamiento de los recursos de la plataforma ayuda a una mayor participación de los alumnos y un mayor interés por las materias que se reflejó también en las clases presenciales.

Al finalizar estas experiencias, los alumnos, como los docentes, no sólo adquirieron nuevos conocimientos y desarrollaron nuevas habilidades, sino que también resultan mejor capacitados para enfrentar las exigencias del ámbito profesional.

4. CONCLUSIONES.

En algunos casos la aplicación de nuevas TICs no reemplaza a los cursos presenciales, pero es un complemento muy útil para el desarrollo de los mismos. Posibilitan una mayor interacción entre los docentes y los alumnos, y también preparan a los alumnos en el uso de tecnologías que les permitirá un mejor desempeño profesional luego de su graduación.

A pesar de las variables que caracterizan a los dos cursos elegidos, en ambos se observó una mejora notable en el proceso de enseñanza y aprendizaje. En Dibujo para Ingenieros se avanzó más en cuanto a la generación de nuevos contenidos y el campus permitió una mayor agilidad en las comunicaciones relacionadas con la asignatura. En Vibraciones de Estructuras también se observaron mejoras en la organización del curso y las ventajas que ofrece en cuanto a la interacción entre docentes y alumnos como extensión de las clases presenciales y para la presentación de trabajos prácticos.

Además, como al mismo tiempo se incorporaron nuevas tecnologías durante las clases presenciales, el uso del campus universitario virtual para la entrega de los nuevos trabajos prácticos resultó natural.

Las diferencias que aún se perciben en cuanto a la distinción entre nativos digitales e

inmigrantes digitales son un aspecto transitorio y tienden cada vez más a desaparecer completamente.

Este trabajo abre muchas posibilidades a futuro en la FIUBA. En primer lugar, continuando la incorporación de nuevas tecnologías en los cursos virtuales en forma complementaria a los cursos presenciales. En segundo lugar, mejorando los contenidos existentes y continuar desarrollándolos en forma permanente, teniendo en cuenta los resultados observados en las experiencias. Otro aspecto importante es el fomento aún mayor de la capacitación docente en tecnología educativa. Por último, el avance en la concreción de cursos en modalidad semipresencial con el objetivo de aprovechar al máximo los recursos didácticos, pedagógicos y tecnológicos disponibles, para lograr una mejor preparación de los estudiantes que favorezca el óptimo desempeño profesional luego de su graduación.

5. REFERENCIAS.

[1] P. Marquès, «Algunas notas sobre el impacto delas TIC en la universidad,» Educar, nº 28, pp. 83-98, 2001.

[2] R. Oliver, «The role of ICT in higher education for the 21st century: ICT as a change agent for education,» Retrieved April, vol. 14, p. 2007, 2002.

[3] N. Selwyn, «The use of computer technology in university teaching and learning: a critical perspective,» Journal of computer assisted learning, vol. 23, nº 2, pp. 83-94, 2007.

[4] R. M. Rodríguez, «Repensar la relación entre las TIC y la enseñanza universitaria: problemas y soluciones,» Profesorado, vol. 15, nº 1, pp. 9-22, 2011.

[5] J. S. Ibáñez, «Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria,» RUSC. Universities and Knowledge Society Journal, vol. 1, nº 1, p. 3, 2004.

[6] S. Nieto y M. J. Rodríguez, «Convergencia de resultados en dos diseños de investigación-innovación en enseñanza universitaria a través de las TIC,» Revista Española de Pedagogía, nº 236, pp. 27-48, 2007.

[7] F. Concannon, A. Flynn y M. Campbell, «What campus-based students think about the quality and benefits of e-learning,» British journal of educational technology, vol. 36, nº 3, pp. 501-512, 2005.

[8] C. Godoy, «Usos educativos de las TIC, competencias tecnológicas y rendimiento académico de los estudiantes universitarios barineses: una perspectiva causal y comparada con sus pares estadounidenses y europeos,» Educere, vol. 10, nº 35, pp. 661-670, 2006.

[9] S. Castro, B. Guzmán y D. Casado, «Las TIC en los procesos de enseñanza y aprendizaje,» Laurus, vol. 13, nº 23, pp. 213-234, 2007.

[10] A. García-Valcárcel, «Herramientas tecnológicas para mejorar la docencia universitaria. Una reflexión desde la experiencia y la investigación,» RIED. Revista iberoamericana de educación a distancia, vol. 10, nº 2, pp. 125-148, 2007.

[11] H. Mahdizadeh, H. Biemans y M. Mulder, «Determining factors of the use of e-learning environments by university teachers,» Computers & Education, vol. 51, nº 1, pp. 142-154, 2008.

[12] S. F. Moguel y D. L. Alonzo, «Dimensiones del aprendizaje y el uso de las TIC's. El caso de la Universidad Autónoma de Campeche, México,» RIED. Revista Iberoamericana de Educación de Distancia, vol. 12, nº 1, pp. 195-211, 2009.

[13] M. C. López de la Madrid, «Uso de las TIC en la educación superior de México. Un estudio de caso,» Apertura, nº 7, pp. 63-81, 2010.

[14] A. García-Valcárcel y F. J. Tejedor, «Variables TIC vinculadas a la generación de nuevos escenarios de aprendizaje en la enseñanza universitaria. Aportes de las curvas ROC para el análisis de diferencias,» Educación XX1: Revista de La Facultad de Educación, vol. 14, nº 2, pp. 43-78, 2011.

[15] F. J. Tejedor, A. García-Valcárcel y S. Prada, «Medida de actitudes del profesorado universitario hacia la integración de las TIC,» Comunicar, vol. XVII, nº 33, pp. 115-124, 2009.

[16] A. Margaryan, A. Littlejohn y G. Vojt, «Are digital natives a myth or reality? University students' use of digital technologies,» Computers & Education, vol. 56, nº 2, pp. 429-440, 2011.

[17] M. C. López de la Madrid, «Impacto de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en el docente universitario. El caso de la Universidad de Guadalajara,» Perspectiva Educacional, vol. 52, nº 2, pp. 4-34, 2013.

[18] A. Ferrini y E. E. Aveleyra, «El desarrollo de prácticas de laboratorio de física básica mediadas por las NTIC´ s, para la adquisición y análisis de datos, en una experiencia universitaria con modalidad b-learning,» Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología, vol. 1, nº 1, 2006.

[19] E. Aveleyra y L. Chiabrando, «Foros de discusión: un estudio de su aplicación en cursos de física universitaria,» Edutec: Revista electrónica de tecnología educativa, nº 29, 2009.

LA FORMACIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN EL ÁMBITO NAVAL

Fraguela Formoso, José Ángel[1]; Carral Couce, Luis Manuel[2]; Villa Caro, Raúl[3]; Álvarez Feal, J. C.[4]; Rodríguez Guerreiro, M.J[5]

[1]Dr. Ing. Naval. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. jafraguela@udc.es

[2]Dr. Ing. Naval. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. lcarral@udc.es

[3]Dr. Ing. Naval y Oceánico / Cap. Marina Mercante. Raúl Villa Caro. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. raul.villa@udc.es

[4]Dr. Ing. Industrial. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. jcalvarez@udc.es

[5]Dra. en Biología. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. chus@udc.es

RESUMEN:

La mejora de las condiciones de trabajo y de la calidad de vida, adquieren cada día más importancia y prioridad, en las políticas sociales de los países y las empresas.

La formación inicial y continua constituye la garantía de desarrollo empresarial y es el elemento esencial en cualquier proceso de cambio, a todos los niveles de la empresa. Es necesaria para mejorar y aumentar las aptitudes y actitudes de los trabajadores, adaptándose a las necesidades de sus actividades específicas, consiguiendo un mayor desarrollo profesional y un aumento de sus posibilidades de promoción dentro de la empresa.

La planificación de la formación interna de la empresa, deberá identificarse totalmente con los objetivos de la organización. Es imprescindible para las actividades en I+D+i y en la puesta al día en nuevas tecnologías y métodos de trabajo, factores clave del desarrollo

empresarial. Las industrias del futuro, basarán su éxito en la capacidad intelectual de sus trabajadores.

En algunos casos, como ocurre en la construcción y reparación de buques, obras portuarias, trabajos en plataformas offshore flotantes, transportes marítimos y fluviales, etc, es necesario realizar trabajos de gran riesgo, que requieren el conocimiento de técnicas específicas y a veces multidisciplinares, que necesitan una formación mucho más específica y responsable. En algunos casos, necesitará una formativa aportada por alguna entidad certificada.

El tamaño de la empresa, los tipos de riesgo a los que puedan encontrarse expuestos los trabajadores y su distribución, son condicionantes muy importantes para el control de los riesgos, que requieren personas y organizaciones con formación multidisciplinar, para asesorar y asistir a la dirección de la empresa, así como formar a los trabajadores, en la aplicación de actuaciones sobre el factor técnico o ambiente y sobre el factor humano, tanto en las fases de diseño, corrección o mantenimiento.

Palabras clave: gestión; formación; prevención; riesgos; naval

1. INTRODUCCIÓN.

Las políticas nacionales de cada país y de las diversas comunidades de países (Unión Europea -UE-, el Mercado Común del Sur –MERCOSUR-, la Comunidad Andina –CAN-, el Mercado Común Centroamericano –MCCA-, la Comunidad del Caribe –CARICOM-, el Tratado de Libre Comercio de América del Norte –TLCAN- y otros), acerca de la Seguridad y Salud en el trabajo, de la seguridad de los productos y del medio ambiente, adquiere cada día más importancia.

Resulta una necesidad incuestionable, el conocimiento de las disposiciones referentes a estos temas, no solo para aquel que desempeña unas funciones de prevención de riesgos en su empresa, sino también para los responsables de su desarrollo económico.

A la más o menos amplia legislación propia de cada país en estas materias, hay que sumar las que proceden de las anteriores comunidades de países y de otros organismos internacionales, como pueden ser la Organización Internacional del Trabajo, la Organización Mundial de la Salud y la Organización Marítima Internacional.

Todo ello trae como consecuencia, que los profesionales que tengan que realizar funciones preventivas o técnicas en las empresas, deben tener cada vez más, una formación acorde con las necesidades del momento y de las tareas a realizar. Así lo exige la calidad de las obras y de los productos tan sofisticados y complejos realizados en el ámbito naval.

Pero los mejores resultados en la prevención de riesgos, se obtienen cuando la prevención se integra en todos los niveles de formación. Desde la formación primaria, a la formación profesional y a la formación universitaria de los trabajadores.

Desgraciadamente, no es esto lo que ocurre. El conocimiento de los riesgos y de las medidas de prevención y protección a implantar en cada momento para el control de los riesgos, no es un objetivo en sí mismo, sino algo que se añade, pero no se integra en las fases de diseño, construcción, reparación e inspección de los buques o artefactos flotantes, lo que acarrea consecuencias graves para los trabajadores, las instalaciones y el medio ambiente. Y mucho menos se establece un sistema de gestión integral de la prevención de riesgos, la calidad y el medio ambiente.

2. OBJETIVOS.

Con la presente comunicación, pretendemos llamar la atención acerca de la necesidad de la formación en materia de prevención de riesgos laborales en las empresas, centros de formación profesional y en las universidades.

Siempre que se habla de algún tema, conviene tener en cuenta las actuaciones positivas implantadas en otros lugares, que puedan tomarse como referencia en otros países o comunidades de países, como las citadas en la introducción. Eso es lo que vamos a hacer tomando como referencia las actuaciones históricas desarrolladas en la Unión Europea (UE).

En un principio el objetivo prioritario del desarrollo de la UE, es el económico. Sin embargo, en la reunión del Consejo Europeo de París en 1972, se reconoció que el desarrollo económico no es un fin en si mismo, sino que deben atenuarse las diferencias de las condiciones de vida, mejorando la calidad de esta.

Con la gran reforma de los Tratados Constitutivos de la UE, mediante el ACTA ÚNICA de 1.986, la Seguridad y Salud en el trabajo, se convierte en un tema prioritario, con las disposiciones relativas a Política Social de mejora de las condiciones de trabajo (Artículo 118 A del Tratado CEE, variado con el Tratado de Ámsterdam) y de Política Interior de libre

circulación de personas, servicios, productos y capitales (Artículo 8 A, 100 A y otros del Tratado CEE, variados con el Tratado de Ámsterdam).

La Unión Europea, mediante las Directivas (documento legislativo de obligado cumplimiento por todos los estados de la UE) sobre seguridad y salud en el trabajo y las de seguridad de los productos, trata de que la política social y la política del mercado interior único, confluyan y se complementen, en beneficio de una mayor prevención de riesgos para el trabajador. Tanto es así, que el Comité Consultivo para la Seguridad Higiene y Protección de la Salud de los Trabajadores, trata conjuntamente ambos grupos de Directivas pudiendo hablarse por lo tanto, de una política comunitaria de Seguridad y Salud en el Trabajo, con dos aspectos diferenciados, pero con una unidad temática.

De estas Directivas, destacamos la Directiva Marco 89/391/CEE relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la Seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo (DOCE L 183 de 29-6-1989) [1] y sus posteriores modificaciones. En su artículo 5, indica que el empresario deberá garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores en todos los aspectos relacionados con el trabajo. Según el artículo 7, el empresario designará uno o varios trabajadores para ocuparse de actividades de protección y de actividades de prevención de los riesgos profesionales de la empresa y/o del establecimiento. Además de otras obligaciones, como la información, consulta y participación de los trabajadores en el control de los riesgos, el empresario deberá garantizar que cada trabajador reciba una formación a la vez suficiente y adecuada en materia de seguridad y de salud y, en particular en forma de informaciones e instrucciones, con motivo de: su contratación, una mutación o cambio de función, la introducción o cambio de un equipo de trabajo, la introducción de una nueva tecnología, y específicamente centrada en su puesto de trabajo o en su función. Dicha formación deberá: adaptarse a la evolución de los riesgos y a la aparición de nuevos riesgos, y repetirse periódicamente si fuera necesario.

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1. Las disposiciones legislativas, tomadas como referencia.

La Directiva Marco 89/391/CEE y sus modificaciones posteriores, debe de cumplirse en cada estado de la UE. Así ha sido en España, a través de su trasposición mediante la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL) [2], modificada por la Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.

En su Artículo 14, la LPRL sienta las bases del derecho a la protección frente a los riesgos laborales, al establecer que los trabajadores tienen derecho a una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo, para lo que el empresario realizará la prevención de los riesgos laborales mediante la integración de la actividad preventiva en la empresa, con medidas de evaluación de riesgos, información, consulta, participación y formación de los trabajadores, actuación en casos de emergencia y de riesgo grave e inminente, vigilancia de la salud, **y** mediante la constitución de una organización y la utilización de los medios necesarios. Estas medidas serán realizadas de forma permanente.

Además la prevención de riesgos laborales deberá integrarse en el sistema general de gestión de la empresa, tanto en el conjunto de sus actividades como en todos los niveles jerárquicos de ésta, a través de la implantación y aplicación de un plan de prevención de riesgos laborales, que incluya la estructura organizativa, las responsabilidades, las funciones, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para realizar la acción de prevención de riesgos en la empresa.

Esta Ley ha sido desarrollada por el Real Decreto 39/1997, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención (RSP) [3], modificado por el Real Decreto 298/2009, en relación con la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud en el trabajo de la trabajadora embarazada, que haya dado a luz o en período de lactancia.

3.2. Las modalidades de organización de la prevención de riesgos laborales.

El Capítulo III del RSP contempla que **el empresario puede utilizar varias modalidades de organización** de los recursos necesarios para el desarrollo de las actividades preventivas, en función del número de trabajadores de su empresa:

- **Asumiendo personalmente las actividades preventivas**, excepto la vigilancia de la salud y lo que el empresario no asuma. Serian empresas de hasta 5 trabajadores.
- **Designando a uno o varios trabajadores** para llevarla a cabo, excepto si el empresario asume personalmente la actividad preventiva o si recurre a uno o varios servicios de prevención propios o ajenos. Los trabajadores designados tendrán capacidad para las funciones a desempeñar y dispondrán de medios y tiempo.
- **Constituyendo un servicio de prevención propio**, como una unidad organizativa específica, en la que sus integrantes tienen dedicación específica a la prevención de riesgos laborales. Serían empresas con más de 500 trabajadores o entre 250 y 500

trabajadores si desarrollan actividades de especial riesgo, como es la actividad naval. Tendrán carácter interdisciplinario, entendiendo como tal la conjunción coordinada de dos o más disciplinas técnicas o científicas en materia de prevención de riesgos laborales.

- **Recurriendo a un servicio de prevención ajeno**, prestado por una entidad especializada que concierte con la empresa la realización de actividades de prevención, el asesoramiento y apoyo que precise en función de los tipos de riesgos o ambas actuaciones conjuntamente. Tendrán carácter interdisciplinario, entendiendo como tal la conjunción coordinada de dos o más disciplinas técnicas o científicas en materia de prevención de riesgos laborales.

3.3. Las funciones a realizar en los modelos de la organización de la prevención de riesgos laborales.

Las distintas posibilidades de modelo de organización preventiva, necesitan definir muy bien las distintas funciones a realizar por los participantes en el mismo, dada la complejidad que presenta el control de los riesgos laborales. Según el RSP, se clasifican en:

a) Funciones de nivel básico.
b) Funciones de nivel intermedio.
c) Funciones de nivel superior, correspondientes a las especialidades y disciplinas preventivas de medicina del trabajo, seguridad en el trabajo, higiene industrial, y ergonomía y psicosociología aplicada.

Las **funciones correspondientes al nivel básico** son las siguientes:

a. Promover los comportamientos seguros y la correcta utilización de los equipos de trabajo y protección, y fomentar el interés y cooperación de los trabajadores en una acción preventiva integrada.
b. Promover, en particular, las actuaciones preventivas básicas, tales como el orden, la limpieza, la señalización y el mantenimiento general, y efectuar su seguimiento y control.
c. Realizar evaluaciones elementales de riesgos y, en su caso, establecer medidas preventivas del mismo carácter compatibles con su grado de formación.

d. Colaborar en la evaluación y el control de los riesgos generales y específicos de la empresa, efectuando visitas al efecto, atención a quejas y sugerencias, registro de datos, y cuantas funciones análogas sean necesarias.
e. Actuar en caso de emergencia y primeros auxilios gestionando las primeras intervenciones al efecto.
f. Cooperar con los servicios de prevención, en su caso.

Las **funciones correspondientes al nivel intermedio** son las siguientes:

a. Promover, con carácter general, la prevención en la empresa y su integración en la misma.
b. Realizar evaluaciones de riesgos, salvo las específicamente reservadas al nivel superior.
c. Proponer medidas para el control y reducción de los riesgos o plantear la necesidad de recurrir al nivel superior, a la vista de los resultados de la evaluación.
d. Realizar actividades de información y formación básica de trabajadores.
e. Vigilar el cumplimiento del programa de control y reducción de riesgos y efectuar personalmente las actividades de control de las condiciones de trabajo que tenga asignadas.
f. Participar en la planificación de la actividad preventiva y dirigir las actuaciones a desarrollar en casos de emergencia y primeros auxilios.
g. Colaborar con los servicios de prevención, en su caso.
h. Cualquier otra función asignada como auxiliar, complementaria o de colaboración del nivel superior.

Las **funciones correspondientes al nivel superior** son las siguientes:

a. Las funciones correspondientes al nivel intermedio, con excepción de la indicada en la letra h).
b. La realización de aquellas evaluaciones de riesgos cuyo desarrollo exija:
    1. El establecimiento de una estrategia de medición para asegurar que los resultados obtenidos caracterizan efectivamente la situación que se valora, o
    2. Una interpretación o aplicación no mecánica de los criterios de evaluación.
c. La formación e información de carácter general, a todos los niveles, y en las materias propias de su área de especialización.

d. La planificación de la acción preventiva a desarrollar en las situaciones en las que el control o reducción de los riesgos supone la realización de actividades diferentes, que implican la intervención de distintos especialistas.

e. La vigilancia y control de la salud de los trabajadores.

4 RESULTADOS.

Para el desarrollo de las funciones a desempeñar en cada uno de los modelos organizativos a implantar en la empresa, es necesario determinar las capacidades y aptitudes necesarias de los trabajadores responsables de la evaluación de los riesgos y el desarrollo de las actuaciones preventivas.

El anexo IV del RSP indica que, **para desempeñar las funciones de nivel básico** en empresas de gran riesgo, como son las empresas relacionadas con la actividad naval, será preciso, poseer una formación mínima de **50 horas**, con el contenido especificado en el programa siguiente:

I. Conceptos básicos sobre seguridad y salud en el trabajo.

a. El Trabajo y la Salud: los riesgos profesionales. Factores de riesgo.

b. Daños derivados de trabajo. Los Accidentes de Trabajo y las Enfermedades profesionales. Otras patologías derivadas del trabajo.

c. Marco normativo básico en materia de prevención de riesgos laborales. Derechos y deberes básicos en esta materia.

Total horas: 10

II. Riesgos generales y su prevención.

a. Riesgos ligados a las condiciones de Seguridad.

b. Riesgos ligados al medio-ambiente de trabajo.

c. La carga de trabajo, la fatiga y la insatisfacción laboral.

d. Sistemas elementales de control de riesgos. Protección colectiva e individual.

e. Planes de emergencia y evacuación.

f. El control de la salud de los trabajadores.

Total horas: 25

III. Riesgos específicos y su prevención en el sector correspondiente a la actividad de la empresa.

Total horas: 5

IV. Elementos básicos de gestión de la prevención de riesgos.

a. Organismos públicos relacionados con la Seguridad y Salud en el Trabajo.

b. Organización del trabajo preventivo: "rutinas" básicas.

c. Documentación: recogida, elaboración y archivo.

Total horas: 5

V. Primeros auxilios.

Total horas: 5

El anexo V del RSP indica que, **para desempeñar las funciones de nivel intermedio**, será preciso poseer una formación profesional con una duración no inferior a **300 horas**, con el contenido siguiente.

I. Conceptos básicos sobre seguridad y salud en el trabajo.

a. El trabajo y la salud: los riesgos profesionales.

b. Daños derivados del trabajo. Accidentes y enfermedades debidos al trabajo: conceptos, dimensión del problema.

c. Otras patologías derivadas del trabajo.

d. Condiciones de trabajo, factores de riesgo y técnicas preventivas.

e. Marco normativo en materia de prevención de riesgos laborales. Derechos y deberes en esta materia.

Total horas: 20

II. Metodología de la prevención I: técnicas generales de análisis, evaluación y control de los riesgos.

1. Riesgos relacionados con las condiciones de seguridad:

Técnicas de identificación, análisis y evaluación de los riesgos ligados a: máquinas; equipos, instalaciones y herramientas; lugares y espacios de trabajo; manipulación, almacenamiento y transporte; electricidad; incendios; productos químicos; residuos tóxicos y peligrosos; inspecciones de seguridad y la investigación de accidentes; medidas preventivas de eliminación y reducción de riesgos.

2. Riesgos relacionados con el medio-ambiente de trabajo.

2.1. Agentes físicos: ruido; vibraciones; ambiente térmico; radiaciones ionizantes y no ionizantes; otros agentes físicos.

2.2. Agentes químicos.

2.3. Agentes biológicos.

2.4. Identificación, análisis y evaluación general: Metodología de actuación. La encuesta higiénica.

2.5. Medidas preventivas de eliminación y reducción de riesgos.

3. Otros riesgos.

3.1. Carga de trabajo y fatiga: Ergonomía.

3.2. Factores psicosociales y organizativos: Análisis y evaluación general.

3.3. Condiciones ambientales: Iluminación. Calidad de aire interior.

3.4. Concepción y diseño de los puestos de trabajo.

Total horas: 170

III. Metodología de la prevención II: técnicas específicas de seguimiento y control de los riesgos.

a. Protección colectiva.

b. Señalización e información. Envasado y etiquetado de productos químicos.

c. Normas y procedimientos de trabajo. Mantenimiento preventivo.

d. Protección individual.

e. Evaluación y controles de salud de los trabajadores.

f. Nociones básicas de estadística: índices de siniestralidad.

Total horas: 40

IV. Metodología de la prevención III: promoción de la prevención.

a. Formación: análisis de necesidades formativas. Técnicas de formación de adultos.

b. Técnicas de comunicación, motivación y negociación. Campañas preventivas.

Total horas: 20

V. Organización y gestión de la prevención.

1. Recursos externos en materia de prevención de riesgos laborales.

2. Organización de la prevención dentro de la empresa: prevención integrada; modelos organizativos.

3. Principios básicos de Gestión de la Prevención: objetivos y prioridades; asignación de responsabilidades; plan de Prevención.

4. Documentación.

5. Actuación en caso de emergencia: planes de emergencia y evacuación; primeros auxilios.

Total horas: 50

El anexo VI del RSP indica que, **para desempeñar las funciones de nivel superior**, será preciso contar con una titulación universitaria oficial y poseer una formación mínima acreditada por una universidad con el contenido especificado en el programa siguiente, cuyo desarrollo tendrá una duración no inferior a **600 horas**, distribuidas en tres partes:

I. Parte obligatoria y común, con un mínimo de 350 horas lectivas.

1. Fundamentos de las técnicas de mejora de las condiciones de trabajo.

a) Condiciones de trabajo y salud.

b) Riesgos.

c) Daños derivados del trabajo.

d) Prevención y protección.

e) Bases estadísticas aplicadas a la prevención.

Total horas: 20.

2. Técnicas de prevención de riesgos laborales.

1 °. Seguridad en el trabajo:

a) Concepto y definición de seguridad: técnicas de seguridad.

b) Accidentes de trabajo.

c) Investigación de accidentes como técnica preventiva,

d) Análisis y evaluaci6n general del riesgo de accidente.

e) Norma y señalización en seguridad.

f) Protección colectiva e individual.

g) Análisis estadístico de accidentes.

h) Planes de emergencia y autoprotección.

i) Análisis, evaluación y control de riesgos específicos: máquinas; equipos, instalaciones y herramientas; lugares y espacios de trabajo; manipulación, almacenamiento y transporte; electricidad; incendios; productos químicos.

j) Residuos tóxicos y peligrosos.

k) Inspecciones de seguridad e investigación de accidentes.

1) Medidas preventivas de eliminación y reducción de riesgos.

Total horas: 70

2 °. Higiene industrial:

a) Higiene industrial. Conceptos y objetivos.

b) Agentes químicos. Toxicología laboral.

c) Agentes químicos. Evaluación de la exposición.

d) Agentes químicos. Control de la exposición: principios generales; acciones sobre el foco contaminante; acciones sobre el medio de propagación. Ventilación; acciones sobre el individuo: equipos de protección individual: clasificación.

e) Normativa legal especifica.

f) Agentes físicos: características, efectos, evaluación y control; ruido; vibraciones; ambiente térmico; radiaciones no ionizantes; radiaciones ionizantes.

g) Agentes biológicos. Efectos, evaluación y control.

Total horas: 70.

3°. Medicina del trabajo:

a) Conceptos básicos, objetivos y funciones.

b) Patologías de origen laboral.

c) Vigilancia de la salud.

d) Promoción de la salud en la empresa.

e) Epidemiologia laboral e investigación epidemiológica.

f) Planificación e información sanitaria.

g) Socorrismo y primeros auxilios.

Total horas: 20.

4°. Ergonomía y psicosociología aplicada:

a) Ergonomía: conceptos y objetivos.

b) Condiciones ambientales en ergonomía.

c) Concepción y diseño del puesto de trabajo.

d) Carga física de trabajo.

e) Carga mental de trabajo.

f) Factores de naturaleza psicosocial.

g) Estructura dela organización.

h) Características de la empresa, del puesto e individuales.

i) Estrés y otros problemas psicosociales.

j) Consecuencias de los factores psicosociales nocivos y su evaluación.

k) Intervención psicosocial.

Total horas: 40.

3. Otras actuaciones en materia de prevención de riesgos laborales.

1°. Formación:

a) Análisis de necesidades formativas.

b) Planes y programas.

c) Técnicas educativas.

d) Seguimiento y evaluación.

2°. Técnicas de comunicación, información y negociación:

a) La comunicación en prevención, canales y tipos.

b) Información. Condiciones de eficacia.

c) Técnicas de negociación.

Total horas: 30.

4. Gestión de la prevención de riesgos laborales.

a) Aspectos generales sobre administración y gestión empresarial.

b) Planificación de la prevención.

c) Organización de la prevención.

d) Economía de la prevención.

e) Aplicación a sectores especiales: construcción, industrias extractivas, transporte, pesca y agricultura.

Total horas: 40.

5. Técnicas afines.

a) Seguridad del producto y sistemas de gestión de la calidad.

b) Gestión medioambiental.

c) Seguridad industrial y prevención de riesgos patrimoniales.

d) Seguridad vial.

Total horas: 20.

6. Ámbito jurídico de la prevención.

a) Nociones de derecho del trabajo.

b) Sistema español de la seguridad social.

c) Legislación básica de relaciones laborales.

d) Normativa sobre prevención de riesgos laborales.

e) Responsabilidades en materia preventiva.

f) Organización de la prevención en el país.

Total horas: 40.

II. Parte de especialización optativa, a elegir entre las siguientes opciones, cada una de ellas con una duración mínima de 100 horas:

A) Área de Seguridad en el Trabajo: Deberá acreditarse una formación mínima de 100 horas prioritariamente como profundización en los temas contenidos en el apartado 2.1° de la parte común.

B) Área de Higiene Industrial: Deberá acreditarse una formación mínima de 100 horas, prioritariamente como profundización en los temas contenidos en el apartado 2.2° de la parte común.

C) Área de Ergonomía y Psicosociología aplicada: Deberá acreditarse una formación mínima de 100 horas, prioritariamente como profundización en los temas contenidos en el apartado 2.4° de la parte común.

III. Parte de realización de un trabajo final o de actividades preventivas en un centro de trabajo acorde con la especialización por la que se haya optado, con una duración mínima equivalente a 150 horas.

5. CONCLUSIONES.

Las universidades y los centros de formación profesional, deben ofrecer la doble vertiente de creación del conocimiento y su transmisión al alumno y a su entorno social. Por ello no pueden ser ajenos a la formación en la prevención de riesgos laborales. Necesita controlar sus propios riesgos surgidos en su actividad laboral y docente. Además necesita que los titulados universitarios lleguen a las empresas con una formación preventiva adecuada e integrada en sus respectivas áreas de conocimiento.

Las universidades juegan un papel muy importante en la formación para las funciones de nivel superior en prevención de riesgos laborales. En España esta formación se imparte después de los estudios de grado, en el segundo nivel universitario de postgrado, con una duración de 60 a 90 créditos ECTS (cada crédito dentro del Espacio Europeo de Educación Superior equivale a 25-30 horas entre actividades docentes y dedicación del alumno). Además la formación continua de sus postgraduados se desarrolla con másteres, cursos de experto, cursos de especialización, seminarios y conferencias.

Es seguro que esto no es suficiente, por lo que para lograr una prevención y protección eficaces ante los riesgos laborales, es necesario formar en el seno de la empresa a todas las escalas de mando, a los trabajadores en los riesgos específicos de su profesión y a los responsables de la gestión de la prevención de riesgos, en las técnicas de actuación sobre los

factores humanos, técnicos y ambientales, para el control de riesgos. Sumamente importante es la formación específica en la prevención de trabajos de gran riesgo: trabajos con fuego en espacios que contienen o han contenido productos combustibles o inflamables; trabajos en espacios confinados; trabajos de pintado en tanques y otros espacios cerrados, con sistema airless; prevención y protección contra incendios; ventilación para control de productos químicos en procesos de soldadura, pintado y otros, etc.

Los sistemas de gestión integral de prevención de riesgos, calidad y medio ambiente, aportan grandes beneficios a las empresas que los implantan, tanto en resultados tangibles como intangibles. Así ocurre en las grandes empresas de todo el mundo, en las que estos sistemas de gestión forman parte del sistema de gestión global de las mismas, incrementando los beneficios netos y aumentando la competitividad [4].

Una estrategia empresarial basada en las personas, da como resultados: una calidad total en la empresa, con unos clientes satisfechos y fidelizados; unas mejores condiciones de trabajo, con unos trabajadores cualificados y motivados; una mejora de la calidad medioambiental, con una sociedad satisfecha. Un camino hacia la excelencia empresarial.

La seguridad de los productos, equipos y máquinas, suministradas a las empresas del sector naval para sus actividades o para la instalación en los buques, artefactos e instalaciones, necesitan conocimientos multidisciplinares en su diseño, que permitan alcanzar grandes niveles en su seguridad intrínseca, para ser aceptados en los mercados internacionales.

Si a nivel de país es importante la formación para la prevención de riesgos, lo es más a nivel de comunidades de países. La formación consensuada y armonizada a nivel de comunidades, será reconocida en cada uno de los países que la forman, mejorando las condiciones de trabajo y ahorrando costes cuando los trabajadores circulen entre países de la misma comunidad. Así ocurre en la Unión Europea.

6. BIBLIOGRAFÍA.

[1] Unión Europea. DIRECTIVA DEL CONSEJO de 12 de junio de 1989 relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo (89/391/CEE), DOCE L 183 de 29.6.1989, p. 1., modificada por: el Reglamento (CE) 1882/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de septiembre de

2003, DOCE L 284, página ,1 de 31.10.2003; la Directiva 2007/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de junio de 2007, DOCE L 165, página 21, de 27.6.2007; el Reglamento (CE) 1137/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de octubre de 2008 , DOCE L 311, página 1, de 21.11.2008.

[2] Reino de España. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, BOE de 10-11-1995, modificada por la Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales, BOE de 13-12-2003.

[3] Reino de España. Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, BOE de 31-01-1997, modificado por el Real Decreto 298/2009, de 6 de marzo, en relación con la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud en el trabajo de la trabajadora embarazada, que haya dado a luz o en período de lactancia.

[4] Fraguela Formoso, José Ángel. Nuevas tendencias en prevención de riesgos laborales, calidad y medio ambiente, en instalaciones de producción naval. Conferencia Magistral XXIII COPINAVAL. Venezuela. 2013.

6. ESTRUCTURAS MARINAS

CORREÇÕES NA TEORIA CLÁSSICA DE ANÁLISE ESTRUTURAL DE NAVIOS UTILIZANDO ESTUDO DE CASO

Silveira de Magalhães Martins, Rodrigo[1]; Pontin Tancredi, Thiago[2]

[1]Universidade Federal de Santa Catarina – Joinville, – Brasil
martins_557@hotmail.com,
[2]Universidade Federal de Santa Catarina – Joinville, – Brasil
thiago.tancredi@ufsc.br

RESUMO.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um modelo para analisar arranjos estruturais tradicionais navais, compostos por chapas reforçadas por perfis. O modelo de análise comumente utilizado divide a análise em efeitos globais e locais, utilizando modelos classicamente empregados em Mecânica dos Sólidos (viga e casca), cujos resultados são compostos nos diferentes pontos analisados. Embora seja uma metodologia consagrada, os resultados, embora conservadores, se distanciam da realidade, em virtude das fortes hipóteses adotadas na modelagem. Para evidenciar esse fato, é apresentado um estudo de caso com a análise da estrutura típica de um navio de grande porte, seguido da discussão das principais hipóteses que distanciam esses resultados da distribuição real dos esforços ao longo da estrutura.

Palavras-chave: Arranjo estrutural, Análise Global, Análise Local, Métodos Analíticos, Estruturas Navais.

1. INTRODUÇÃO.

O processo de concepção de uma embarcação pode ser considerado um processo contínuo e sistemático de tomada de decisões a fim de atingir configurações viáveis para a embarcação. Por soluções viáveis, consideram-se aquelas que atendam aos requisitos de projeto estabelecidos e as normas e regulamentos existentes.

Uma das etapas desse processo é a determinação do arranjo estrutural da embarcação. No entanto, o caráter iterativo tradicionalmente associado ao projeto de navios faz com que sejam necessários ciclos sucessivos de projeto (e análise) estrutural, tornando impraticável a utilização de ferramentas que requeiram elevado custo computacional ou extensos cálculos.

Estruturas navais baseiam-se no paradigma da eficiência estrutural, utilizando o conceito de painel estrutural (casca fina reforçada por uma grelha ortogonal), cujo um arranjo típico é mostrado na Figura 1. É interessante observar que esse tipo de arranjo é amplamente utilizado no projeto de estruturas navais, aeroespaciais e ferroviárias, pois, conforme discutido por (Augusto, 2004), são os arranjos com maior eficiência estrutural, quando submetidos à pressão ortogonal ao chapeamento.

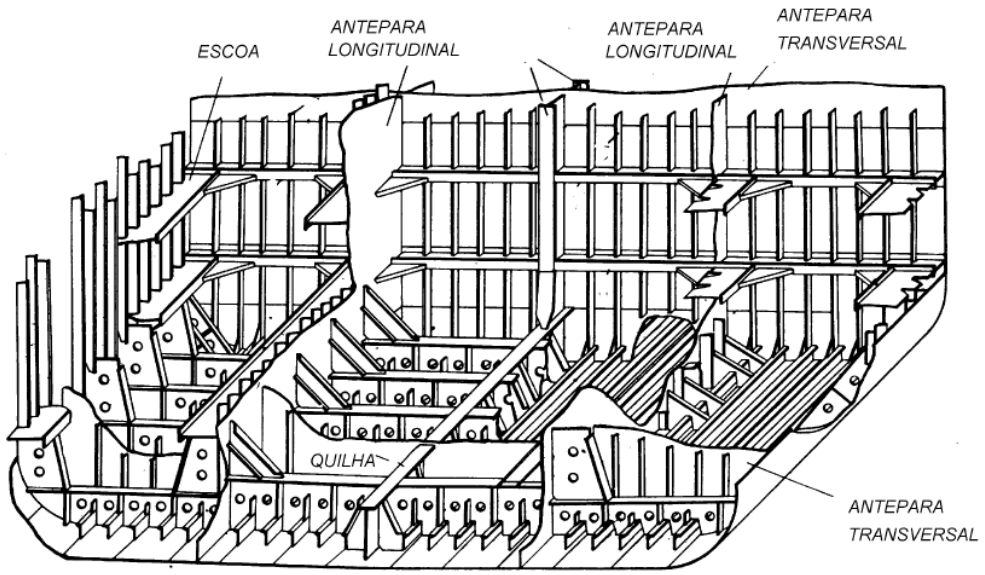


Figura 1. Estrutura do fundo de um navio tanque de casco singelo. Fonte: Augusto (2004)

O estudo da distribuição de tensões e da eficiência de estruturas flutuantes tem sido tópico de diversos trabalhos recentes (Chaves, 2010), (Damiensage, 2012), (Kang, 2010), pois a redução do peso estrutural pode, eventualmente, ser associada à redução dos custos de fabricação, custos operacionais e melhor desempenho da embarcação, conforme descreve (Chaves, 2010).

Para a análise da distribuição de tensões e da eficiência estrutural de embarcações considera-se que o comportamento de estruturas flutuantes pode ser dividido em efeitos globais e locais, sendo os locais ainda subdividido em reforçadores e chapas.

Esse desacoplamento baseia-se na hipótese de que os raios de curvatura associados aos campos de deformação são de ordem de grandeza diferente; permitindo considerar os fenômenos independentes.

No presente trabalho, a ferramenta para análise estrutural de embarcações utilizará métodos analíticos, com modelos de casca e viga classicamente empregados em Mecânica dos Sólidos. Atenção especial será dada a composição dos diferentes campos de tensão, que respeitará o modelo desenvolvido e apresentado pelos clássicos autores Hughes (2010), Barabanov (1959) e Lewis (1989).

Outros trabalhos recentes foram desenvolvidos na área de estruturas de embarcações utilizando métodos analíticos de análise. Destacam-se (Kozak, 2011), que discute a resistência a fadiga em juntas soldadas na secção mestra, utilizando modelos analíticos para determinar os campos de tensão a que as juntas estão submetidas; (Dmiensage, 2012), que tenta estabelecer uma comparação entre os modelos analíticos e os resultados obtidos por simulação computacional de estruturas navais; (Silva, 2012), que propõem um método semi-analítico para a estimativa da resistência de painéis enrijecidos; entre outros.

Como exemplo de aplicação do procedimento apresentado neste trabalho, será realizado um estudo de caso com um arranjo tipicamente encontrado em navios de grande porte. A partir da análise estrutural realizada, serão discutidos os resultados obtidos e a importância das hipóteses utilizadas na modelagem, propondo eventuais correções ao modelo tradicionalmente empregado.

2. MODELO TRADICIONAL DE ANÁLISE ESTRUTURAL DE NAVIOS.

A análise de estruturas navais pode ser realizada utilizando-se três abordagens: numérica, experimental e analítica. Este trabalho utilizará modelos analíticos para realizar uma análise desacoplada dos diferentes elementos que constituem a estrutura de embarcações, conforme fluxograma mostrado na Figura 2.

A geometria típica de uma embarcação favorece a deflexão da estrutura no sentido longitudinal do casco, tornando essa a direção predominante da análise. Por essa razão, especialmente nos ciclos iniciais de projeto, a análise estrutural de navios se concentra nos elementos que sofrem flexão longitudinal, os quais são destacados em vermelho na Figura 2.

2.1. Estrutura global.

Em relação à estrutura global, em geral, navios de grande porte possuem comprimento (L) muito maior que a boca (B) e que o pontal (D). Por esta razão, a Teoria de Vigas pode ser empregada para a determinação da distribuição das tensões decorrentes dos esforços globais existentes na estrutura.

Neste modelo de análise deve-se representar o navio como uma viga (denominada viga-navio) que possui comprimento igual ao navio analisado. Ao longo do comprimento da embarcação, os valores das propriedades (área, inércia e módulo de elasticidade) de cada seção da viga-navio são ajustados para representar, as propriedades do navio analisado.

Além disso, conforme ressalta Hughes (2010), apenas materiais contínuos por mais de 2/3 do comprimento do navio devem ser considerados na análise da estrutura primária do navio. Elementos com comprimentos menores do que 2/3 têm curvatura muito menor do que a da viga-navio, não contribuindo efetivamente para a resistência longitudinal da embarcação.

Definido o modelo estrutural da viga-navio, devem-se determinar os carregamentos globais atuantes. Para essa análise, o principal ponto a ser verificado é o equilíbrio do navio na onda. A ausência de equilíbrio acarreta em movimento do navio e não em solicitação (tensão e deformação) estrutural.

Deste modo, o navio estará em equilíbrio quando duas condições forem satisfeitas. A primeira condição refere-se à relação entre peso e empuxo, de modo que o empuxo (∇) deve ser rigorosamente igual ao peso do navio (P). A segunda diz respeito à posição longitudinal do centro de gravidade (LCG) e a posição longitudinal do centro de flutuação (LCB), que devem estar localizadas no mesmo eixo vertical do navio.

Em geral, quando a primeira condição não é satisfeita, a diferença entre peso e flutuação resulta em um movimento vertical (*heave*), modificando o calado médio da embarcação. Já uma diferença entre LCB e LCG resulta em um movimento angular (*pitch*) modificando o ângulo de trim do navio.

A passagem da onda pelo casco da embarcação ocasiona uma modificação na distribuição do campo de pressões, modificando a distribuição dos esforços ao longo da viga navio. Entre todas as possíveis configurações e posicionamentos de ondas ao longo do casco do navio,

existem duas configurações críticas: a onda de Tosamento e a onda de Alquebramento. Na primeira configuração a secção localizada a meia nau encontra-se no vale de uma onda de comprimento igual ao comprimento do navio, enquanto na segunda a secção à meia nau está na crista dessa mesma onda.

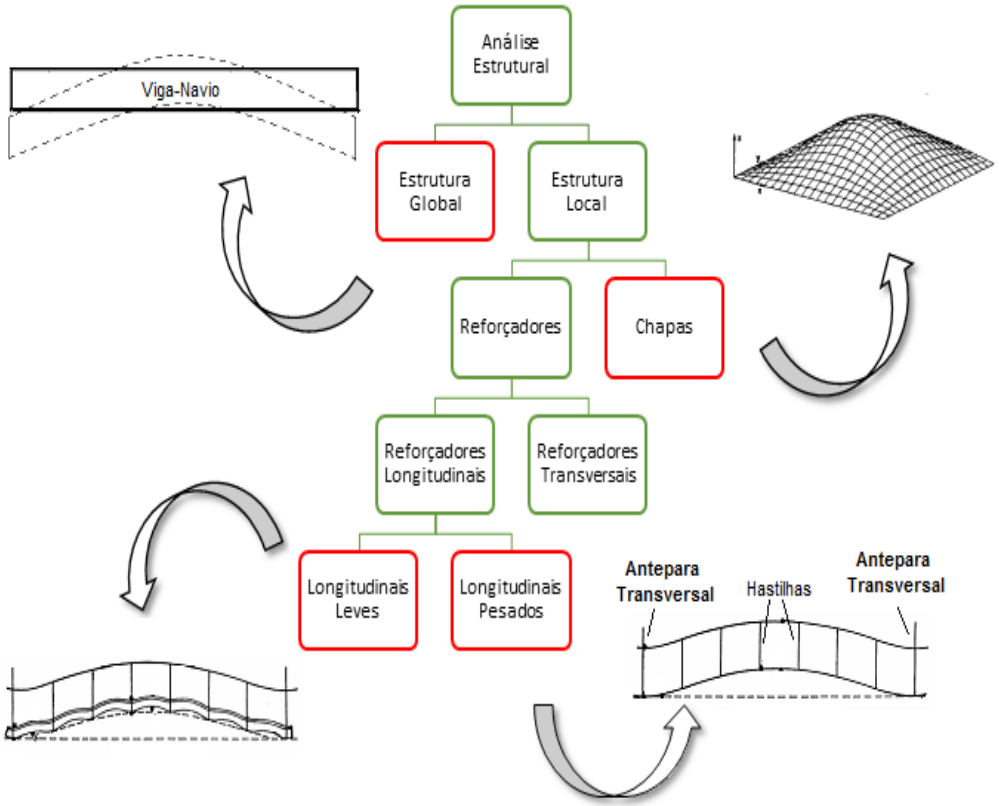


Figura 2 - Modelo de desacoplamento da análise estrutural

Com o equilíbrio do navio determinado, seja para águas tranquilas ou para ondas, pode-se então levantar a curva de carga ao longo da embarcação. Esta curva é obtida através da subtração da curva de flutuação da curva de pesos do navio, a qual representa a solicitação auto equilibrado que atua sobre a viga-navio.

É possível obter-se a distribuição das forças cortantes através da integração da curva de carga ao longo da viga-navio. Por fim, integrando-se a curva de forças cortantes obtém-se a curva de momento fletor.

As curvas de Força Cortante e Momento Fletor representam os esforços globais ao longo da viga-navio. Tais curvas permitem determinar as secções submetidas ao máximo momento

fletor (em geral próxima à meia nau) e máxima força cortante (geralmente próxima a ¼ do comprimento).

Neste trabalho os valores de Módulo de Seção (Z_0) e dos Momentos Fletores (M_y) de tosamento e alquebramento, considerando águas calmas e a ação de ondas de proa, são estimados a partir da norma *(DNV, 2015).*

Na ausência de outras informações, pode-se aproximar (conservadoramente) a curva de Momento Fletor ao longo da viga-navio por uma função quadrática que apresenta valores nulos nos extremos e máximo (definido pela Norma) à meia nau.

Assumindo que o material é homogêneo e elástico, pode-se utilizar a Lei de Hook, para determinar a tensão global ao longo de uma seção do navio.

$$\sigma_{longitudinal} = \frac{M_y * z}{I}$$

Onde *I* é o momento de inércia da secção em relação à linha neutra da secção.

Pode-se observar através da equação que a tensão é constante em todo o eixo horizontal e varia linearmente na eixo z.

2.2 Reforçadores longitudinais.

Os reforçadores longitudinais que enrijecem o chapeamento que reveste o casco podem ser classificados em reforçadores leves e reforçadores pesados, com base na razão de rigidez flexional que esses elementos apresentam em relação à rigidez flexional dos anéis transversais. Esse típico arranjo pode ser visto na Figura 3, onde se representa um painel estrutural localizado entre duas anteparas transversais, destacando-se os reforçadores leves e pesados.

Assim, como foi considerado na modelagem da estrutura global, os reforçadores longitudinais possuem comprimento muito maior que a largura e a altura, permitindo que sejam utilizados modelos de viga na determinação do campo de tensões decorrente das deformações locais.

Primeiramente determina-se o vão livre de cada reforçador. No perfil leve, esse vão livre é a distância entre duas cavernas (Lh), enquanto que no caso de perfis pesados, o vão livre é a distância entre duas anteparas (La).

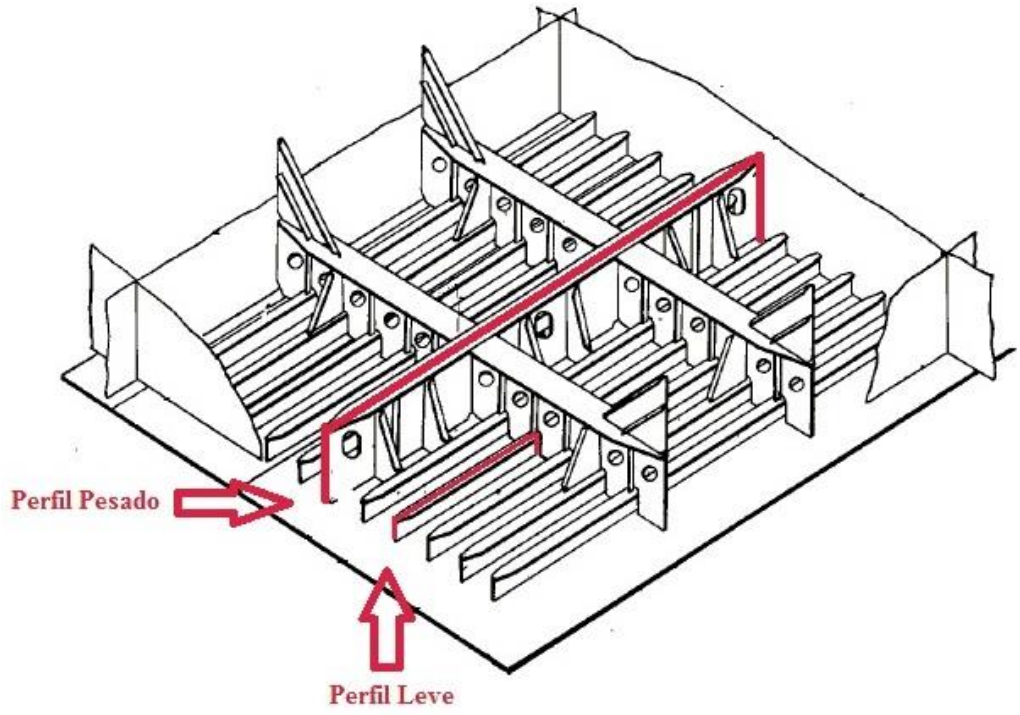


Figura 3 - Representação de perfis leves e pesados. Fonte: Augusto (2004)

Diferentemente do modelo de viga livre-livre utilizado na análise da estrutura primária, os reforçadores longitudinais encontram-se vinculados ao restante da estrutura do navio. Nesse caso, devem-se arbitrar as condições de contorno aplicadas nas extremidades dos perfis longitudinais. A estimativa de rigidez à rotação nestas interseções é de difícil determinação, por possuir dependência direta com a geometria do perfil e do carregamento nos porões adjacentes.

Tradicionalmente, considera-se que compartimentos adjacentes tenham carregamentos similares, ocasionando planos de simetria que impedem a rotação da secção de um reforçador longitudinal no plano onde se localiza um reforçador transversal (no caso de reforçadores leves) ou antepara transversal (no caso de reforçadores pesados). Essa condição costuma ser melhor modelada considerando-se um vínculo do tipo engaste.

No caso da interação dos anéis com os longitudinais pesados, esta hipótese não é mais válida, pelo fato de os dois tipos de elementos possuírem dimensões e rigidez à flexão muito próximos, tornando difícil distinguir quem serve de apoio para quem. Pode-se admitir que o

anel transversal se comporta como um apoio elástico para os reforçadores longitudinais pesados.

Depois se determinam as larguras de carga associadas a cada reforçador longitudinal analisado. Os perfis leves suportam a carga feita pelo chepeamento solidários à eles. Embora existam diferentes maneiras para se estimar essa largura de carga, uma maneira simples e conservadora, consiste em se considerar que essa largura corresponde à distância entre dois perfis leves, repartindo o carregamento igualmente entre dois reforçadores. A mesma análise pode ser feita para os reforçadores pesados.

A Teoria Simples de Viga considera que as secções permanecem planas e ortogonais a linha neutra da viga. No entanto, isso somente é verdade para vigas maciças, onde não existe uma clara diferenciação entre alma e flange. Reforçadores longitudinais tradicionalmente apresentam secções 'T', 'L' ou 'Bulbo'; exigindo que a distribuição da tensão secundária seja corrigida para considerar o efeito do empenamento da secção.

Esse efeito é resultante de cargas transversais na alma da viga, que, quando curvadas, alongam e encurtam os extremos superior e inferior da viga, induzindo a deformação no flange resultante do fluxo cisalhante ao longo da secção, usualmente denominado *"shear lag"*.

Tradicionalmente, utiliza-se o modelo de chapa colaborante proposto por H. Schade (1951) e W. Muckle (1967), apud Hughes (1983), para determinar a correção nos campos de tensões devido ao efeito "*shear lag"*. Essa correção é feita considerando que apenas uma porção do chapeamento do casco solidário ao perfil seja efetiva na flexão. Essa parcela do chapeamento que efetivamente enrijece o reforçador (atuando como uma segunda flange) é denominada chapa colaborante. A dimensão da chapa colaborante pode ser determinada utilizando-se o estudo de *Schade* (1951), sintetizado na Figura 4.

Este trabalho aproxima o gráfico da Figura 4 pela equação de quinto grau abaixo, que a partir da relação $\ell 1/B$ seja determinada a relação c/B, onde B é a largura de carga do perfil considerado.

$$\frac{c}{B} = -0{,}00009 * \frac{\ell 1^5}{B} + 0{,}0018 * \frac{\ell 1^4}{B} - 0{,}007 * \frac{\ell 1^3}{B} - 0{,}0547 * \frac{\ell 1^2}{B} + 0{,}47 * \frac{\ell 1}{B} - 0{,}0021$$

Onde $\ell 1 = 0{,}578 * L$

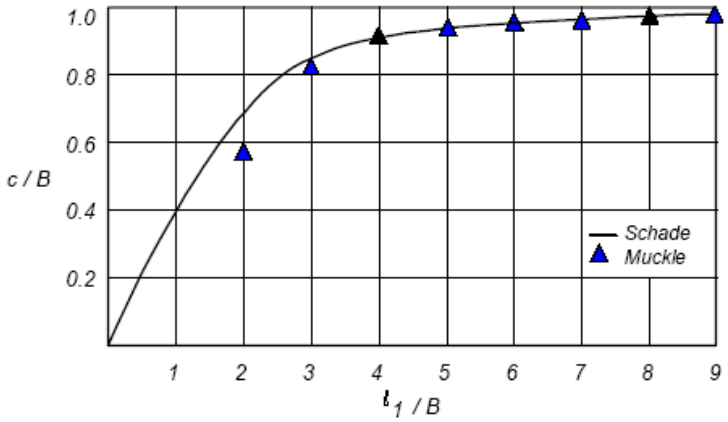


Figura 4 - Gráfico de *Schade* para chapa colaborantes. Fonte: Schade (1951)

Determinada a chapa colaborante, pode-se determinar a posição da linha neutra e o momento de inércia da secção efetivamente resistente. Por fim, os campos de tensão nos reforçadores podem ser determinados analiticamente por meio da clássica equação:

$$\sigma_{longitudinal} = \frac{M * (z - Z_{LN})}{I_{LN}}$$

Onde, z é a distância medida em relação a posição vertical na linha neutra da seção (Z_{LN}), M é o momento fletor atuante na secção do perfil e I_{LN} o momento de inércia da secção, considerando-se a chapa colaborante.

O modelo aqui apresentado considera que o momento fletor varia quadraticamente ao longo do comprimento dos reforçadores valendo q * L² / 24 no meio vão e –q * L² / 12 junto aos engastes.

2.3 Unidades de chapealmento.

Uma unidade de chapeamento consiste em uma porção de chapa contida entre 2 reforçadores transversais e 2 reforçadores longitudinais, e cuja função principal é garantir a estanqueidade do navio.

Existem dois tipos de cavernamento. O cavernamento é longitudinal quando o maior lado da unidade de chapeamento é paralela ao eixo proa-popa. Quando o maior lado está na direção bombordo-boreste, diz-se que o cavernamento é transversal.

A relação entre rigidez e tensão de uma chapa é estabelecida pela equação de flexão em placas, cuja dedução pode ser vista em literaturas sobre mecânica dos sólidos.

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p}{D}$$

Onde E é o módulo de elasticidade, t a espessura da placa e υ o coeficiente de Poisson do material. O módulo de rigidez à flexão de placas D pode ser definido como:

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\upsilon^2)}$$

Para uso em engenharia, a solução em forma de gráfico é mais conveniente. A solução de placas simplesmente apoiadas, foi desenvolvida por Navier (1820), apud Augusto (2007). Comumente em engenharia naval, são utilizados os modelos de placas com lados engastados devido à simetria de carregamento, cuja hipótese foi discutida na secção anterior.

A tensão no centro de cada um dos lados da placa, é determinada por:

$$\sigma_{longitudinal} = k * p * \left(\frac{b}{t}\right)^2$$

Onde p é a pressão ortogonal ao chapeamento e k é o coeficiente determinado graficamente. Neste trabalho utilizam-se as equações abaixo:

$$ka = -0{,}002(\frac{a}{b})^5 + 0{,}0272(\frac{a}{b})^4 - 0{,}1143(\frac{a}{b})^3 + 0{,}1025(\frac{a}{b})^2 + 0{,}314(\frac{a}{b})$$

$$kb = -0{,}0014(\frac{a}{b})^6 + 0{,}0224(\frac{a}{b})^5 - 0{,}1459(\frac{a}{b})^4 + 0{,}4848(\frac{a}{b})^3 - 0{,}8757(\frac{a}{b})^2 + 0{,}8341(\frac{a}{b})$$

Para que a interpolação das tensões na direção longitudinal sejam realizadas, é necessário que se conheça a tensão no centro da placa. Porém, o modelo analítico permite que apenas as tensões nos lados da placa sejam determinadas. Deste modo, foram realizadas diversas simulações numéricas através do software *ANSYS*, variando-se a razão de aspecto das placas, a espessura e o material.

Observando os resultados, verifica-se que a relação entre a tensão no centro do lado curto e no centro da placa apresenta pouca variação, podendo ser aproximada pela por uma equação linear:

$$\sigma_{c/c} = 0{,}172 * a - 0{,}613$$

No modelo desenvolvido, a interpolação do campo de tensões na unidade de chapeamento ao longo do comprimento utiliza uma função quadrática construída a partir da tensão encontrada no centro do lado curto e a tensão no centro da placa.

2.4. Pressão hidrostática.

O tipo de onda estudado tem influência direta sobre a pressão hidrostática, sendo calculada por:

$$p = \left(T \pm \frac{L}{40} * \cos(2 * \pi * \frac{x}{L}\right) 10^{-2}\ N/mm^2$$

Onde T é o calado, e L o comprimento da onda, o qual, para a situação crítica, é equivalente ao comprimento do navio. Para uma onda de alquebramento, a pressão hidrostática no fundo do navio é maior a meia nau do que em uma onda de tosamento, logo, soma-se $\frac{L}{40}$ para alquebramente, e subtrai-se para tosamento.

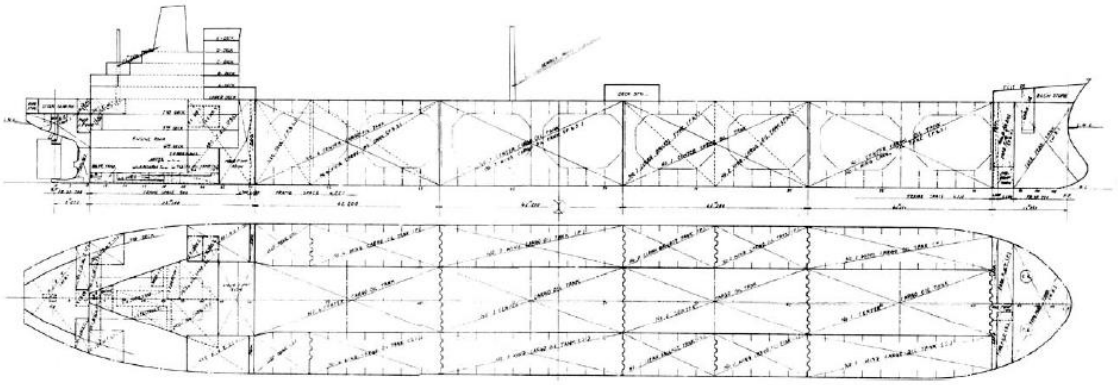
3. ESTUDO DE CASO.

A seguir será apresentado um estudo de caso com a análise estrutural de uma embarcação convencional típica, cujas dimensões principais e parâmetros do projeto estrutural são mostrados na Figura 5.

Conforme discutido no capítulo anterior, a pressão varia ao longo do comprimento da embarcação, deste modo, em alquebramento, a pressão no centro da embarcação é maior, aumentando os valores de tensão na estrutura local na região próxima à meia nau, que, combinado ao máximo momento fletor da viga navio (encontrada também à meia nau), fornece a condição crítica para a embarcação.

O momento fletor utilizado na análise global foi calculado pela norma DNV e, na condição de alquebramento, vale 8.46 * 10^{12} N*mm. A seguir são calculados os campos de tensões (globais e locais) em diferentes posições (X, Y, Z) ao longo do navio.

A posição X é medida a partir da popa, no sentido longitudinal do navio. A posição Z é medida a partir da quilha na direção vertical. A posição Y é medida em função da linha da quilha na direção da boca.



Parâmetros do Navio		
Comprimento de Linha D'água	270,36	m
Comprimento entre perpendiculares	262,75	m
Comprimento (L)	262,25	m
Boca (B)	43	m
Pontal (D)	24,5	m
Calado (T)	17,76	m
Cb	0,848	
Velocidade	15	Nós

Parâmetros do Projeto Estrutural		
Espessura do chapeamento (t)	20	mm
Distância entre Hastilhas (Lh)	2295	mm
Distância entre Perfis Leves (Bl)	900	mm
Distândia entre Anteparas (La)	22950	mm
Distância entre Perfis Pesados (Bp)	4500	mm
Altura da alma do perfil leve	260	mm
Espessura da alma do perfil leve	11	mm
Largura do flange do perfil leve	100	mm
Espessura do flange do perfil leve	20	mm
Altura da alma do perfil pesado	2700	mm
Espessura da alma do perfil pesad	15	mm
Largura do flange do perfil pesado	3730	mm
Espessura do flange do perfil pesa	20	mm

Figura 5 - Arranjo geral da embarcação analisada. Fonte: Ship Structure Committee Case Study (2008)

Primeiramente, na Figura 6, são plotados os gráficos das tensões longitudinais em alquebramento para Z = Y = 0, ao longo do eixo X,

A tensão longitudinal global máxima está localizada à meia nau, porém, quando combinada às demais tensões, a tensão máxima total encontra-se próximo à meia nau, mais especificamente 126,23 m, onde a estrutura encontra-se sob compressão, com uma tensão de -309,95 MPa.

É importante observar que a tensão associada aos reforçadores leves permanece constante em zero, pois o ponto analisado está próximo a um reforçador longitudinal pesado.

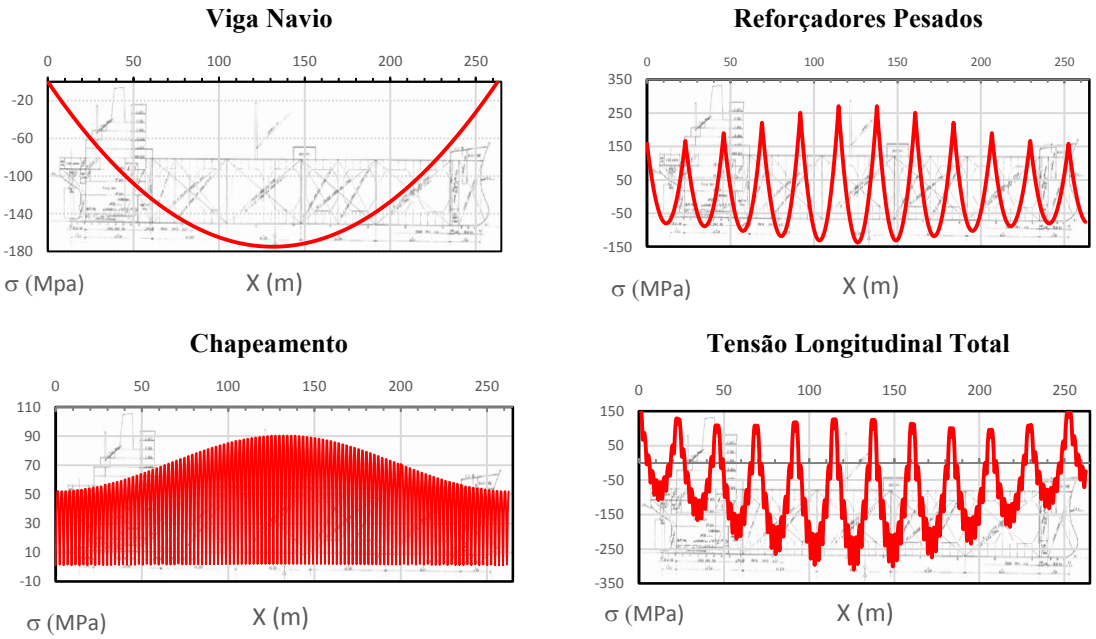


Figura 6 – Tensão longitudinal na estrutura em alquebramento (Z = Y = 0)

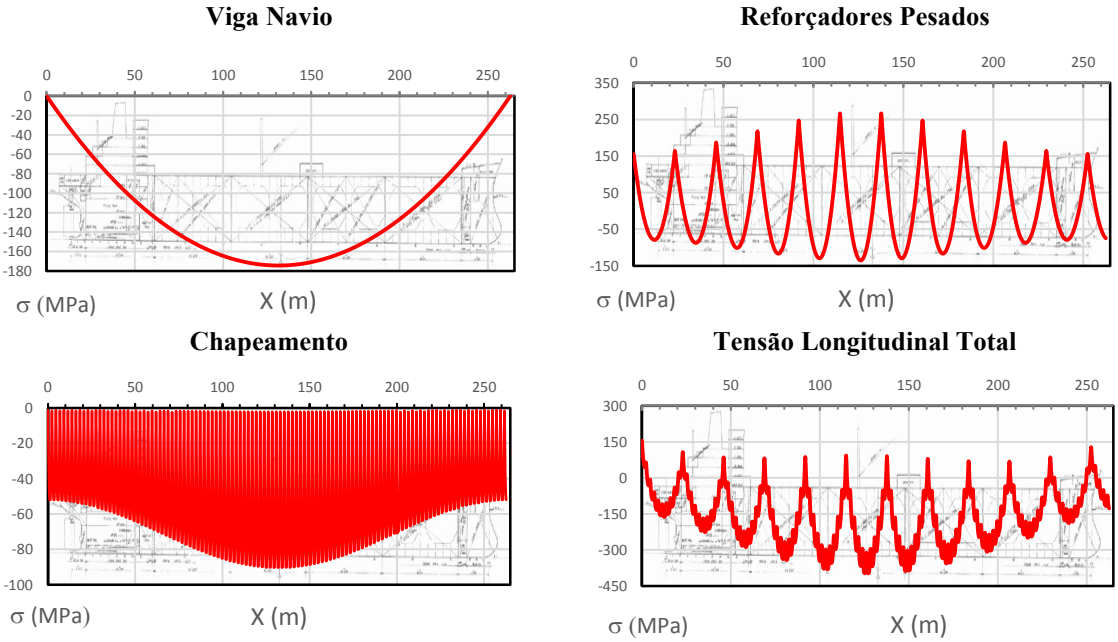


Figura 7 - Tensão longitudinal da estrutura em alquebramento (Y = 0; Z = 0,02 m)

Em seguida, foi realizada a análise de tensão longitudinal considerando-se outras duas posições verticais: 0,02 m (Figura 7) e 2,74 m (Figura 8). Estes pontos são as extremidades

superiores das placas e dos perfis pesados, respectivamente. A extremidade superior do perfil leve não foi analisada, visto que sua tensão é zero em Y = 0.

A variação na tensão longitudinal na viga navio e no reforçador pesado são praticamente desprezíveis se comparados à análise anterior. No entanto, a análise do chapeamento apresenta grande variação nos valores de tensão, pois, enquanto para Z = 0 os valores eram de tração, para Z = 0.02 m tornam-se de compressão, amplificando a tensão longitudinal total para um máximo de -396,99 Mpa, novamente próximo à meia nau, X = 127,14 m.

Quando considera-se Z = 2,74 m, a tensão longitudinal na viga navio apresenta uma variação significativa, reduzindo-se quase pela metade, enquanto a tensão longitudinal nos reforçadores pesados tem, agora, suas extremidades sob compressão e meio do vão sob tração. Não existem tensões oriundas dos reforçadores leves e nem do chapeamento, pois o ponto de análise está fora dessas estruturas. A tensão longitudinal máxima tem seu valor em -378,59 MPa, localizado longitudinalmente em 137,70 m.

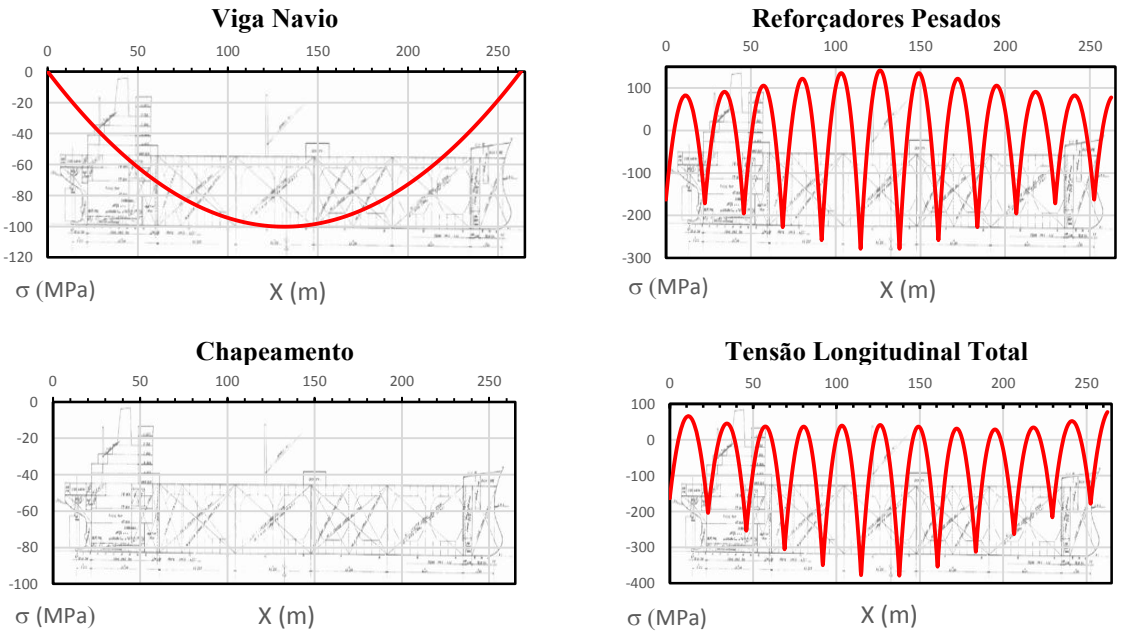


Figura 8 - Tensão Longitudinal da Estrutura em Alquebramento (Y = 0; Z = 2,74 m)

Em seguida, variou-se a posição transversal (Y) da análise para 7,2 (Figura 9) e 7,65 m (Figura 10), ou seja, localizadas no engaste de um perfil leve e no centro de uma placa,

respectivamente. A tensão longitudinal na viga navio e nos reforçadores pesados são as mesmas que em Z = Y = 0.

Em Y = 7,2 m, a tensão no chapeamento é o mesma que em Y = 0, já que a análise está sendo realizada novamente no engaste da placa.

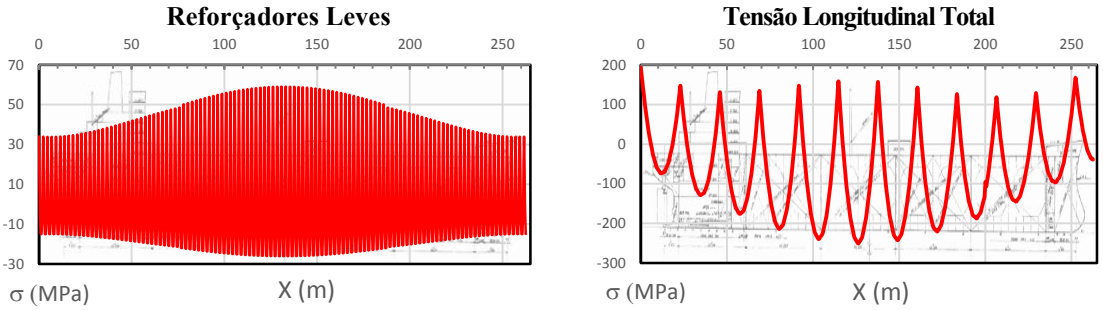


Figura 9 - Tensão longitudinal para estrutura em alquebramento (Z = 0; Y = 7,2 m)

Observa-se que o valor de máxima tensão total não ultrapassa os 250 MPa de compressão. Porém, quando a posição Y = 7,65 m é analisada, há um aumento na tensão total de compressão próximo à meia nau, -374,54 MPa, devido aos maiores valores de compressão no centro da placa. Outra diferença que pode ser observada é no valor de tração, que alcança 367,34 MPa. Os gráficos de tensão longitudinal na viga navio, nos reforçadores leves e pesados permanecem idênticos a análise que considera Y = 7,2 m.

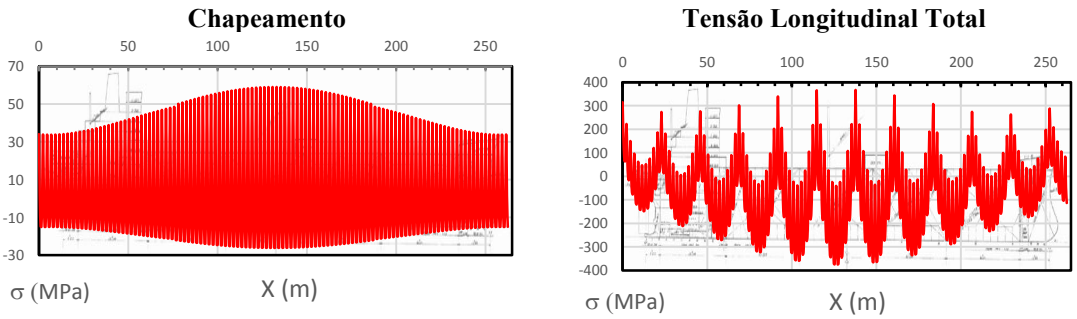


Figura 10 - Tensão longitudinal da estrutura em alquebramento (Z = 0; Y = 7,65 m)

Como pode ser observado, os maiores valores de tensão foram encontrados todos próximos à meia nau, primeiramente nas posições de Y = 0 e Z = 0,02 m, e depois em Z = 0 e Y = 7,65 m. Por fim, analisam-se as tensões longitudinais na posição Z = 0,02 e Y = 7,65 m (Figura 11).

Conclui-se que a máxima tensão no ponto analisado é de -480,04 MPa. Este ponto está localizado longitudinalmente em 126,225 m, ou seja, na posição longitudinal de 11,475 m de um compartimento, tendo apenas tração no reforçador leve.

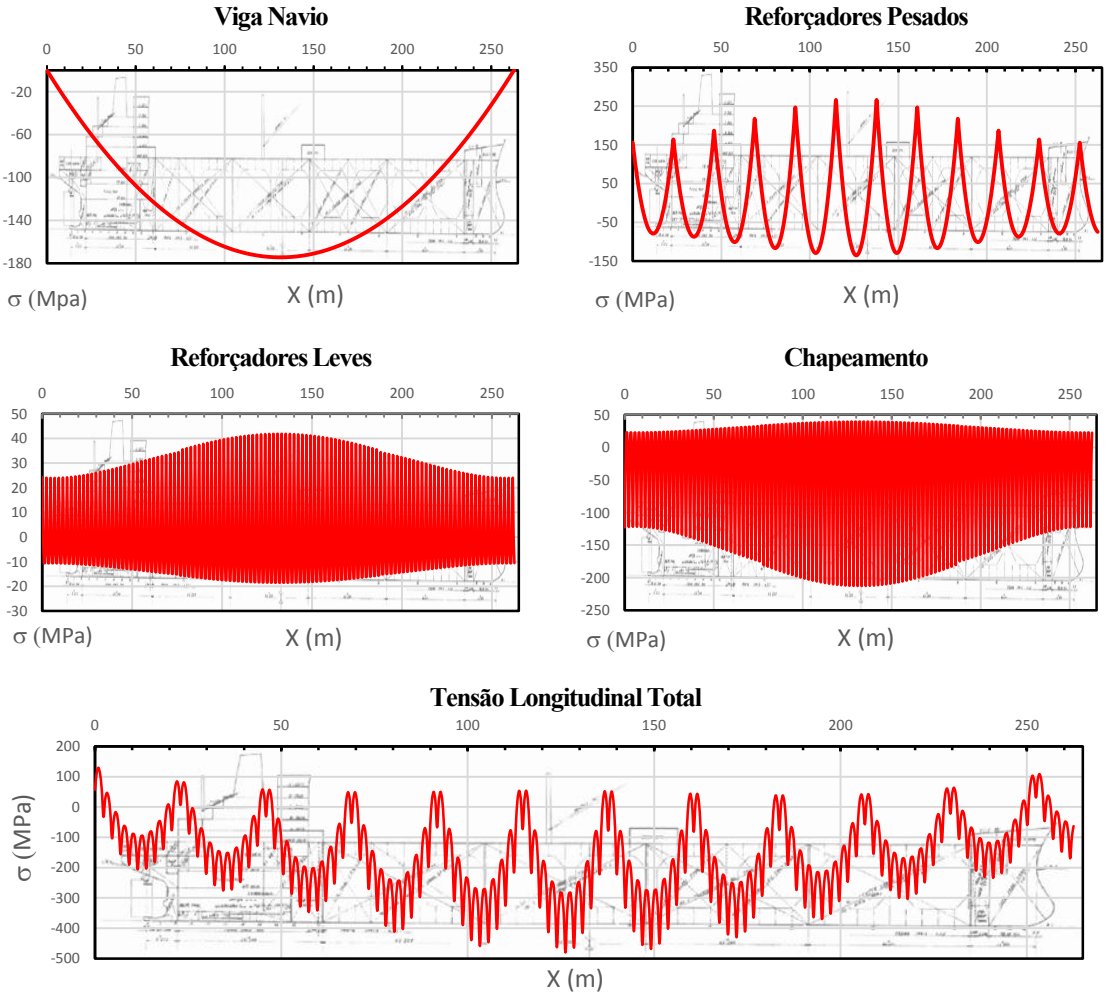


Figura 11 - Tensão longitudinal na estrutura em alquebramento (Z = 0,02 m; Y = 7,65m)

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.

Muitos fatores podem diferir a distribuição real de tensões da distribuição idealizada, apresentada no estudo de caso realizado. Nesta secção são apresentados e discutidos os principais fatores, indicando estratégias para mitigar esses efeitos.

A Teoria Simples de Vigas fornece bons resultados para navios com coeficientes L/B e L/D maiores que oito. Para coeficientes menores, o comportamento estrutural começa a sofrer influência da deflexão ocorrida nas outras direções (B e D), e a Teoria de Vigas não mais produz resultados coerentes com este comportamento (Tancredi, 2004).

Em função da existência de costados e conveses, o cisalhamento transversal provoca distorção longitudinal da seção transversal, gerando o empenamento das secções ao longo do comprimento. Ambas as considerações são muito difíceis de serem tratadas em um modelo analítico simplificado.

Na análise global, apenas elementos contínuos por mais de 2/3 do comprimento do navio contribuem para a rigidez da viga navio. No entanto, essa não é uma questão binária e bem definida. Para mitigar esse problema, pode-se modificar a rigidez flexional dos elementos que constituem a secção mestra com base na porcentagem de comprimento continuo que cada elemento possui em relação ao comprimento do navio.

Já em relação a estrutura local, uma primeira consideração que merece destaque é o modelo de vínculo utilizado nas análises.

Quando se tem uma única placa sob pressão, os vínculos tendem a rotacionar juntamente com a placa. Conforme a pressão é distribuída simetricamente entre placas adjacentes, há a compensação de rotação de uma placa na outra, fazendo com que os vínculos permaneçam fixos. Na Figura 12 é exemplificada esta situação, onde um painel composto por placas tem a pressão aplicada inicialmente no centro, ocorrendo a rotação dos vínculos. Em seguida, a pressão é distribuída para as demais placas, até que a relação de pressão na placa central e nas placas laterais seja 1, como destacado em vermelho. Quando isto acontece, não há mais a rotação, e o vínculo aproxima-se do engaste perfeito.

Dessa forma, ao invés de se considerar os elementos engastados, pode-se adotar uma distribuição de momento fletor que vai do apoio até o engaste, em função da simetria de carregamento existente entre os compartimentos.

Outra forte hipótese do modelo diz respeito ao desacoplamento entre os anéis transversais e os reforçadores longitudinais pesados. Para mitigar os efeitos dessa hipótese pode-se incluir apoios elásticos ao longo dos reforçadores pesados, onde a rigidez de cada mola corresponde a rigidez flexional do anel transversal.

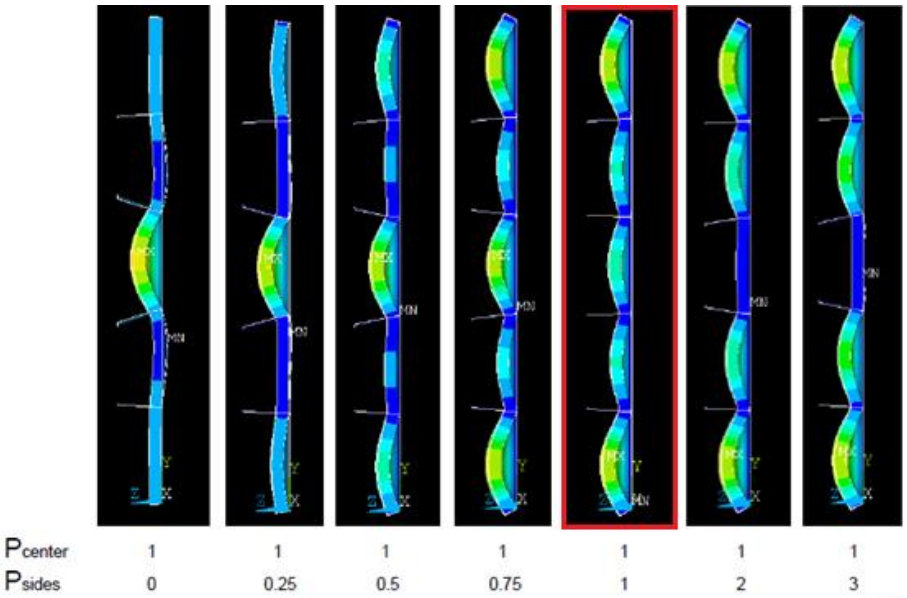


Figura 12 - Distribuições de pressão em placas engastadas. Fonte: Pegoraro, Silva, Tancredi (2015)

A consideração conservadora de que toda a carga aplicada ao chapeamento é distribuída uniformemente apenas entre os reforçadores longitudinais amplifica os valores de tensão calculados. Neste caso, pode-se adotar um coeficiente de redução do momento fletor em decorrência da absorção de carga pelos anéis transversais.

Por fim, o cálculo da chapa colaborante baseia-se no trabalho de Schade, cujo resultado é mostrado na Figura 4. No entanto, esses resultados valem apenas para vigas bi-engastadas e apenas para a secção no meio vão. Para mitigar esses efeitos deve-se adotar um coeficiente de redução da chapa colaborante em função da posição longitudinal do reforçador e da rigidez rotacional dos vínculos.

5. CONCLUSÃO.

O processo de concepção e análise de uma embarcação pode ser considerado um processo contínuo e sistemático de tomada de decisões a fim de atingir configurações viáveis para a embarcação, no qual o projeto estrutural representa uma importante etapa que deve ser realizada de maneira iterativa e integrada ao projeto dos demais subsistemas.

Nessa etapa é importante que o engenheiro entenda como os fenômenos inerentes ao problema irão interferir nos resultados, quais as limitações presentes e qual é o comportamento esperado das estruturas projetadas.

Deste modo, soluções analíticas fornecem dados preliminares ao projetista a partir de considerações simplificadas, permitindo que possíveis pontos críticos de projeto sejam detectados e melhor estudados ao longo do projeto.

Sendo útil para um estudo simplificado, por ser uma técnica simples, ágil e facilmente manipulável. Porém, ela não contempla casos mais realísticos, pois utiliza fortes hipóteses simplificadoras.

No estudo de caso apresentado é possível observar a distribuição típica das tensões na viga navio, reforçadores leves e pesados; e no chapemaento ao longo de um navio. No exemplo, a tensão longitudinal crítica foi encontrada na posição X = 126,225 m, Z = 0,02 e Y = 7,65 m.

Por fim são enumerados e discutidas as principais hipóteses que distanciam esse resultado teórico simplificado da distribuição real de tensões ao longo da estrutura do navio, além de serem sugeridas estratégias para mitigar os efeitos dessas hipóteses.

Como sugestão de trabalhos futuros, recomenda-se a construção de modelos para cada um dos coeficientes sugeridos, visando ajustar o modelo clássico de análise de estruturas navais para mitigar essas diferenças, tornando o modelo além de prático, mais robusto e eficiente.

6. REFERÊNCIAS.

DAMIENSAGE, J.; MELIN, T. **Análise paramétrica da secção mestra de um navio petroleiro. Comparação entre análise FEM e métodos analíticos aproximados.** 2012. Monografia (Graduação) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

CHAVES, V.T.; TANCREDI, T.P.; ANDRADE, B.L.R. **Optimal Structural Design of Small Ships with Response Surface**. São Paulo: Laboratório de Otimização e Projeto Integrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

SILVA, P. S. B.; VAZ, M. A. **Método semi-analítico para estimativa da resistência de painéis enrijecidos.** Rio de Janeiro: 24° Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, 2012.

KOZAK, J.; GÓRSKI, Z. **Fatigue strength determination of ship structural joints – Part 1: Analytical methods for determining fatigue strength of ship structures.** Polônia: Gdansk University of Technology, 2011.

TANCREDI, T.P. **A estrutura primária do navio**. São Paulo: Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São paulo, 2004.

AUGUSTO, O.B. **A estrutura secundária do navio.** São Paulo: Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São paulo, 2004.

AUGUSTO, O.B. **A estrutura terciária do navio.** São Paulo: Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São paulo, 2004.

HUGHES, O.F; PAIK, J.K. **Ship Structural Analysis and Design**. Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2010.

LEWIS, E.V. **Principles of Naval Architecture:** Stability and Strenght. Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.

LAMB, T. **Ship Design and Construction.** Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2003.

TIMOSHENKO, S.; WOINOWSKY-KRIEGER, S. **Theory of plates and shells.** New York: McGraw-Hill, 1959.

PEGORARO, B.; DA SILVA, L.S.P; TANCREDI, T.P. **Correction on the theory of naval structures: Analysis using parametric FEM.** São Paulo: ESSS Conference & Ansys Users Meeting, 2015.

Det Norske Veritas (DNV) – "**Hull Structural Design Ships with length 100 meters and above**, January 2015". – Janeiro de 2015.

Det Norske Veritas (DNV) – "**Hull Structural Design Ships with length less than 100 meters**, January 2015". – Janeiro de 2015.

BARABANOV, N; V. **Structural Design of Sea-Going Ships.** Hardcover, 1966.

7. HIDRODINÁMICA

MECANISMO DE PROPULSIÓN DE CUERPOS FLEXIBLES CON MOVIMIENTO PERISTÁLTICO

Doisenbant, G. J.[1]
[1]Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires. Argentina. gdoisenbant@fi.uba.ar

RESUMEN.

Los problemas biológicos de fluidodinámica comprenden en general la interacción de una estructura elástica con el fluido en que está inmersa. Un ejemplo de esto es el nado de la sanguijuela. Este organismo anguiliforme desarrolla un mecanismo de nado basado en una onda viajera aguas abajo, para propulsarse aguas arriba. Hasta el momento, no se han encontrado en la literatura experiencias que midan los campos de velocidad en el fluido que permitan interpretar correctamente el conjunto de fuerzas que permiten la propulsión. Este estudio permite comprender mejor la relación que existe entre el movimiento del cuerpo, la dinámica de vórtices y la generación de fuerzas para así lograr proponer dispositivos de propulsión inspirados en los procesos de selección que aparecen en la naturaleza. Además de su interés académico, el estudio del nado de las sanguijuelas tiene aplicaciones dentro del campo de la propulsión de buques en Ingeniería Naval. La evolución de los mecanismos de propulsión mecánicos ha sido una constante a lo largo de la historia del desarrollo de los buques y seguramente continuará siendo así, obteniéndose sucesivamente mejores métodos de propulsión, así como mejoras en los métodos existentes. En ese sentido, el estudio de los mecanismos naturales de propulsión de los seres vivos es una importante fuente de conocimiento para los nuevos desarrollos. Desde el punto de vista de las aplicaciones tecnológicas, las láminas ondulantes fueron estudiadas con distintos objetivos y variados resultados durante el siglo XX. Sin embargo, debido a los altos costos de la construcción naval, y los largos períodos de actualización tecnológica que caracterizan a esta industria, los nuevos desarrollos tardan más en extenderse masivamente. Sin embargo, la creación reciente de nuevos materiales flexibles y resistentes permite pensar en la posibilidad no muy lejana de aplicación práctica de estos estudios a la propulsión de buques. La posibilidad más tangible consistiría en el reemplazo de los sistemas propulsivos actuales (prácticamente todo el transporte naval actual se propulsa mediante hélices) por nuevos sistemas inspirados en la naturaleza, que probablemente puedan alcanzar un mayor grado de eficiencia energética a

futuro. Estos nuevos buques contarían con apéndices exteriores al casco con movimiento ondulatorio que generarían el empuje necesario para propulsar al buque.

1. ANTECEDENTES SOBRE EL TEMA.

Una gran parte de los organismos acuáticos se desplazan mediante movimientos peristálticos generando ondas viajeras a través de sus cuerpos flexibles. El movimiento realizado por animales durante el nado fue estudiado fotográficamente por Gray desde la década de 1930 [1]. Sin embargo, los intentos para analizar el nado desde el punto de vista hidrodinámico no prosperaron en ese momento porque sólo se habían realizado estudios fluidodimámicos sobre cuerpos rígidos y, en general, no hay forma de que experimentos realizados con cuerpos rígidos puedan usarse para predecir las fuerzas que actúan sobre cuerpos flexibles [2].

Como señala Tytell [3], diferentes animales acuáticos nadan en formas diferentes. Para categorizar esta diversidad, un primer agrupamiento distingue entre los animales que usan todo su cuerpo (anguiliformes) y los que usan principalmente una aleta caudal para su propulsión (carangiformes). En particular, los nadadores anguiliformes tienden a ser alargados con poco o ningún estrechamiento en el extremo posterior, y han sido históricamente mucho menos estudiados que los carangiformes.

El análisis de las formas ondulatorias de nado requiere el conocimiento de las fuerzas del fluido actuando sobre el cuerpo del animal durante el nado. Hace más de cuarenta años atrás, cuando las capacidades actuales de cálculo computacional no estaban disponibles, no era posible estimar las fuerzas del fluido por simulación numérica de su movimiento, motivando así el trabajo experimental y analítico de Taylor [2] y Lighthill [4]. En particular, el trabajo de Taylor con altos números de Reynolds (fuerzas inerciales mucho mayores que las viscosas) en el nado ondulatorio de sanguijuelas fue pionero para los trabajos posteriores en el área [5].

Taylor [2] planteó que en el caso especial en que el cuerpo flexible sea muy largo en comparación con sus dimensiones transversales se puede asumir que la reacción del agua circundante en cualquier sección es la misma que existiría si esa sección perteneciera a un cilindro largo moviéndose a la misma velocidad y en la misma dirección. Su modelo teórico está basado en mediciones experimentales de las fuerzas del fluido actuando sobre un cilindro inclinado en un flujo de aire de velocidad constante. Taylor desarrolló una fórmula para calcular la fuerza del fluido actuando sobre animales largos y delgados con altos números de

Reynolds y aproximando el cuerpo con un cilindro de sección transversal uniforme. Luego consideró un caso aproximadamente ideal en que el animal nada a velocidad V, propulsado por una ondulación corporal en que el cuerpo adquiere una forma sinusoidal en cada instante de tiempo, con ondas viajando a través del cuerpo a una velocidad constante U con respecto al cuerpo. Aunque no lo expresó explícitamente, en su análisis también asumió un cuerpo de longitud infinita u omitió considerar el movimiento rotacional y posibles desprendimientos de vórtices debido a la longitud finita del cuerpo. En cualquier caso, cada punto del cuerpo se mueve hacia adelante el mismo espacio luego de un ciclo de ondulación, y V puede ser definida como esa distancia divida el período del ciclo. Geométricamente, Taylor planteó que la línea media del cuerpo de la sanguijuela en el instante t tiene la siguiente forma:

$$y = Bsen\left\{\frac{2\pi}{\lambda}[x + (U - V)t]\right\}$$

donde B es la amplitud de la onda corporal. A su vez, simplificó el análisis dando al campo completo una velocidad U-V en la dirección +x.

Diferenciándose de Taylor, Lighthill [6] describe al movimiento anguiliforme como el modo ondulatorio de propulsión en que participa el cuerpo entero con una amplitud que se incrementa sustancialmente hacia el extremo posterior del animal. Así, propone la siguiente ecuación:

$$y = H(x)\cos\left[\omega\left(t + \frac{l - x}{V}\right)\right]$$

donde la amplitud de la onda viajera ya no es constante, sino que depende de la posición del punto considerado en el cuerpo del animal [7]. Esta descripción del nado anguiliforme se aplica tanto a las anguilas (de las que se deriva el nombre del modo de nado) como a los flagelados, los nematodes, las sanguijuelas y las lampreas [6].

Recientemente Jordan [8] retomó las investigaciones experimentales sobre el nado de la sanguijuela. En particular, estudió los efectos de escala en la cinemática y la dinámica del nado. Según sus observaciones, el nado mediante la ondulación de todo el cuerpo es un modo de locomoción común en organismos en amplios rangos de taxonomía y tamaño pero, a pesar de esta diversidad, parece haber una constancia en la cinemática de nado. La onda propulsora crece en amplitud al moverse de la cabeza a la cola. La relación entre la velocidad de la onda

propulsora hacia atrás y la velocidad de nado hacia adelante está en el rango 2-4 y hay generalmente entre 1 y 1,5 ondas propulsoras en el cuerpo durante el nado.

La sanguijuela Hirudo medicinalis es un ectoparásito de vida libre de vertebrados, originario de los lagos y ríos de Europa. Es un excelente modelo de animal para explorar la mecánica de nado, particularmente con respecto a cuestiones de escala [8].

Dos artículos publicados por Brackenbury [9] y Ellerby [10] en los últimos años detallan los dispositivos experimentales utilizados para el estudio del movimiento mediante la obtención de videos.

La sanguijuela nada haciendo ondular en la dirección vertical su cuerpo aplanado y extendido, para formar una onda corporal que viaja en la dirección antero-posterior (Figura 1). Cuando ondula en el agua, la sanguijuela controla su orientación para mantener su cara ventral hacia abajo. Las crestas viajeras de la onda corporal se producen por un ritmo metacrónico de contracción de segmentos sucesivos de la pared corporal ventral y los valles se producen por un ritmo metacrónico de contracción de la pared corporal dorsal similar pero antifásico [11]. Como fue notado por Leonardo da Vinci, las fuerzas ejercidas contra el agua por estos cambios en la forma del cuerpo proveen la propulsión que conduce al animal a través del medio fluido [12].

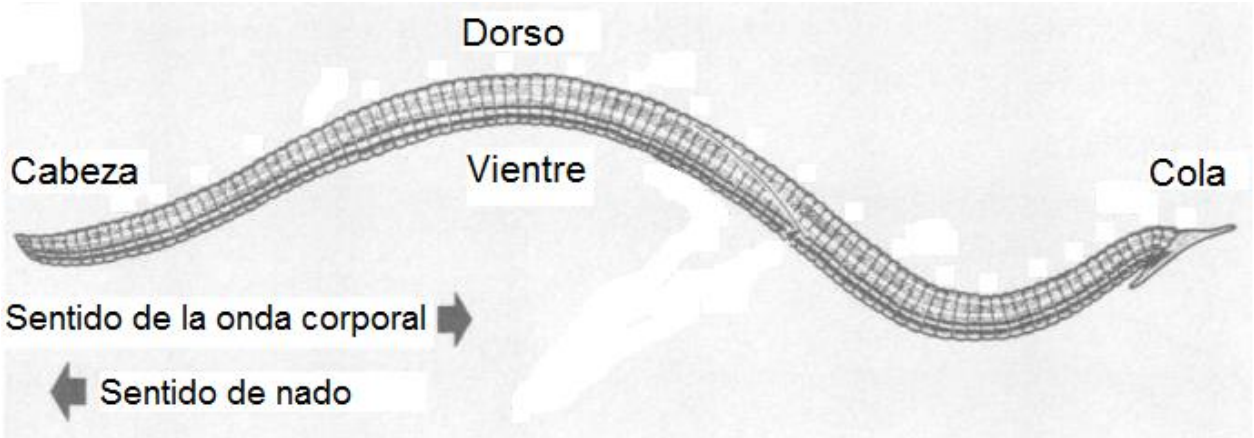


Figura 1. Esquema de la sanguijuela vista de costado

Desde el punto de vista fisiológico, el comportamiento de nado de la sanguijuela es generado por un oscilador central asociado a un conjunto de mecanismos sensoriales que controlan el inicio y el final de los episodios de nado, otros mecanismos químicos que modulan el

desarrollo del nado, y, de estudio más reciente, una retroalimentación sensorial en la coordinación intersegmental [13].

Los sistemas sensoriales y motrices en las sanguijuelas están entre los mejor entendidos en la naturaleza, proveyendo una base para una cantidad cada vez más grande de modelos que explícitamente revelan la interacción entre los osciladores centrales y la retroalimentación sensorial en el comportamiento de la sanguijuela. Una investigación en curso sobre las propiedades mecánicas de la pared corporal de las sanguijuelas es parte de un proyecto más grande para entender completamente la relación del oscilador central con la ejecución de movimientos de nado de la sanguijuela [14].

En la actualidad Szczupak realiza investigaciones sobre el sistema nervioso de la sanguijuela [15]. Estudios sobre la ontogenia del movimiento de la sanguijuela junto con la nueva técnica para seguimiento óptico de sanguijuelas comportándose libremente, deberán impulsar un mayor avance en la comprensión del movimiento de la sanguijuela [14].

La técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas (PIV) tuvo un desarrollo en los últimos años en aplicaciones para el conocimiento del flujo alrededor de láminas ondulandes y organismos nadadores y voladores. Entre otros, se destacan las investigaciones de Anderson sobre láminas ondulantes de alta eficiencia propulsiva [16], las de Tytell sobre el nado de anguilas [3] y truchas [17], y las de Nagayama sobre el nado de cobítidos (cuya forma de nado es anguiliforme) [18]. Por su parte, Claflin publicó un estudio del nado de la sanguijuela con toma de videos de alta frecuencia, pero no utilizó la técnica de PIV en sus investigaciones y por lo tanto no obtuvo campos de velocidad del fluido [19].

La técnica de Fluidodinámica Computacional (CFD) para simular el movimiento de nado fue empleada por Bowtell creando un modelo bidimensional inicialmente formado por barras, resortes y amortiguadores [20]. Luego refinó el modelo para que describa más fielmente el cuerpo continuo flexible del animal [21]. Jordan incorporó en su propio modelo propiedades fisiológicas de los músculos más realistas, y comparó sus simulaciones con el nado real de la sanguijuela [22]. El modelo de Skierczynski es un modelo biomecánico tridimensional con una sección transversal similar a la de la sanguijuela real, sin embargo, está limitado a estados de equilibrio estacionario [23]. Carling usa un modelo bidimensional para estimar los campos de flujo detrás de un nadador anguiliforme autopropulsado. En él resuelve simultáneamente las ecuaciones de Navier-Stokes y las leyes de movimiento de Newton, sin embargo el

modelo no fue validado con animales vivos [24]. Cortez intenta unificar en una misma simulación la mecánica interna del animal con la fluidodinámica externa del medio en que nada llegando a la conclusión de que el modelado biológico proporciona un potente medio para estudiar los mecanismos de generación de fuerza interna de un organismo nadando que están necesariamente relacionadas con el fluido circundante [25]. El modelo de Eldredge consiste en una sucesión de elipses sincronizadas, abriendo la posibilidad a la representación del cuerpo continuo de la sanguijuela mediante una sucesión de una mayor cantidad de elementos con un movimiento similar al de la sanguijuela real [26]. Kajtar, en un modelo similar, introduce parámetros de nado de la sanguijuela real y compara visualmente la simulación con los videos experimentales [27]. Chen emplea una sucesión de 18 elementos rígidos unidos mediante juntas con posibilidad de rotación sin fricción, sin embargo sus resultados tampoco fueron contrastados con la estela de nado que es posible obtener mediante PIV [28]. En resumen, si bien se realizaron importantes avances en la simulación numérica del nado anguiliforme, ninguno de los métodos desarrollados hasta el momento logra simular acabadamente todos los aspectos de la dinámica del mismo [29].

Barret [30] demostró experimentalmente, mediante el uso de dispositivos biomiméticos, que una condición para la reducción de la resistencia al avance es que la velocidad de propagación de la onda corporal sea mayor que la velocidad de avance. Por su parte, los hermanos Triantafyllou, ambos ingenieros navales del MIT dedicados a la investigación de la propulsión natural y al desarrollo de dispositivos biomiméticos autónomos [31], en uno de sus artículos más recientes [32] destacan los importantes avances en el entendimiento de algunos de los mecanismos básicos de generación de empuje y la manipulación del flujo en láminas ondulantes para uso submarino. Sin embargo, afirman que todavía hay mucho por aprender con respecto a la formación de vórtices.

El presente trabajo busca avanzar en el conocimiento de la fluidodinámica relacionada con el nado anguiliforme. Para ello se procura desarrollar una metodología de obtención de datos, análisis y procesamiento de la información obtenida experimentalmente para el caso particular de la sanguijuela medicinal. Luego, se pretende caracterizar los patrones de flujo que aparecen en el agua como consecuencia del nado de la sanguijuela. Finalmente, se propone una comparación de los resultados experimentales con aquéllos obtenidos mediante simulaciones numéricas.

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL.

Para la realización de las experiencias se obtuvieron sanguijuelas medicinales adultas originarias de Francia. Los animales fueron mantenidos a temperatura controlada en recipientes conteniendo una solución de sales en agua destilada, que también fue utilizada en las experiencias. Para las experiencias con partículas, se agregaron 0,2 g de microesferas huecas de vidrio bañadas en plata de 10 μm de diámetro por cada litro de solución.

El canal de experiencias se construyó utilizando vidrio float de 3 mm de espesor. La longitud adoptada fue 800 mm, la altura 150 mm, y el ancho 40 mm. En cada extremo se colocó un sector cilíndrico de 100 mm de diámetro para que los animales tuvieran la posibilidad de invertir su sentido de nado y continuar nadando en sentido opuesto al llegar al extremo del canal. El material de unión empleado fue sellador de silicona neutro, el cual no afecta a los seres vivos que están en contacto con él, ni libera componentes nocivos al agua. El sellador cumple la doble función de unir estructuralmente las partes del canal y garantizar la estanqueidad del mismo.

La iluminación preparada especialmente para la toma de imágenes con alto contraste consistió en un arreglo rectangular de 60 diodos emisores de luz blanca, con una potencia total de 12 W. El mismo fue colocado por detrás del canal para obtener un mayor contraste entre la sanguijuela oscura y el fondo claro. Entre la fuente lumínica y el canal se colocaron difusores de potencia lumínica, lográndose una distribución más homogénea de la misma en el área de toma de imágenes.

En el caso de las tomas con partículas, la iluminación consistió en un plano láser vertical longitudinal. Para ello se utilizó un dispositivo generador de un haz de luz coherente color verde (λ = 532 nm). El plano láser fue creado con un polígono espejado rotante de alta frecuencia colocado sobre el canal como muestra la Figura 1. El mismo tiene 10 lados y una velocidad de 4000 rpm. De esta forma se crea un plano de luz y sólo se iluminan las partículas contenidas en ese plano.

Para la adquisición de las imágenes sin partículas se utilizó una cámara PixelFly SN:200 XD 3767, con una lente Nikon AF MICRO NIKKOR 60 mm 1:2.8 D, con una frecuencia de 50 cuadros por segundo y una resolución de 4,85 pixeles por milímetro.

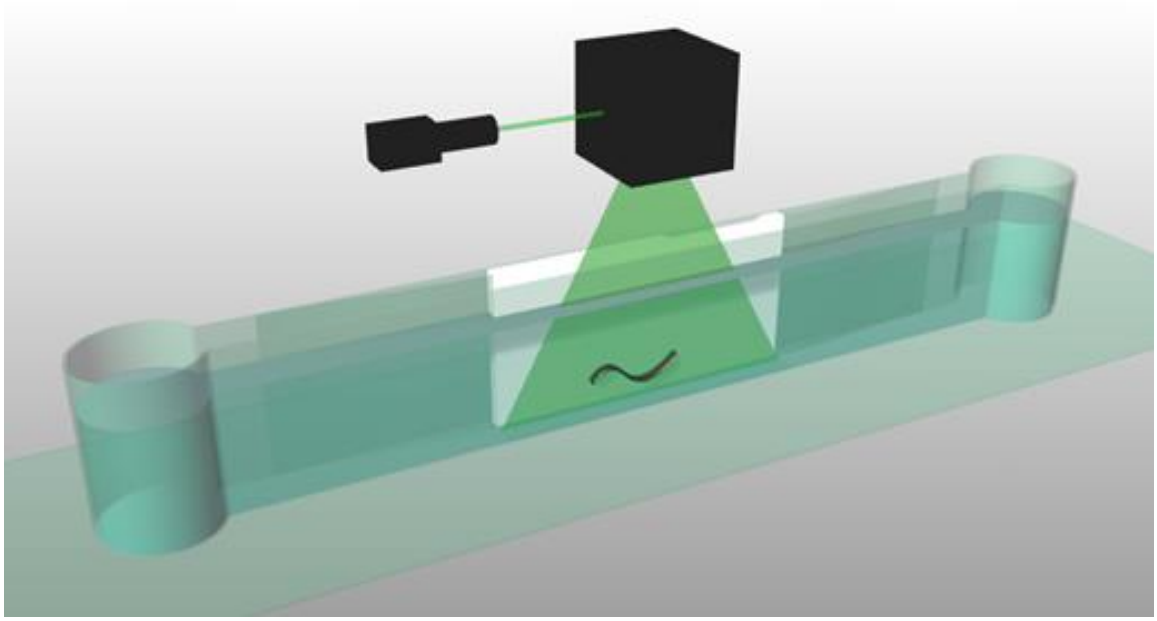


Figura 1. Ubicación del láser y el espejo rotante

La cámara rápida utilizada para las tomas con partículas es SpeedCam MiniVis e2, con una lente FUJINON-TV 1:18/75, una frecuencia de 300 cuadros por segundo y la misma resolución de 4,85 pixeles por milímetro.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

Durante decenas de horas de nado de varias sanguijuelas se adquirieron cientos de videos que luego de una selección permitieron contar con suficientes datos para buscar una expresión matemática que describiera adecuadamente el movimiento de nado. Los videos fueron analizados mediante una serie de algoritmos desarrollados especialmente en el entorno de programación Octave.

La primera operación que se aplica sobre cada imagen es la obtención del contorno del cuerpo del animal, y a partir de él, la línea media, como se muestra en la Figura 2. Repitiendo en forma automática el procedimiento para todas las imágenes de un video, se obtienen las coordenadas de todos los puntos de la línea media en función del tiempo.

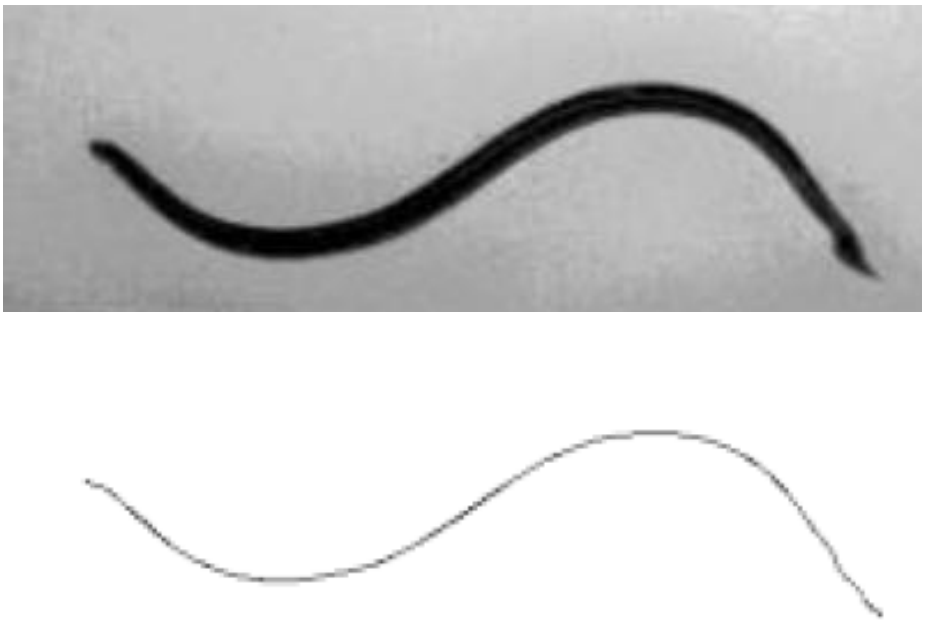


Figura 2. Obtención de la línea media del cuerpo

El procesamiento de los datos continúa con el ajuste de los datos experimentales mediante una expresión matemática que indique la posición vertical de cada punto en función de su posición horizontal y del tiempo. Para el ajuste se proponen varias expresiones posibles, algunas de las cuales se muestran en la Tabla 1. En todos los casos, las variables (x,y,t) son los valores dato que se deben ajustar. El ajuste se realiza por el método de cuadrados mínimos y, además de los parámetros de la expresión matemática, se obtiene un coeficiente de determinación que indica si el ajuste es bueno.

La técnica de PIV permite obtener el campo de velocidades de un fluido sembrado con partículas mediante la comparación de pares de fotos y el análisis del movimiento de las partículas entre una foto y otra. La técnica consiste en medir el desplazamiento del fluido en un intervalo de tiempo determinado. Para su evaluación, se divide la grabación digital de PIV en pequeñas áreas dentro de las cuales se determina el vector de desplazamiento local. El principal software utilizado para en esta etapa es DaVis, que analiza las imágenes de cada video mostrando como resultado los campos de velocidad en función del tiempo. Esto permite observar la evolución de los vórtices en la estela que deja el animal tras su paso.

Tabla 1. Expresiones matemáticas para el ajuste

Función propuesta	**Expresión matemática**	**Parámetros de ajuste**
Taylor [2]	$y = Bsen\left\{\frac{2\pi}{\lambda}[x + (U - V)t]\right\}$	B = amplitud λ = longitud de onda U = velocidad de la onda V = velocidad de avance del animal
Lighthill [7]	$y = H(x)\cos\left[\omega\left(t + \frac{l - x}{V}\right)\right]$	H(x) = amplitud ω =velocidad angular de la onda l = extensión horizontal del animal V = velocidad de la onda
Sinusoide modulada linealmente	$y = A(x - x_0)sen\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T}\right) + \varphi_0\right] + y_0$	A = amplitud x_0 = abscisa λ = longitud de onda T = período de la onda φ_0 = fase inicial y_0 = ordenada
Sinusoide modulada cuadráticamente	$y = A(x)sen\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T}\right) + \varphi_0\right] + y_0$ donde $A(x) = a_0 + a_1(x - x_0) + a_2(x - x_0)^2$	a_0 = coeficiente independiente a_1 = coeficiente término lineal a_2 = coeficiente término cuadrático x_0 = abscisa λ = longitud de onda T = período de la onda φ_0 = fase inicial y_0 = ordenada

4. SIMULACIÓN NUMÉRICA.

Se elige para la simulación el programa Gerris, un software libre de CFD que resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes permitiendo modelizar el movimiento de los fluidos aplicando el

método de volúmenes finitos [33]. Gerris se caracteriza por utilizar mallas semiestructuradas quadtree y octree. Este tipo de discretización del dominio es un buen compromiso entre la flexibilidad de mallas no estructuradas y la eficiencia computacional de mallas estructuradas. Al adaptarse dinámicamente la malla a la solución que se está obteniendo, se logran importantes mejoras en tiempo computacional [34].

Para la simulación se configura un flujo bidimensional alrededor de la sanguijuela que permita la comparación con los resultados experimentales. La sanguijuela es representada mediante una sucesión de cuerpos prismáticos que simulan ser los anillos del animal, teniendo cada uno de ellos un movimiento independiente, pero asegurando mediante el código que este movimiento sea sincrónico. Los parámetros cinemáticos son los que se obtuvieron del ajuste espaciotemporal de los datos experimentales.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Entre las expresiones matemáticas propuestas, la que mejor ajusta la forma de nado de la sanguijuela es la sinusoide modulada por un polinomio de segundo grado. Los valores de los parámetros obtenidos experimentalmente son los siguientes: $a0 = 0$ mm, $a1 = 0{,}02$, $a2 = 0{,}005$ mm-1, $x0 = -358$ mm, $\lambda = 67$ mm, $T = 0{,}34$ s, $\varphi 0 = 0$, $y0 = 0$ mm. En la Figura 3 se observa una representación tridimensional de los datos originales y el ajuste matemático superpuesto, para un video determinado.

Mediante la técnica de PIV se obtuvieron los campos de velocidad del fluido circundante a la sanguijuela, durante su movimiento de nado. En cada secuencia de imágenes se puede observar el desplazamiento de los vórtices y la disminución de su intensidad con el tiempo, debido a la disipación viscosa. En la estela dejada por la sanguijuela se puede distinguir el desprendimiento de dos pares de vórtices por cada ciclo de nado. En la Figura 4 se observa la ubicación de estos vórtices en una imagen que corresponde a la estela de una sanguijuela cuyo sentido de nado fue hacia la izquierda y levemente hacia abajo.

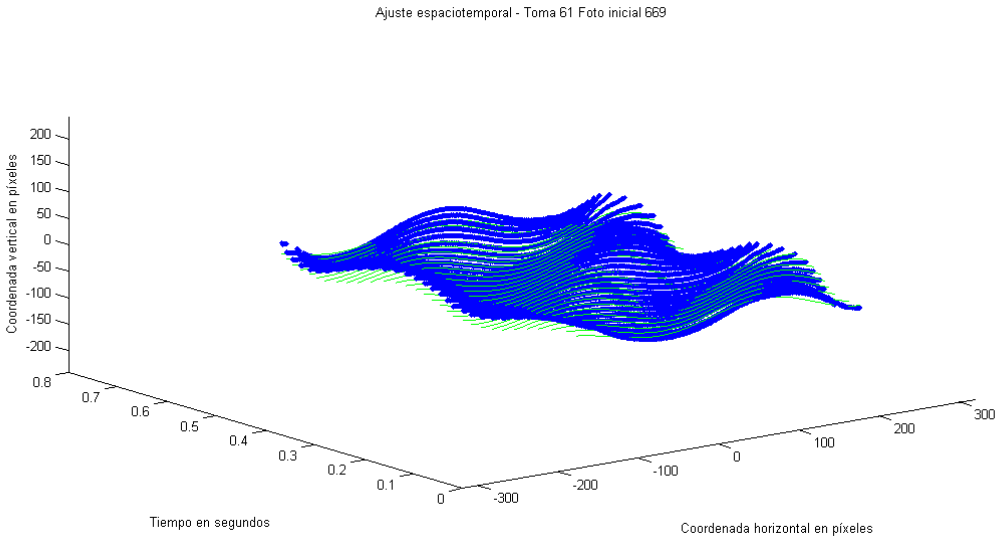


Figura 3. Ajuste espaciotemporal del nado

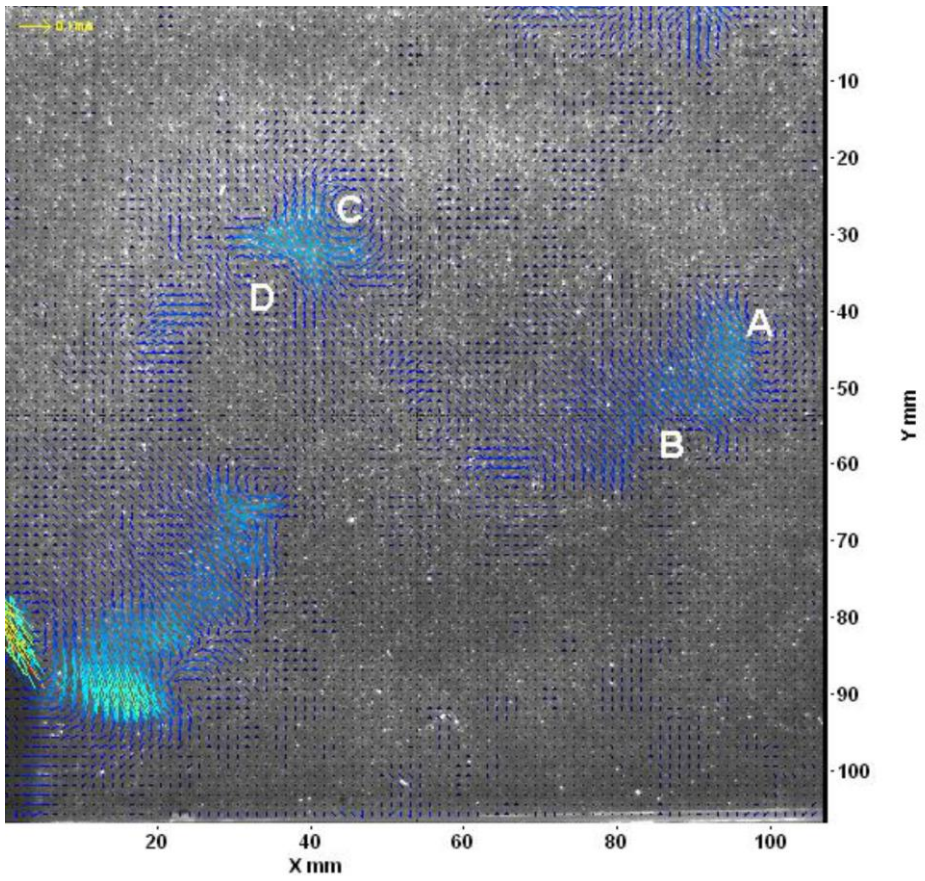


Figura 4. Calle de vórtices en la estela (PIV)

La calle de vórtices fue observada tanto en las experiencias con la sanguijuela real, como en las simulaciones numéricas (Figura 5). El desprendimiento de los vórtices y la evolución de los mismos coinciden en ambos casos, sin embargo, la disminución de su intensidad por disipación viscosa en general no coincide completamente. La búsqueda de una mayor coincidencia en este sentido queda como trabajo a futuro.

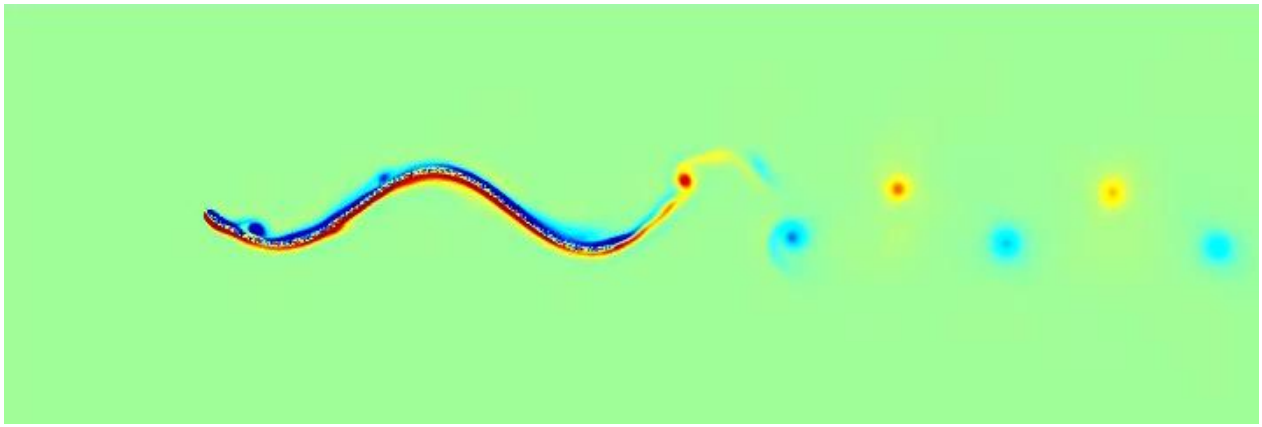


Figura 5. Calle de vórtices en la estela (CFD)

6. CONCLUSIONES.

El objetivo principal de este trabajo fue avanzar en el conocimiento de la fluidodinámica relacionada con el nado anguiliforme. La metodología desarrollada permitió la obtención de datos experimentales y el procesamiento de los mismos, lográndose satisfactoriamente el objetivo propuesto y abriendo la posibilidad a nuevos avances a futuro basados en los resultados del presente trabajo.

En primer lugar, se obtuvo una buena caracterización del patrón de nado de la sanguijuela. Aun así, el ajuste obtenido de la forma de nado admite eventuales mejoras, mediante la evaluación de expresiones matemáticas alternativas.

En segundo lugar, por primera vez se obtuvieron campos de velocidad mediante PIV sobre este tipo de animales. Esto permitió observar los dos pares de vórtices contrarrotativos presentes en la estela por cada ciclo de nado.

Por último, se obtuvo una sanguijuela virtual que desprende vórtices en forma similar a la sanguijuela real. El uso de mallas semiestructuradas con refinamiento adaptativo permitió realizar las simulaciones numéricas con moderados requisitos de hardware.

Los aportes del presente trabajo no se limitan a aspectos relacionados con la Ingeniería Naval, sino también a desarrollos interdisciplinarios.

Como reflexión final, se puede empezar a pensar en el futuro reemplazo de los mecanismos actuales de propulsión de buques a motor por otros más eficientes. A modo ilustrativo en la Figura 6 se muestra un esquema de un buque adaptado a este tipo de propulsión. El desarrollo de nuevos materiales flexibles y resistentes, y la búsqueda de mayor sustentabilidad hacen que esto sea posible a gran escala en el mediano plazo.

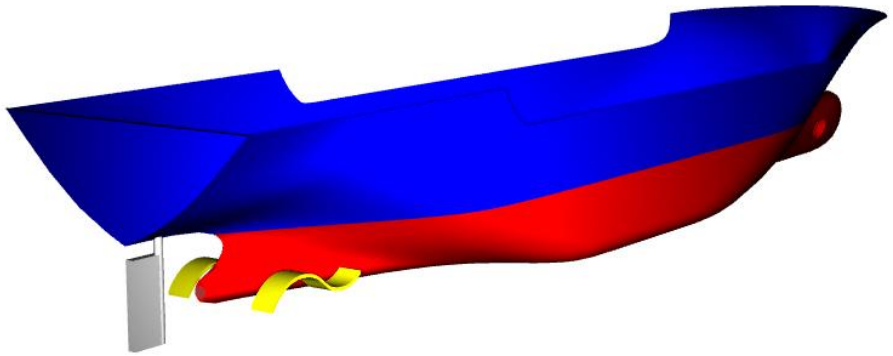


Figura6. Buque con propulsor flexible

7. REFERENCIAS.

[1] J. Gray, H. Lissmann, R. Pumphrey, «The mechanism of locomotion in the leech (Hirudo medicinalis Ray),» Journal of Experimental Biology, nº 15, pp. 408-430, 1938.

[2] G. Taylor, «Analysis of the swimming of long and narrow animals,» Proceedings of the Royal Society of London, nº 214, pp. 158-183, 1952.

[3] E. Tytell, G. Lauder, «The hydrodynamics of eel swimming,» The Journal of Experimental Biology, nº 207, pp. 1825-1841, 2004.

[4] M. Lighthill, «Note on the swimming of slender fish,» Journal of Fluid Mechanics, nº 9, pp. 305-317, 1960.

[5] A. Humphrey, J. Chen, T. Iwasaki, W. Friesen, «Corrections to the theory and the optimal line in the swimming diagram of Taylor (1952),» Journal of The Royal Society Interface, nº 7, pp. 1243-1246, 2010.

[6] M. Lighthill, «Hydromechanics of aquatic animal propulsion,» Annual Review of Fluid Mechanics, nº 1, pp. 413-446, 1969.

[7] M. Lighthill, «Aquatic animal propulsion of high hydromechanical efficiency,»

Journal of Fluid Mechanics, nº 44, pp. 265-301, 1970.

[8] C. Jordan, «Scale effects in the kinematics and dynamics of swimming leeches,» Canadian Journal of Zoology, nº 76, pp. 1869-1877, 1998.

[9] J. Brackenbury, «Kinematics and hydrodynamics of swimming in the mayfly larva,» The Journal of Experimental Biology, nº 207, pp. 913-922, 2004.

[10] D. Ellerby, «The physiology and mechanics of undulatory swimming: a student laboratory exercise using medicinal leeches,» Advances in Physiology Education, nº 33, pp. 213-220, 2009.

[11] W. Kristan, G. Stent, C. Ort, «Neuronal control of swimming in the medicinal leech,» Journal of Comparative Physiology, nº 94, pp. 97-119, 1974.

[12] L. Da Vinci, Notebooks, Oxford: Oxford University Press, 2008.

[13] W. Kristan, R. Calabrese, W. Friesen, «Neuronal control of leech behavior,» Progress in Neurobiology, nº 76, pp. 279-327, 2005.

[14] W. Friesen, W. Kristan, «Leech locomotion: swimming, crawling, and decisions,» Current Opinion in Neurobiology, nº 17, pp. 704-711, 2007.

[15] S. Popinet, «Free computational fluid dynamics,» ClusterWorld, nº 2, pp. 2-8, 2004.

[16] S. Popinet, «Gerris: a tree-based adaptive solver for the incompressible Euler equations in complex geometries,» Journal of Computational Physics, nº 190, pp. 572-600, 2003.

[17] S. Claflin, C. Pien, E. Rangel, K. Utz, H. Walther, A. Wright, D. Ellerby, «Effects of feeding on medicinal leech swimming performance,» Journal of Zoology, nº 277, pp. 241-247, 2009.

[18] R. Tyson, C. Jordan, J. Hebert, «Modelling anguilliform swimming at intermediate Reynolds number: A review and a novel extension of immersed boundary method applications,» Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, nº 197, pp. 2105-2118, 2008.

[19] R. Cortez, L. Fauci, N. Cowen, R. Dillon, «Simulation of swimming organisms: coupling internal mechanics with external fluid dynamics,» Computing in Science & Engineering, nº 6, pp. 38-45, 2004.

[20] M. Triantafyllou, G. Triantafyllou, «An efficient swimming machine,» Scientific American, nº 272.3, pp. 64-71, 1995.

[21] M. Triantafyllou, A. Techet, F. Hover, «Review of experimental work in biomimetic foils,» IEEE Journal of Oceanic Engineering, nº 29.3, pp. 585-594, 2004.

[22] M. Rodríguez, R. Álvarez, L. Szczupak, «Effect of a nonspiking neuron on motor patterns of the leech,» Journal of Neurophysiology, nº 107, pp. 1917-1924, 2012.

[23] K. Nagayama, T. Tanaka, K. Tanaka, H. Hayami, S. Aramaki, «Visualization of flow and vortex structure around a swimming loach by dynamic stereoscopic PIV,» Experiments in Fluids, nº 44, pp. 843-850, 2008.

[24] J. Kajtar, J. Monaghan, «On the dynamics of swimming linked bodies,» European Journal of Mechanics B/Fluids, nº 29, pp. 377-386, 2010.

[25] J. Eldredge, «Numerical simulations of undulatory swimming at moderate Reynolds number,» Bioinspiration & Biomimetics, nº 1, pp. S19-S24, 2006.

[26] J. Chen, W. Friesen, T. Iwasaki, «Mechanisms underlying rhythmic locomotion: body-fluid interaction in undulatory swimming,» The Journal of Experimental Biology, nº 214, pp. 561-574, 2011.

[27] J. Carling, T. Williams, G. Bowtell, «Self-propelled anguilliform swimming: simultaneous solution of the two-dimensional Navier-Stokes equations and Newton's laws of motion,» The Journal of Experimental Biology, nº 201, pp. 3143-3166, 1998.

[28] J. Anderson, K. Streitlien, D. Barrett, M. Triantafyllou, «Oscillating foils of high propulsive efficiency,» Journal of Fluid Mechanics, nº 360, pp. 41-72, 1998.

[29] G. Bowtell, T. Williams, «Anguilliform body dynamics: a continuum model for the interaction between muscle activation and body curvature,» Journal of Mathematical Biology, nº 32, pp. 83-91, 1994.

[30] G. Bowtell, T. Williams, «Anguilliform body dynamics: modelling the interaction between muscle activation and body curvature,» Philosophical Transactions of the Royal Society of London, nº 334, pp. 385-390, 1991.

[31] E. Tytell, «Do trout swim better than eels? Challenges for estimating performance based on the wake of self-propelled bodies,» Experiments in Fluids, nº 43, pp. 701-712, 2007.

[32] D. Barrett, M. Triantafyllou, D. Yue, M. Grosenbaugh, M. Wolfgang, «Drag reduction in fishlike locomotion,» Journal of Fluid Mechanics, nº 392, pp. 183-212, 1999.

[33] C. Jordan, «Coupling internal and external mechanics to predict swimming behavior: a general approach?,» American Zoologist, nº 36, pp. 710-722, 1996.

[34] B. Skierczynski, R. Wilson, W. Kristan, R. Skalak, «A model of the hydrostatic skeleton of the leech,» Journal of Theoretical Biology, nº 181, pp. 329-342, 1996.

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DE UMA SEMISSUBMERSÍVEL NO MOVIMENTO DE HEAVE

Silva de Paula Lopes, Pedro Paludetto[1]; Pontin Tancredi, Thiago[2]

[1]Universidade Federal de Santa Catarina. lopes.paludetto@gmail.com
[2]Universidade Federal de Santa Catarina. thiago.tancredi@ufsc.br

RESUMO.

O presente trabalho tem como objetivo estudar a influência dos parâmetros geométricos de uma plataforma semissubmersível no comportamento no mar da estrutura quando submetida a ação de ondas regulares. O objetivo do trabalho é determinar as características geométricas que mais influenciam no movimento de heave da plataforma, visando estabelecer recomendações para a otimização do projeto de novas unidades. Para isso dois métodos foram utilizados: simulação numérica, utilizando o método dos painéis, e modelagem analítica baseado em modelos existentes na literatura. Ambos os resultados foram então comparados com resultados experimentais apresentados por Garcia (2014) em relação a uma geometria especifica. Foi observado uma aproximação satisfatória entre os resultados analítico, numérico e experimental, validando o modelo analítico desenvolvido. Por fim, uma análise paramétrica foi realizada visando avaliar a influência de parâmetros geométricos da plataforma no movimento em heave, cujos resultados são mostrados na forma de uma matriz de influência.

Palavras-chaves: semissubmersível, heave, simulação numérica, método analítico, comportamento no mar, análise paramétrica.

1. INTRODUÇÃO.

Grande parte das reservas de petróleo encontra-se em águas oceânicas. A descoberta de reservas em águas ultra-profundas (acima de 3000 metros de lâmina d´água) motivam o desenvolvimento de novas pesquisas que viabilizem a exploração desses recursos.

Como exemplo desta motivação, a revista Portos e Navios (2013) cita o programa de pesquisa desenvolvido pela a BG Brasil para viabilizar a exploração de petróleo em águas ultra

profunda, no qual irá investir cerca de US$ 2 bilhões até 2025, ressaltando a importância de estudos nas diversas áreas, dentre elas o estudo de plataformas semissubmersíveis.

Uma plataforma semissubmersível é uma unidade estacionária que apoia a exploração de petróleo em alto mar. A geometria típica desse tipo de unidade consiste em flutuadores distantes da superfície livre (pontoons) estabilizados por colunas verticais.

O presente trabalho segue nessa linha, e visa determinar a influência das dimensões principais no comportamento de *heave* de plataformas do tipo semissubmersíveis. Para alcançar o objetivo principal serão desenvolvidos modelos analíticos e numéricos para uma plataforma semissubmersível que serão comparados com os resultados experimentais para uma geometria específica.

O trabalho se inicia com a elaboração de um modelo analítico que permita determinar o comportamento em *heave* de uma plataforma semissubmersível descrita por meio das suas dimensões principais, baseado em Conti (2009).

Esse modelo analítico será comparado com resultados obtidos por simulação numérica realizada no programa AQWA que utiliza o Método de Difração e também com resultados experimentais disponíveis na literatura.

Por fim, uma vez validado o modelo analítico, será realizado o estudo paramétrico visando construir uma matriz de influência que relaciona as principais características geométricas do casco com o movimento de heave da plataforma.

O trabalho foi dividido em 4 etapas, conforme mostrado na Figura 1.

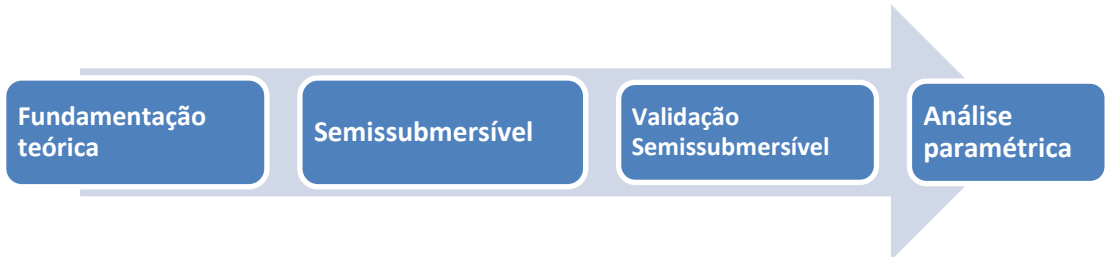


Figura 1 - Modelo esquemático do desenvolvimento e da metodologia do artigo

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

Como o objetivo é comparar diferentes geometrias de plataformas semissubmersíveis, esse trabalho irá ter como foco a determinação da resposta do sistema quando sujeito a ondas regulares, ou seja, a determinação do gráfico de RAO (*Response Amplitude Operator)* correspondente ao movimento de heave do sistema. Portanto, não serão consideradas as entradas do sistema (espectro de mar) e nem o cruzamento espectral.

O desenvolvimento de um método para a previsão das respostas de embarcações quando sujeita a ondas inicia-se pela formulação do problema de condição de fronteira apropriada.

Comumente é assumido que o fluido é ideal, o que quer dizer que ele é invíscido e irrotacional, permitindo que a teoria dos escoamentos potenciais seja utilizada. Esta hipótese pode ser justificada, pois o problema é essencialmente dependente de forças gravitacionais e as forças viscosas têm um papel de menor importância, Fonseca (2014).

Forças Hidrodinâmicas

As forças hidrodinâmicas atuantes em uma plataforma flutuante são divididas em forças de excitação, radiação e restauração como mostra Faltinsen (1990) na Figura 2.

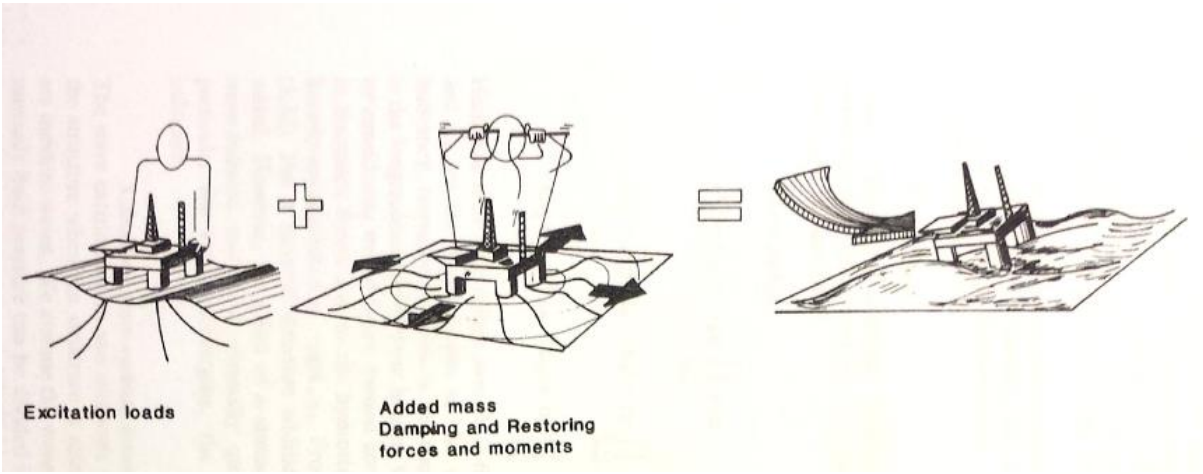


Figura 2 - Forças hidrodinâmicas em uma unidade flutuante. Faltinsen(1990).

As forças de excitação são advindas da excitação sofrida por um corpo em repouso sujeito a uma onda passante. Já as forças de radiação são geradas a partir de ondas radiadas pelo

movimento do corpo em mar calmo, essas forças decorrem da massa adicional, de forças restauradoras e do amortecimento.

A modelagem matemática deste estudo foi feita baseada no equacionamento de Faltinsen (1990). Além de desacoplar as forças em: radiantes e excitantes; o modelo proposto por Faltinsen separa as forças que ocorrem nas colunas daquelas atuantes nos *pontoons* da plataforma.

As forças excitantes consideradas neste trabalho são as forças de Froude-Krylov (FK) que é a integral do campo de pressões próxima ao corpo. A Equação 1 mostra a abordagem de Faltinsen para FK para uma coluna.

$$Fc_n(t)=A_c*A*\rho*g*e^{-kH}*\cos(kx_n-\omega t) \quad (1)$$

Onde Ac é a área de linha d'água, A é a amplitude da onda excitante (neste artigo serão consideradas amplitudes unitárias), k é o número de onda, H é o calado da plataforma, x_n é a distância longitudinal da coluna com o centro geométrico da plataforma, ω é a frequência de excitação e t o tempo.

A Equação 2 mostra o equacionamento de Faltinsen para Froude-Krylov nos *pontoons.*

$$Fpn= -\omega^2*A* e^{k*\left(h-\frac{hp}{2}\right)}* \rho*A_p*h_p* \sin(\omega t-kX_n) \quad (2)$$

Hp é a altura da secção transversal do *pontoon* e Ap a área da secção longitudinal do pontoon descoberta (não considera a área comum com as colunas).

As forças radiantes podem ser entendidas como sendo a integral do campo de pressões distante ao corpo que Faltinsen (1990) chama de força de difração (Equação 3).

$$Fpn= -\omega^2*A* e^{k*h}* Cm*H_p* \sin(\omega t-kX_n) \quad (3)$$

Onde Cm é o coeficiente de massa adicional.

A Equação 3 é genérica devendo ser considerado os parâmetros para cada elemento da geometria. No entanto, pode-se, eventualmente desconsiderar a força de difração que ocorre nas colunas, visto que o principal elemento gerador de forças de difração são os pontoons.

Frequência Natural.

A determinação da frequência natural de um sistema dinâmico é feita através da Equação 4, que relaciona a rigidez do sistema com a inércia. No caso do movimento de heave de um corpo flutuante, a rigidez do sistema é proporcional a área de linha d´água, enquanto a inércia é proporcional ao deslocamento do sistema.

$$\mathrm{Wn}_{heave,\mathrm{col}} = \sqrt{\frac{\mathrm{Rigidez}}{\mathrm{Inércia}}} = \sqrt{\frac{\mathrm{Rcol}^2 * \pi * g * \rho}{(\nabla + \nabla_a) * \rho}} \tag{4}$$

RAO.

Para gerar o gráfico RAO de *heave* de um sistema flutuante é utilizada a clássica Equação 5:

$$\mathrm{RAO}(\omega) = \frac{Fa}{k} * \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + \left(2 * \zeta * \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \tag{5}$$

Onde ω é a frequência de excitação, ω_n a frequência natural do sistema, Fa é a máxima força hidrodinâmica que ocorre na passagem da onda regular de frequência ω, k é a rigidez da plataforma e ζ é o fator de amortecimento (potencial) do sistema.

Método dos Painéis

Como mencionado na introdução, o modelo analítico será comparado com os resultados obtidos a partir de simulações numéricas feitas com a ferramenta AQWA do programa ANSYS®. Essa ferramenta utiliza o método dos painéis que, segundo Chaves (2012), foi uma das primeiras implementações de mecânica dos fluidos computacional. O método consiste na resolução de equações diferenciais que regem a interação de fluidos em superfícies discretizadas.

3. DESENVOLVIMENTO.

Neste capítulo será mostrado a modelagem matemática para o movimento em *heave* de uma plataforma semissubmersível conhecida, seguida da simulação computacional da mesma geometria.

A plataforma escolhida foi a plataforma GVA 4000, cujas características de projeto foram retiradas de Garcia(2014), cujas características geométricas são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de parâmetros geométricos da plataforma GVA 4000

Característica	Sigla	Valor	
Largura da secção do Flutuador	Bp	16	m
Altura da secção do Flutuador	Hp	7.5	m
Área da Seção da Coluna	Ac	130.7	m²
Raio da Coluna	Rcol	6.45	m
Comprimento do Flutuador	Lp	85.6	m
Largura da Plataforma	B	76.8	m
Calado da Plataforma	H	20.5	m
Deslocamento	Δ	25942750	kg
Distância entre eixos dos Flutuadores	Xn	54.72	m
Comprimento do Flutuador Descoberto	Ld	41.82	m
Área de Linha d´água	Awl	522.79	m²
Área Superior/Inferior do Flutuador	-	1234.0	m²
Área Superior/Inferior do Flutuador Descoberta	Ap	972.6	m²
Altura da Coluna Submersa	Hc	13.0	m

A Tabela 2 mostra os parâmetros dinâmicos da plataforma GVA 4000.

Tabela 2 - Parâmetros dinâmicos da plataforma GVA 4000.

Característica	Sigla	Valor	
Massa adicional total	∇a	36915316	Kg
Raio de Giração – Rx	Rx	29.6	m^4
Raio de Giração – Ry	Ry	27.3	m^4
Raio de Giração – Rz	Rz	31.2	m^4
Frequência Natural	Wn	0.289	rad/s
Fator de Amortecimento	Z	0	

Frequência Natural.

A determinação da frequência natural foi feita através da Equação 5.

$$\mathrm{Wn}_{heave,\mathrm{col}} = \sqrt{\frac{\mathrm{Rigidez}}{\mathrm{Inércia}}} = \sqrt{\frac{\mathrm{Rcol}^2 * \pi * g * \rho}{(\nabla + \nabla_a) * \rho}} \qquad (5)$$

Onde Rcol é o raio da coluna, ∇ o volume deslocado e ∇a o volume deslocado adicional. O numerador refere-se a rigidez da estrutura no grau de liberdade analisado, enquanto que o denominador refere-se a inércia do sistema.

Método Numérico.

No método numérico foram gerados gráficos de Froude-Krylov para colunas e para flutuadores, força de difração para colunas e flutuadores, força total da semissubmersível e RAO da plataforma.

O modelo computacional utilizado pode ser visto na Figura 3. A malha foi gerada pelo software e conta com 5587 elementos de 6,25m² cada, representando 0,057% da área superficial total do modelo.

A modelagem considerou ondas incidindo de través na plataforma, ou seja, perpendicular ao comprimento dos flutuadores. Essa escolha foi feita com base na simplificação dos cálculos no modelo analítico. Para um modelo de onda com incidência longitudinal deve-se considerar a variação de pressões ao longo do comprimento dos flutuadores.

Para a simulação da semissubmersível não foi feito refinamento nas frequências. Foram consideradas 40 frequências espaçadas igualmente num intervalo de 0,1 à 1,4 rad/s.

Para facilitar a análise e verificação, as forças resultantes da interação das ondas com a estrutura da plataforma serão desacopladas, para que cada elemento possa ser comparado separadamente.

Método Analítico.

Para gerar o gráfico de RAO de heave é necessário o cálculo da força resultante máxima da interação da onda com a estrutura. O cálculo da componente de FK foi descrito nas Equações

1 e 2. Como o foco do trabalho será na análise de RAO, considera-se sempre uma onda de amplitude unitária como mencionado na revisão bibliográfica.

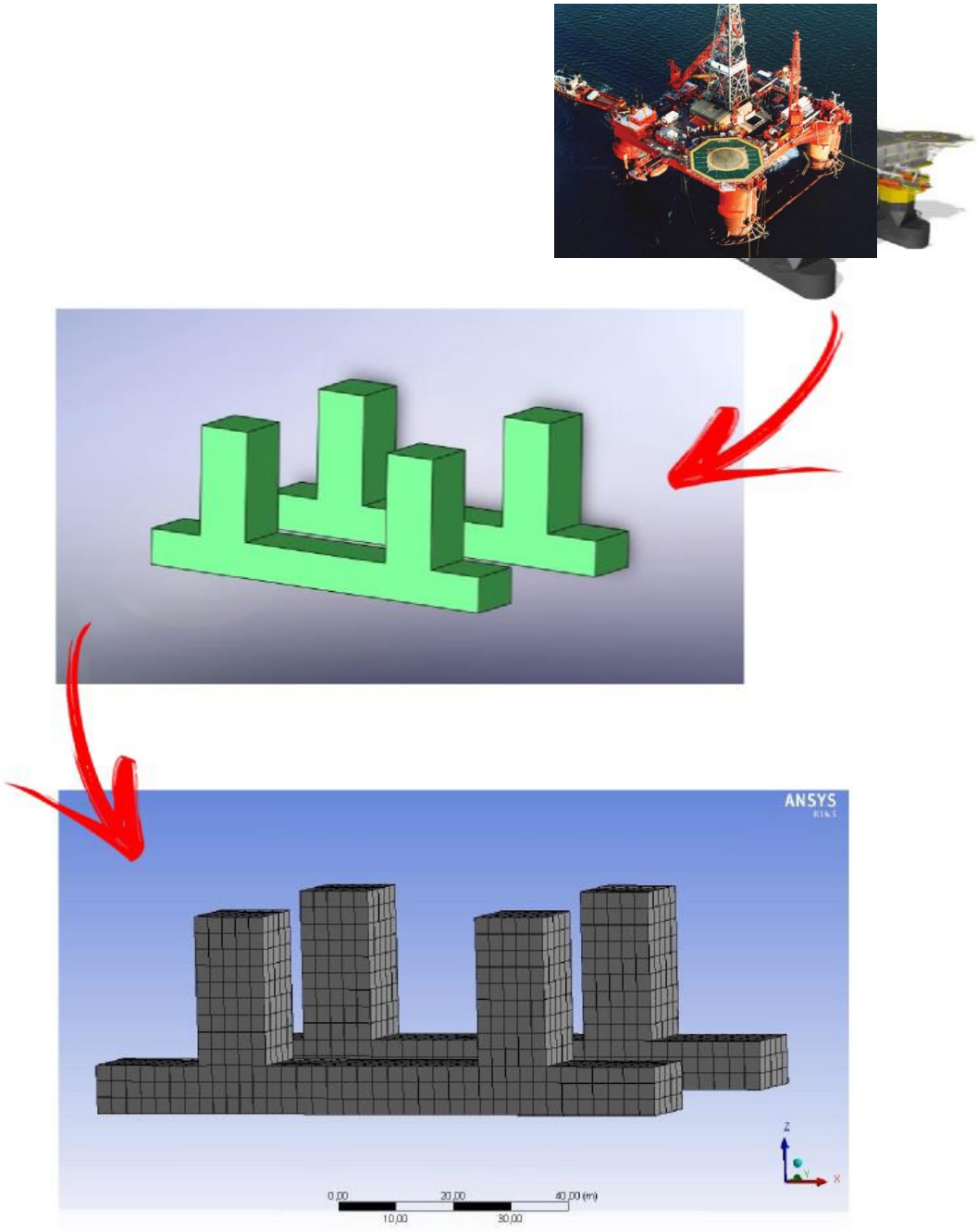


Figura 3 – Modelagem computacional da GVA 4000 no ANSYS.

O cálculo da força foi feita num tempo de 0 a 1100 s com passo de 1 segundo para cada uma das 29 frequências de onda. A Figura 4 mostra quatro simulações no tempo para quatro diferentes frequências atuantes nas colunas da plataforma.

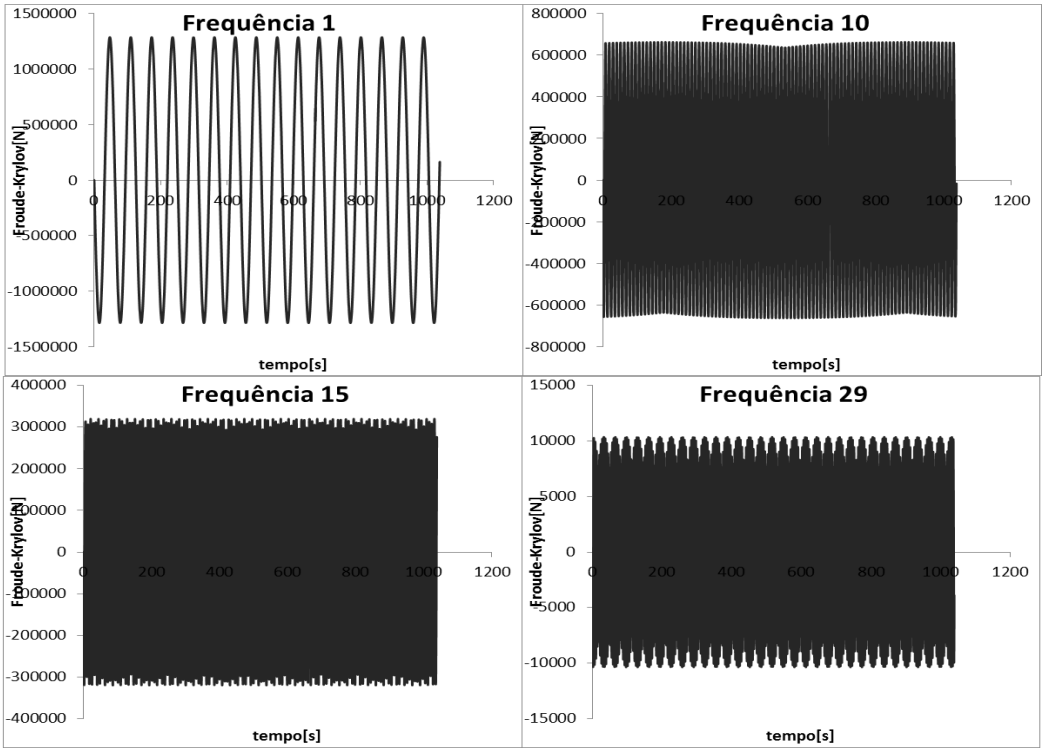


Figura 4 - Simulações da força FK nas colunas no domínio do tempo

Na Figura 5 é mostrado o gráfico de força máxima de FK em função da frequência de excitação, destacando-se as 4 frequências analisadas na Figura 4.

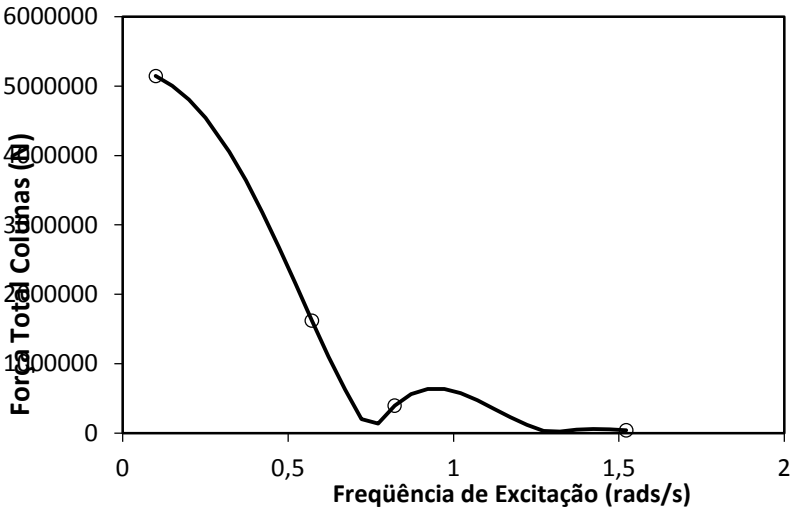


Figura 5 - Gráfico de força máxima de Froude Krillof em função da frequência.

Este mesmo procedimento foi feito para as forças de FK nos *pontons*, e para as forças de difração para colunas e pontoons.

Por fim, após gerados todos os gráficos das forças hidrodinâmicas, somaram-se as parcelas fazendo o ajuste de fase apropriado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

Neste capítulo, é mostrado o gráfico de RAO gerado pelo modelo matemático desenvolvido, bem como os gráficos gerados pelo método numérico. Ainda foi validado de acordo com o modelo experimental ensaiado por GARCIA (2014).

A Figura 6 mostra o gráfico comparativo dos RAOs analítico numérico e experimental. O gráfico inicia em '1', o que é o esperado em um RAO de heave de um semissubmersível pois para frequências muito baixa a plataforma se move em sincronia com a onda. O pico do gráfico ocorre quando a frequência de excitação atinge a frequência natural ocorrendo a ressonância. O primeiro ponto de anulamento ocorre quando as forças excitadoras se anulam com as forças radiantes da plataforma. O segundo ponto de máximo ocorre quando a onda atinge as colunas em duas cristas como mostra a Figura 7.

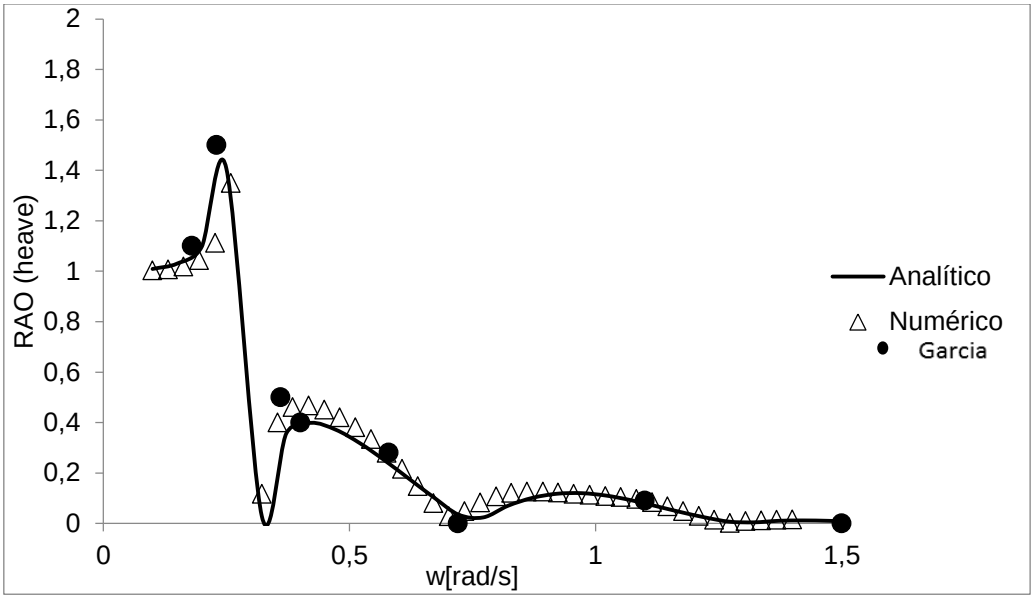


Figura 6 - Comparação experimental, numérica e analítica da plataforma GVA 4000.

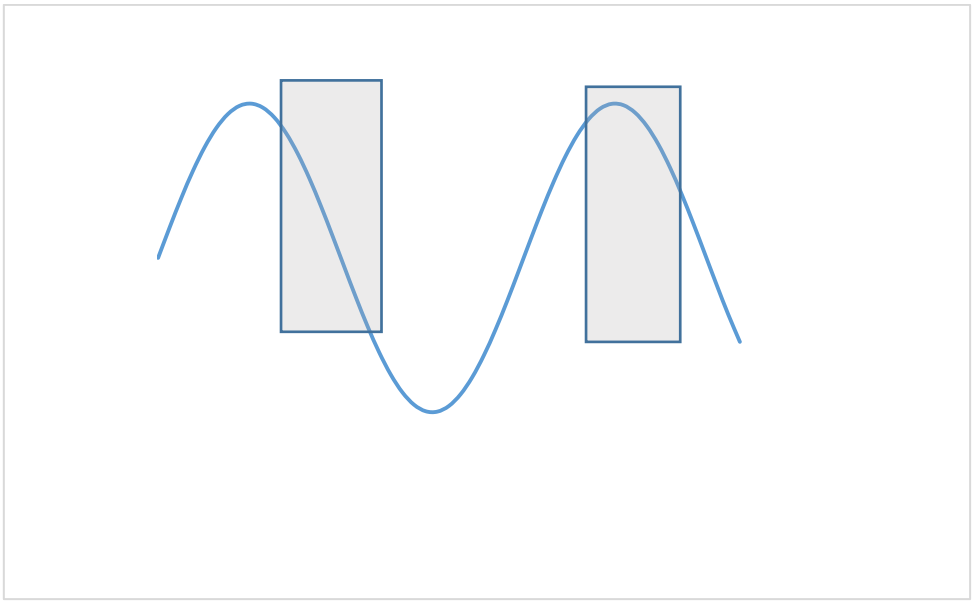


Figura 7 - Comprimento de onda e distância entre colunas, nos pontos de máximo

O segundo ponto de anulamento ocorre quando em um par de colunas a onda é uma crista e no outro par um vale. (Figura 8)

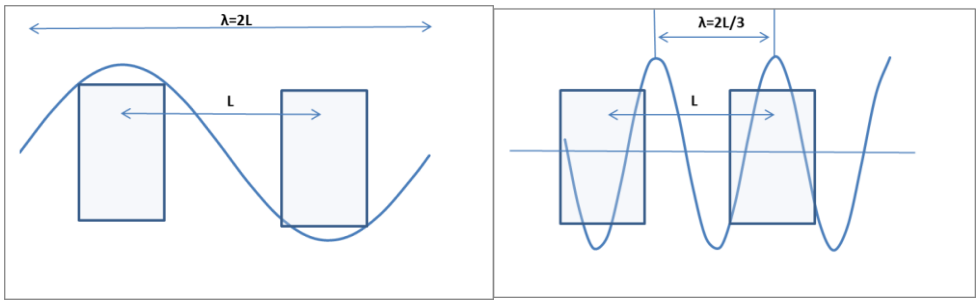


Figura 8 - Comprimento de onda e distância entre colunas, dois pontos de anulamento

O gráfico tende a zero para altas frequências de excitação pois como o período é muito pequeno e a plataforma possui grande inércia, a incidência da onda não é suficiente para movimentá-la.

5. ANÁLISE PARAMÉTRICA.

Neste capítulo será apresentada a análise paramétrica do movimento de *heave* da plataforma utilizando o modelo matemático, onde serão variados os parâmetros: raio das colunas (Rcol); altura da coluna submersa (Hc); razão de aspecto da seção dos flutuadores (RA); amortecimento potencial do sistema (ζ) e da distância entre flutuadores (Xn).

Raio da Coluna.

A Figura 9 mostra a variação do RAO com a variação do raio da coluna. Pode-se analisar que a frequência natural do sistema desloca-se para a direita, isso ocorre pois a rigidez aumenta mais do que o volume com o aumento do Raio da Coluna.

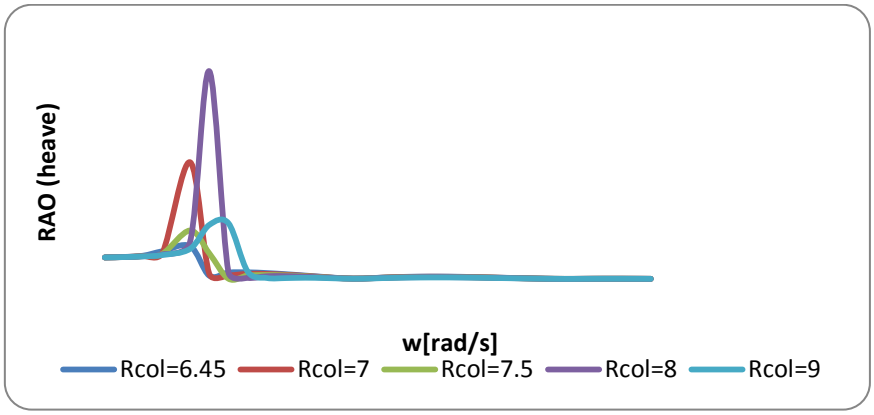


Figura 9 - RAO analítico da semissubmersível variando o raio da coluna

Altura das Colunas.

Outro parâmetro analisado foi o de comprimento das colunas. Neste caso percebeu-se que a variação do comprimento das colunas deslocou os picos do RAO para a esquerda, diminuindo a frequência natural dos sistemas (Figura 10). Esse comportamento condiz com a fundamentação teórica, visto que o aumento da altura submersa das colunas aumenta a massa do sistema sem aumentar a rigidez ao movimento de *heave*, reduzindo, portanto, a frequência natural deste grau de liberdade.

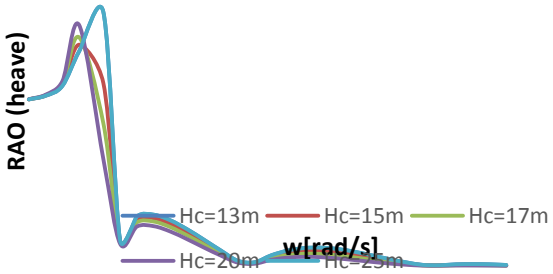


Figura 10 - RAO analítico da semissubmersível variando com a altura das colunas.

Distância entre Flutuadores.

Nesta análise foram gerados cinco gráficos variando a distância entre colunas de 54,72m até 100 metros. A Figura 11 mostra a variação do RAO em função da variação deste parâmetro.

A partir dos gráficos pôde-se constatar que a frequência natural não se altera. Isto ocorre, pois a frequência natural depende da inércia e da rigidez, o aumento da distancia entre flutuadores não acarretará em mudanças desses parâmetros, fazendo com que as frequências naturais permaneçam constantes.

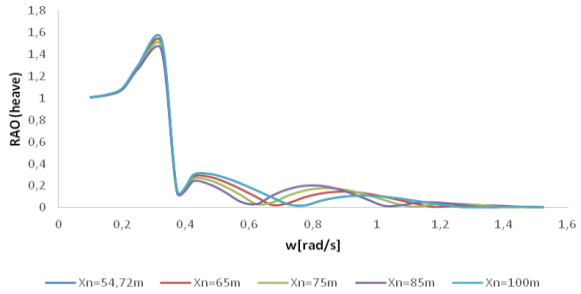


Figura 11 - RAO analítico da semissubmersível variando a distância entre os flutuadores

A principal influência que a distância entre os flutuadores gera é nos pontos de anulamento do gráfico. Isto ocorre, pois o comprimento da plataforma varia e assim, para cada plataforma o anulamento do movimento em *heave* irá ocorrer em uma frequência diferente.

Amortecimento.

A Figura 12 mostra a variação do RAO em função do amortecimento potencial do sistema. Observa-se que o pico do RAO é reduzido com o aumento do fator de amortecimento do sistema.

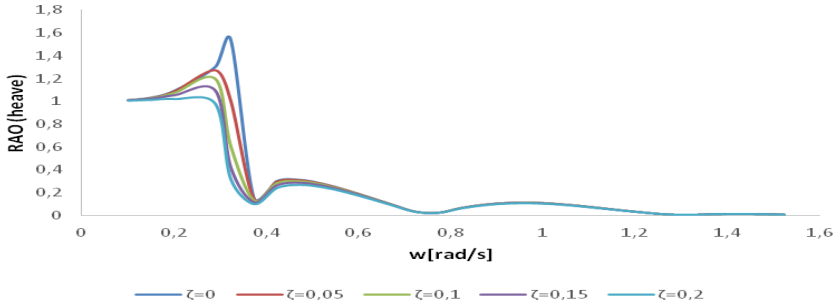


Figura 12 - RAO analítico da semissubmersível variando o amortecimento

Com esse abaulamento do pico, ocasionado pelo amortecimento, a tendência é que a frequência natural seja deslocada para esquerda no gráfico.

Razão de Aspecto.

Para finalizar as análises paramétricas foi feito uma análise da influência da geometria do flutuador. O parâmetro variado neste caso foi a razão de aspecto que é a razão da largura da secção do flutuador dividido pelo altura da secção do flutuador. A variação da razão de aspecto foi feita de tal forma que o deslocamento se conservasse em todas as variações.

Como resultado disso foram gerados os gráficos de RAO mostrados na Figura 13. Observa-se que a variação da razão de aspecto do pontoons não afeta a rigidez e nem a massa do sistema, e portanto, não modifica a frequência natural. No entanto, a modificação da razão de aspecto da secção do pontoon modifica o fator de amortecimento e por isso, modifica o pico do RAO.

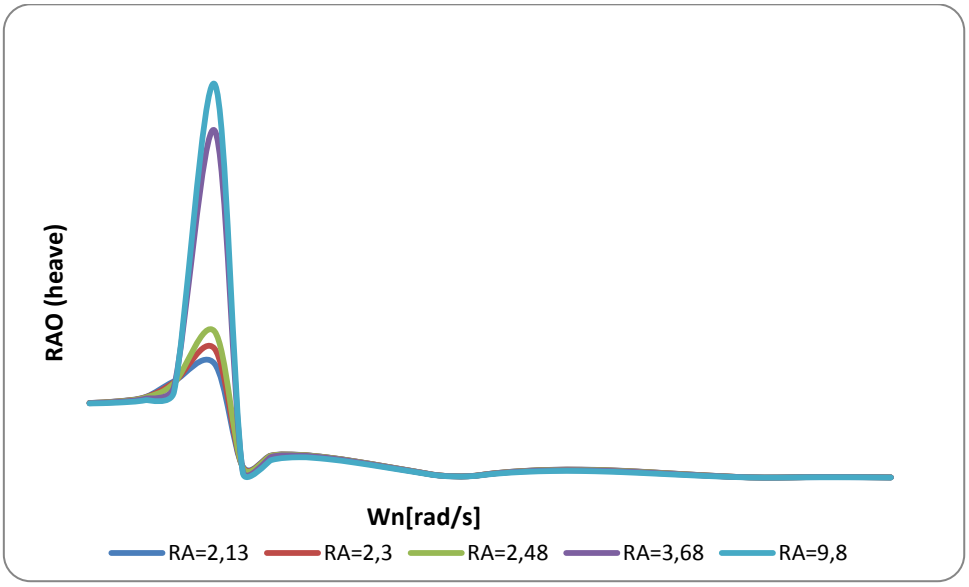


Figura 13 - RAO para variação de Razão de Aspecto

6. CONCLUSÕES.

Neste estudo pôde-se constatar que os métodos analíticos para a determinação do movimento em *heave* aderiram bem à simulação numérica, sendo coerentes com os resultados experimentais disponíveis na literatura.

Uma vez validado o modelo analítico, pôde ser realizada a variação paramétrica, que permitiu determinar a influência dos parâmetros geométricos no comportamento de heave de uma plataforma semissubmersível.

As análises paramétricas mostraram as influências dos parâmetros (raio e altura das colunas, razão de aspectos dos flutuadores, distância entre os flutuadores e amortecimento) no comportamento de *heave* de uma plataforma semissubmersível.

O raio das colunas mostrou uma grande influência na frequência natural da plataforma. Por outro lado, a altura das colunas mostrou-se inversamente proporcional à frequência natural. Isso ocorreu pois ao aumentar a altura das colunas aumenta-se o deslocamento e massa adicional do sistema, os quais são inversamente proporcionais à frequência natural. Conclui-se também que a frequência natural não decai para o aumento da altura como cresce para o aumento do raio das colunas, isso se dá pois o raio da coluna é elevado a quarta potência enquanto a altura é elevado à potencia 1, ambos dentro da raíz.

O parâmetro distância entre os flutuadores mostrou-se determinante para os pontos de anulamento do sistema, o que pôde ser visto nos gráficos de RAO da análise paramétrica.

Tanto a razão de aspecto quanto o amortecimento apresentaram uma tendência semelhante de diminuir o pico do sistema. Porém a altura de pico não é um parâmetro de grande importância neste trabalho, não foram constatadas grandes conclusões sobre estes parâmetros.

A conclusão final deste trabalho foi a geração de uma matriz de influência dos parâmetros geométricos de uma plataforma semissubmersível, mostrada na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise da influência dos parâmetros hidrodinâmicos

	Rigidez	**Δ**	**Δa**	**Wn**	**Pico do RAO**
Rcol↑	Alta↑	Alta↑	Alta↑	Alta↑	Baixa↑
Hc↑	Nula	Média↑	Média↑	Média↓	Baixa↑
Xn↑	Nula	Nula	Nula	Nula	Baixa↓
ζ↑	Nula	Nula	Nula	Média↓	Alta↓
RA↑	Nula	Nula	Nula	Média↓	Alta↓

A matriz de influência apresentada na Tabela 3 permite que novos projetos possam ser facilmente otimizados para minimizar o movimento de heave, reduzindo o downtime e aumentando a produção e a segurança da plataforma.

7. REFERÊNCIAS.

BIRK, Lothar. On the Shape Optimizations of Semisubmersibles: Schiffstechnik. Ship Technology Research. New Orleans, p. 166-176, 2008.

CHAKRABARTI, S. et al., 2007, Design Analysis of a Truss Flutuador Semi-Submersble Concept in Deep Water. Ocean Engineering, v. 34, p. 621-629.

CHAKRABARTI, S. 2003 “Hydrodynamics of Offshore Structures”, WIT Press, Southampton, UK.

De CONTI, M B; ANDRADE, B L. R.; BIRK, Lothar. Differentiation Between the Lower and Upper Parts of Columns of Semi-Submersibles for Heave Response Improvement. Marine Systems Ocean Technology. São Paulo, p. 63-72. 2009.

DNV OCEAN: Environmental Conditions And Environmental Loads. (2008), Det Norske Veritas. p.128.Appendix D.

FALTINSEN, O.M. (1990) “Sea Loads on Ships and Offshore Structures”, Cambridge University Press, Cambridge, UK

Fujarra, A. (2009). Dinâmica de Sistemas : Módulo 2 – Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil.

GARCIA, Edgard Enrique Mulford. Procedimento para determinação experimental de carregamentosexternos para o projeto estruturalde uma plataformaSemissubmersível. 2014. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Engenharia Naval, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

HOSAAS, A. Concepção Otimizada De Semissubmersível Visando Oscilações Verticais Mínimas Sob Excitação De Ondas. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Naval, Departamento de Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PEREIRA, V.M.S. Análise Da Resposta Dinâmica Do Tubo Vertical Do Sistema De Riser Suspenso E Ancorado Por Amarras (RSAA). 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Naval, Departamento de Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

ESTUDO PARAMÉTRICO DE RESISTÊNCIA AO AVANÇO DE UMA LANCHA DE 26 PÉS: MÉTODO SAVITSKYS

Marin, Guilherme[1]; Arrigone Iervolino, Lucas [2]; Thiago PontinTancredi[3]

[1]Universidade Federal de Santa Catarina. guimarin@outlook.com

[2]Universidade Federal de Santa Catarina. lucas.iervolino@gmail.com

[3]Universidade Federal de Santa Catarina. thiago.tancredi@ufsc.br

RESUMO.

Embarcações planantes são associadas a um elevado número de Froude, ou seja, embarcações que desempenham altas velocidades. a navegação em altas velocidades, de maneira geral, está associada a um alto consumo de combustível. uma possível redução na resistência possibilita navegar com velocidades mais elevadas com uma mesma motorização ou permite uma redução na potência, ocasionando uma redução nos custos operacionais ou ainda, uma maior autonomia. o presente trabalho inicia com uma revisão bibliográfica sobre a resistência ao avanço, para determinar os principais parâmetros que influenciam na resistência de uma embarcação planante, para, na sequência, quantificar a influência desses parâmetros através da implementação do método de Savitsky em uma planilha Excel. a análise da influência dos parâmetros ocorre por meio de uma variação paramétrica sistemática, utilizando uma embarcação de 26 pés como base. essa análise possibilita o direcionamento do projeto, visando um aumento da eficiência do sistema propulsivo, garantindo o não desenvolvimento de porpoising. os resultados obtidos, assim como as possíveis variações dos parâmetros que mais influenciam na resistência ao avanço, são amplamente discutidos no decorrer do trabalho.

Palavras-chaves: resistência ao avanço, método de Savitsky, análise paramétrica, embarcações planantes.

1. INTRODUÇÃO.

É possível separar os diversos tipos de embarcações em três categorias: deslocantes, semi-deslocantes e planantes. Considerando o comportamento hidrodinâmico é possível afirmar que cascos deslocantes são sustentados inteiramente por forças hidrostáticas, enquanto os cascos semi-deslocantes são sustentados por uma mistura de forças hidrostáticas e forças de sustentação dinâmicas, enquanto os cascos planantes são totalmente sustentadas por forças de sustentação dinâmicas (MOLLAND, 2011).

O projeto de embarcações de alta velocidade, em geral, são associados à cascos planantes e é realizado de maneira iterativa e sequencial buscando atender aos requisitos e restrições (operacionais e geométricas).

Uma das etapas do projeto de uma embarcação é a determinação da potência a ser instalada visando, alcançar os requisitos de desempenho e a autonomia do projeto. Os desafios dessa fase do projeto iniciam-se com a determinação da resistência ao avanço do casco, considerando-se diferentes velocidades de operação. Essa determinação pode envolver a utilização de técnicas experimentais, métodos numéricos, analíticos e empíricos. Em geral, essas análises envolvem considerações acerca do comportamento hidrodinâmico da embarcação, originado da interação casco-fluido.

A relação velocidade e potência de uma embarcação são indispensáveis, pois influenciam no custo da embarcação. O custo inicial da motorização instalada é seguido pelo custo de manutenção e de operação, principalmente combustível (Blount, 1976).

Portanto, a redução na potência tem impacto direto no consumo de combustível, o que pode diminuir significativamente os custos operacionais da embarcação ou aumentar sua autonomia. Por outro lado, mantida a mesma motorização, a lancha pode atingir velocidades mais elevadas, um dos principais requisitos desejados pelo proprietário de lanchas.

O presente trabalho utiliza o método de Savitsky cuja aplicação é efetuada por meio de uma planilha Excel, para realizar uma análise paramétrica visando determinar a influência de cada parâmetro na resistência ao avanço da embarcação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

Os primeiros estudos acerca da predição da resistência ao avanço e à potência de embarcações datam de 1870, desenvolvidos por W. Froude. Com a utilização de ensaios em modelos Froude percebeu que as ondas geradas para cascos com formas geométricas semelhantes, apresentaram padrões similares para determinadas velocidades. Com base nisso, ele propôs que a resistência total na embarcação fosse dividida em duas parcelas, uma predominante devido às ondas geradas pelo deslocamento do casco e outra devido à interação viscosa da superfície do casco com o fluido, dando início aos estudos de resistência ao avanço do casco.

Além dos estudos que envolveram métodos de estimativa da resistência ao avanço para cascos deslocantes, estudos paralelos sobre superfícies planantes tiveram início com Baker, 1912, publicando os primeiros resultados experimentais sobre a resistência ao avanço de superfícies que desenvolviam forças de sustentação vertical. Seguido de Baker, vieram diversos nomes que contribuíram para o estudo de cascos planantes, Sottorf e Shoemaker no ano de 1934 Sambraus em 1938, Sedov em 1947 e Locke em 1949. Essas publicações contribuíram para formação de uma base de dados de teste que descreviam características hidrodinâmicas para placas planas operando com trim e área molhada fixa, *deadrise* e velocidades constantes.

Embora os resultados existentes construíssem uma base de dados sobre o arrasto de placas planas com sustentação hidrodinâmica, carecia-se de modelos empíricos que pudessem descrever os resultados, relacionando as diversas variáveis do problema: sustentação hidrodinâmica, arrasto, momento de *pitching* e área molhada. Foi então que em 1947, patrocinado pela Marinha Norte Americana, o Instituto de Tecnologia Stevens, no Laboratório Davidson, publicou 16 relatórios técnicos referentes a superfícies planantes, que consideravam sustentação, arrasto, área molhada, distribuição de pressão, forças de impacto, forma de esteira, formação de spray e estabilidade dinâmica.

Daniel Savitsky iniciou sua pesquisa, na área militar, estudando hidroaviões e barcos planantes, patrocinado pela Marinha Norte Americana, no laboratório Davidson do Instituto de Tecnologia de Stevens. Em 1949, junto com Korvin-Kroukovsky publicou um estudo completo sobre arrasto, sustentação e área molhada no planeio. Em 1954, junto com Neidinger, desenvolveu formulações empíricas para variáveis paramétricas de planeio, muito além daqueles já desenvolvidos. Para então com os resultados dos estudos obtidos publicar em 1964 um trabalho que combina as características hidrodinâmicas de uma superfície

prismática plana com um procedimento computacional para estimar a potência de uma embarcação. É interessante observar que, já neste trabalho, Savitsky preocupa-se com o não desenvolvimento de *porpoising*, durante o regime de operação de cascos planantes.

Sem dúvida os trabalhos de Savitsky compõem os fundamentos teóricos de maior importância para o desenvolvimento aqui apresentado.

2.1. Caracterização de embarcações planantes.

Na Figura 1 é possível observar as principais linhas do casco que definem uma embarcação de alta velocidade.

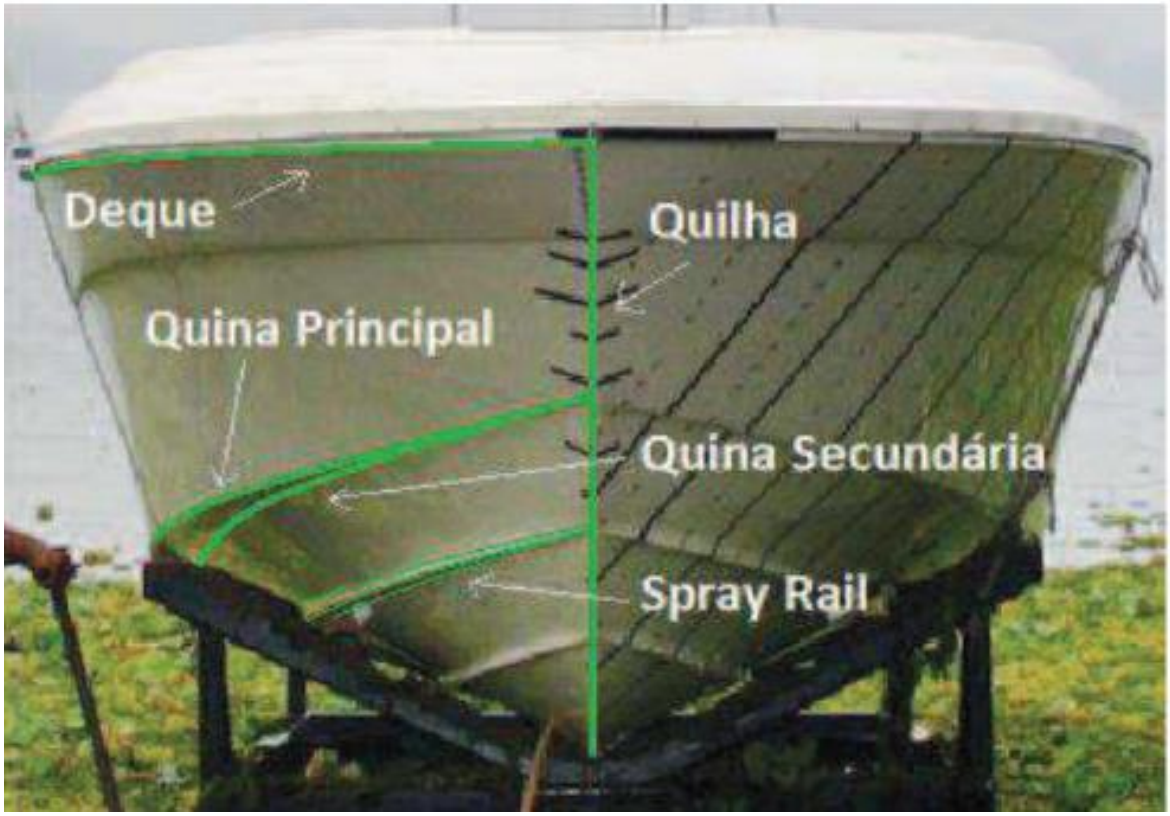


Figura 1 - Principais linhas de um casco planante Fonte: SANTOS, 2014.

O casco de uma embarcação planante tem o chamado formato em "V". Nessa secção serão apresentados os principais ângulos que determinam esse formato, assim como suas principais dimensões.

A Figura 2 apresenta o principal ângulo que determina o formato da embarcação, destacado em vermelho, o ângulo β é o ângulo de *deadrise*. Esse ângulo varia ao longo da embarcação,

sendo valores menores na popa sofrendo incrementos até a proa. O valor desse ângulo também caracteriza os locais para os quais a lancha foi desenvolvida para navegar. Em que valores menores (em torno de 17º) são para águas abrigadas e ângulos maiores (19º) começam a caracterizar embarcações para navegação em águas abertas.

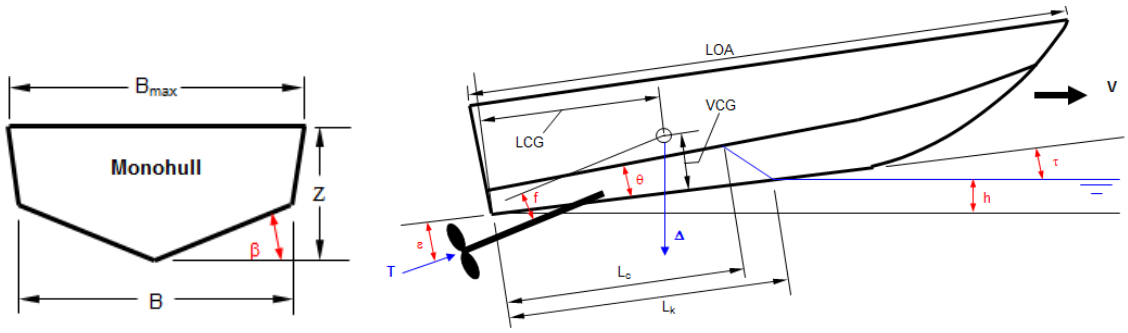


Figura 2 - Casco em formato "V". Fonte: SAVITSKY, 1964.

A Figura 2 apresenta a vista lateral da embarcação e destaca outro ângulo de extrema importância para uma embarcação de planeio, que é o ângulo de trim (τ). O ângulo de trim determina o ângulo em que a embarcação está inclinada, em relação à água, influenciando na navegação e estabilidade. A Figura 2 mostra ainda as principais dimensões e outros ângulos existentes em embarcações planantes.

As definições de cada um dos ângulos e das distâncias são apresentadas a seguir:

L_{WL} – comprimento linha d'água estática;
B – boca medida entre as quinas principais;
VCG – distância vertical entre o centro de gravidade (CG) e a quilha;
LCG – distância longitudinal entre CG e a quina da quilha na popa;
Δ – deslocamento;
β_T – ângulo de *deadrise* na popa transom;
$\beta_{)0(}$ - ângulo de *deadrise* à meia nau;
$L_{)0(}$ - distância até meia nau;
Lk – comprimento molhado até a quilha;
Lc – comprimento molhado até a quina principal
θ – ângulo entre a quilha e a quina principal;
ε – ângulo entre a quilha e a linha de operação do propulsor;
f – distância entre a linha de operação do propulsor até o VCG;

τ – ângulo de *trim*: ângulo entre a linha d'água e a quilha;

h – imersão da popa transom.

É importância ressaltar que a boca é a principal dimensão que adimensionaliza os coeficientes hidrodinâmicos do Método de Savitsky, diferentemente de barcos deslocantes em que utiliza-se o comprimento. O motivo dessa abordagem é que para barcos planantes o comprimento molhado varia conforme o *trim*, o carregamento e a velocidade do barco, enquanto a boca permanece constante.

2.2. Porpoising.

Porpoising é um fenômeno particular para cascos planantes de altas velocidades que ocorre ao navegar em águas calmas. É uma combinação de oscilações na embarcação em movimentos de *pitch* e *heave*, que pode levar a danos estruturais devido ao choque da embarcação contra a água. Essa instabilidade longitudinal já resultou em diversos acidentes e é um dos grandes problemas para embarcações planantes.

Os problemas ocorridos com *porpoising* têm registros em 1930, com designers de hidroaviões. Perring e Glauert, na Inglaterra, em 1933, desenvolveram uma teoria sobre a instabilidade por *porpoising*.

Em 1942, Sottorf, conduziu um estudo em modelos em que previu que os limites de *porpoising* poderiam ser facilmente previstos, através de coeficientes básicos de planeio, Cv, C_L e ângulo de *trim*. Nos Estados Unidos, Davidson, Locke, Benson e Parkinson, em meados dos anos 40, conduziram estudo sistemático experimental sobre limites de *porpoising* para hidroaviões e confirmaram que os limites poderiam ser determinados a partir de coeficientes básicos de planeio.

Então em 1952, Day e Haag, geraram uma série sistemática de testes com ângulo de *deadrise* constante para superfícies prismáticas, a fim de determinar os limites de *porpoising* para cascos planantes. O objetivo de (Day e Haag, 1952) era fornecer limites para *porpoising,* a partir de características do barco como: ângulo de *trim*, velocidade, peso e ângulo de *deadrise*.

Basicamente, os resultados do estudo sobre *porpoising* mostram que para um dado ângulo de *deadrise* há uma relação específica entre o ângulo de *trim*, τ e o coeficiente de sustentação,

C_L, que definem o início da instabilidade por *porpoising*. As combinações de τ e C_L que estão abaixo dos limites da curva indicam condições estáveis para operação, enquanto aqueles, acima da linha indicam a existência da instabilidade por *porpoising*.

É constatado que conforme o coeficiente de sustentação diminui, o que insinua um casco levemente carregado ou uma alta velocidade de planeio, o ângulo de *trim* para o limite de estabilidade também diminui. Ainda é possível com o aumento do ângulo de *deadrise* aumentar o ângulo de *trim* adiando, o início da instabilidade. Caso em uma situação o barco esteja sofrendo de instabilidade por *porpoising* para dada velocidade e carregamento, a primeira medida a se tomar é reduzir o ângulo de *trim* para evitar danos à embarcação. A redução no ângulo de *trim* pode ser obtida de diversas maneiras. Uma delas é movendo o centro logintudinal de gravidade avante da embarcação. Caso isso não seja possível, a adição de um flap na popa pode reduzir o *trim* com uma pequena adição de resistência na embarcação.

É possível agora realizar a comparação entre o ângulo de *trim* para evitar a instabilidade devido ao *porpoising* com o ângulo de *trim* que resulta na menor resistência. Observa-se que ângulos de aproximadamente 4º a 5º resultaria na menor razão arrasto-sustentação. Nesse caso os limites de *porpoising* requerem um ângulo de *trim* entre 1º a 2º para operação estável. Portanto, devido aos limites de operação sacrifica-se um pouco a resistência e opera-se a ângulos de *trim* que garantem a integridade da embarcação.

3. DESENVOLVIMENTO.

Determinados os efeitos hidrodinâmicos decorrentes da resistência ao avanço para embarcações planantes e os parâmetros presentes nesses tipos de embarcação, será realizado a estimativa da resistência ao avanço por meio de uma planilha Excel, que implementa o Método de Savistky.

A planilha reproduz os trabalhos de Savitsky com modificações em algumas formulaçõses de autores como Hadler (1966), Lawrence (1985), Lewandowski (1996), Blount e Bartee (1997). As modificações se dão devido a estudos mais recentes ou em áreas que não foram contempladas por Savitsky.

A planilha é composta por diferentes partes da embarcação, sendo elas: casco, superestrutura e sistema propulsivo, que inclui a quantidade de propulsores, estabilizadores, leme, transmissão e pé de galinha.

Os valores a serem preenchidos referentes ao casco são: comprimento da linha d'água (L_{WL}), boca (B), centro vertical de gravidade (VCG), deslocamento (Δ), ângulo de *deadrise* na popa transom (β_T), ângulo de *deadrise* a meia nau ($\beta_{)o(}$), ângulo na linha do propulsor (ε), distância na linha do propulsor até o centro vertical de gravidade (f), centro longitudinal de gravidade (LCG) e velocidade (V).

O primeiro dado de entrada é o comprimento na linha d'água, que para embarcações planantes tem pouca influência, se comparado às embarcações deslocantes. Ainda assim, é determinante para o início do regime de planeio, pois considera-se que o regime só inicia quando a razão de comprimento na linha d'água pela boca seja menor do que a razão comprimento-boca molhada (Savitsky, 1976).

O segundo dado de entrada, não parametrizado, é o centro vertical de gravidade. A influência do VCG é exclusivamente na estabilidade da embarcação em *pitch* (Hadler, 1966) e na estabilidade de *roll* (Lewandowski, 1996).

O ângulo entre a quilha e a linha de operação do propulsor, ângulo ε, é o terceiro dado de entrada necessário. Sua influência está diretamente ligada ao arrasto e ao peso gerado, devido ao eixo e também à influência do momento, que afeta a estabilidade da embarcação.

O segundo ângulo necessário é o ângulo entre a quilha e a quina principal, o ângulo θ. Lawrence (1985) discute a relação existente entre o ângulo θ e o ângulo de *deadrise*.

Outro dado necessário para a estimativa da resistência ao avanço é a distância entra a linha de operação do propulsor até o VCG. Essa distância influencia na estabilidade da embarcação, devido ao momento ocasionado pelo empuxo gerado pela hélice, fazendo com que a embarcação tenda a afundar a popa.

É importante destacar que, para a que seja válida a estimativa de resistência ao avanço usando o Método de Savistky, é imprescindível respeitar as restrições existentes, apresentadas na Tabela 1, já que as equações são empíricas e baseadas em amostras de dados.

Tabela 1 - Faixa de Aplicação

Parâmetro	**Faixa**
$\Delta LT/(0{,}01L)^3$	100-250
L/b	3-5
Trim (graus)	3-7
Deadrise (graus)	10-30
H1/3/b	0,2-0,7
$V/(L)^{1/2}$	2-6

Os números de Reynolds (Re) e Froude são adaptados para embarcações planantes por meio da substituição do comprimento pela boca, sendo o número de Froude, denominado como Coeficiente de Velocidade (C_v). De maneira análoga, o Coeficiente de Bloco (C_B) também é modificado para utilizar a boca como dimensão admensionalizante:

$$C_V = \frac{V}{\sqrt{gB}} \quad ; \quad Re = \frac{V\lambda B}{\upsilon} \quad ; \quad C_B = \nabla/B^3$$

Onde,

V – velocidade da embarcação;

g – aceleração da gravidade;

B – boca da embarcação;

λ – razão comprimento-boca molhada;

υ – viscosidade cinemática;

A influência da boca na resistência ao arrasto se dá pelos Coeficientes de Sustentação (C_L) e Coeficiente de Arrasto (C_D). Em geral, com o aumento da boca há uma pequena redução na resistência. Com relação à resistência do ar, a boca da embarcação influencia diretamente na área morta da embarcação (área fora da água), pois quanto maior a boca maior será a área morta e, consequentemente, maior a resistência aerodinâmica.

Ainda existe a influência da boca na estabilidade em *roll* da embarcação, assunto abordado por Lewandowski (1996). Por fim o aumento da boca reduz a aceleração no centro de gravidade e na popa da embarcação, conforme, constata-se pelas equações de Savitsky (1976):

$$a_{CG} = 0{,}0104\left(\frac{H_{\frac{1}{3}}}{B} + 0{,}084\right)\left(\frac{\tau}{4}\right)\left(\frac{5}{3} - \frac{\beta}{30}\right)\left(\frac{V}{L^{1/2}}\right)^2\left(\frac{L_{WL}}{BC_\nabla}\right)$$

$$a_{popa} = a_{sp}\frac{\left(1 + 3{,}8(\frac{L_{WL}}{B} - 2{,}25\right)}{\frac{V_K}{L^{1/2}}^2}$$

Onde:

acg – aceleração no centro de gravidade;

$H_{1/3}$ – altura significativa, altura média do terço das ondas mais altas;

β – ângulo de *deadrise* da embarcação;

L – comprimento entre perpendiculares da embarcação;

C_∇ - coeficiente de bloco.

O ângulo de *trim* é uma consequência do posicionamento do centro longitudinal de gravidade estar desalinhada com o centro longitudinal de flutuação, ou seja, caso seja desejado que a embarcação possua um ângulo de *trim* deve-se alterar a posição dos equipamentos internos.

A estabilidade da embarcação é dependente do LCG para o não desenvolvimento da instabilidade longitudinal (*porpoising)* e uma das maneiras de evitar a instabilidade é desloca o LCG avante da embarcação, outra seria adicionando os estabilizadores (*flaps)* na popa.

O último parâmetro que irá ser variado parametricamente para a realização da análise será o ângulo de *deadrise* da embarcação que, como já visto anteriormente, é o ângulo entre a quilha e a quina principal da embarcação. Sua influência está associada à velocidade, resistência, estabilidade, conforto e navegabilidade da embarcação.

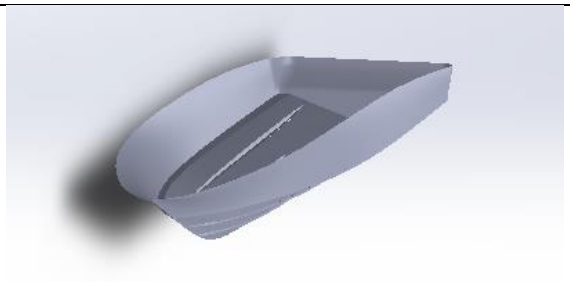
4. VALIDAÇÃO DO MODELO.

Nessa seção será realizada a validação da planilha Excel utilizando dados apresentados por Santos (2014). O trabalho estima a resistência pelo Método de Savitsky, publicado em 2011, que inclui a parcela da região de *spray* desconsiderada em suas publicações antigas e também neste trabalho. A potência calculada é a efetiva que é o produto da resistência pela velocidade.

A validação será realizada comparando as curvas de potência para uma mesma faixa de velocidades. O resultado será satisfatório caso as curvas se assemelhem e possuam valores de potência próximos para a mesma velocidade. Possíveis variações são esperadas e serão analisadas para garantir que a planilha reproduza resultados coerentes.

A Tabela 2 contém os dados de entrada utilizados no trabalho desenvolvido por Santos (2014) e que foram utilizados na validação do modelo desenvolvido.

Tabela 2 - Dados da embarcação de referência



Comprimento	26 pés / 7,925 metros
Boca	8,2 pés / 2,499 metros
Ãngulo de *deadrise* popa	17,26º
Ângulo de *deadrise* meia nau	24,76º
Deslocamento	5.567 lbf / 2.525 kg
VCG	3,30 pés / 1,006 metros
LCG	7,87 pés / 2,399 metros
Quantidade de Propulsores	1
Ângulo do Propulsor	4º
Distância do Propulsor até o VCG	0,5 pés / 0,152 metros
Velocidade de Serviço	30 nós / 15,43 m/s

São geradas quatro curvas de potência considerando quatro condições de carregamento.

O ângulo de *deadrise* à meia nau não é disponibilizado no trabalho e foi estimado utilizando o *software Solidworks*. O mesmo ocorre para o ângulo da linha do propulsor e para distância da linha do propulsor até o VCG, que não são fornecidos no trabalho e também são estimados a partir de embarcações semelhantes.

O gráfico da Figura 3 apresenta o a potência obtida na faixa de velocidade de 5 a 35 nós. Como mencionado, existem quatro curvas para os quatro tipos de carregamento. Como esperado, as curvas que requerem maior potência são aquelas com o maior deslocamento. A potência varia de 0 a 200 HP e tomando como referência as velocidades de 15, 25 e 35 nós são obtidos valores de 50, 80 e 140 HP de potência respectivamente, para condição da embarcação com tanque cheio e tripulação de 5 pessoas.

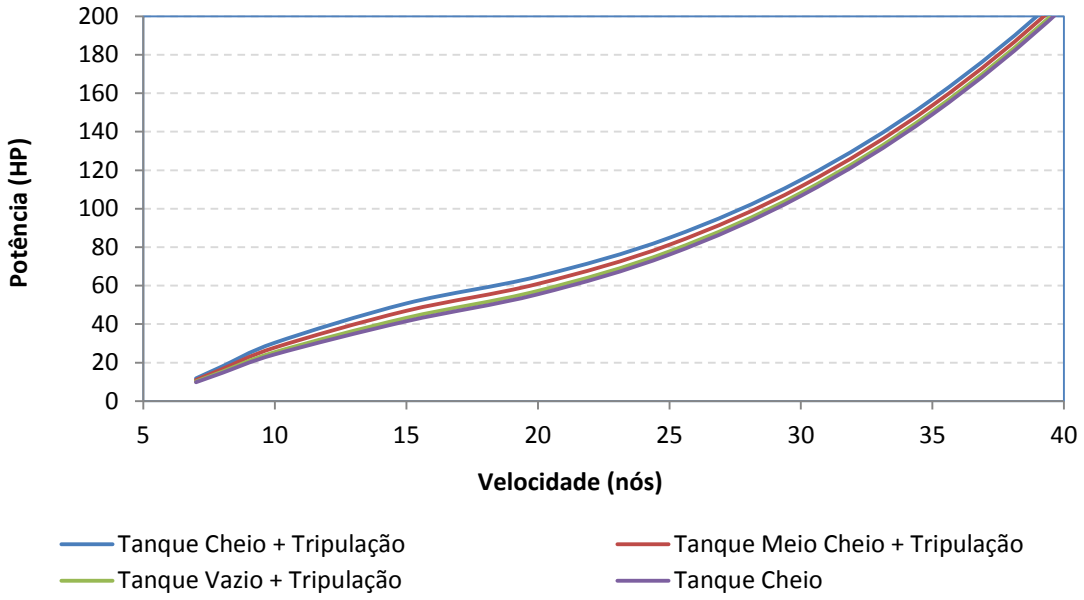


Figura 3 - Potência x Velocidade

A Tabela 3 apresenta uma comparação entre os valores das potências para o mesmo valor de velocidade, sendo o deslocamento máximo da embarcação (tanque cheio e tripulação). Fica evidente que há uma diferença significativa, especialmente a altas velocidades. Apesar de o erro ser elevado para a velocidade de 35 nós pode-se considerar o erro satisfatório para velocidades normais de operação da embarcação que ficaria em torno de 25 nós.

Tabela 3 - Comparação dos resultados

Velocidade [nós]	Santos (2014) [HP]	Modelo [HP]	Erro
15	50	50,77	1,52%
25	80	84,87	5,73%
35	140	157	10,82%

Essas diferenças ocorrem principalmente pela estimativa do ângulo de *deadrise* a meia nau, que influência o ângulo entre a quina e a quilha principal, no ângulo de *trim,* efetando os cálculos da resistência. Além de que, no modelo implementado, não é considerada a resistência de *spray*, a qual é considerada no trabalho original de Santos (2014).

5. ANÁLISE PARAMÉTRICA.

A análise paramétrica consiste em, a partir de uma embarcação base, realizar uma variação sistemática dos dados de entrada que mais influenciam na resistência ao avanço de uma embarcação de planeio.

Os parâmetros selecionados para a análise paramétrica são: boca, calado (em função do deslocamento), VCG, LCG e ângulo de *deadrise*. A escolha desses parâmetros visa determinar o tipo de influência que cada parâmetro exerce sobre a resistência ao avanço do casco, identificando aqueles de maior influência.

O estudo será desenvolvido a partir de um casco nú modelado no programa *Solidworks*, e cujas características apresentadas por (Santos, 2014) são mostradas na Tabela 3. O VCG, LCG, ângulo do propulsor e distância do propulsor até o VCG foram estimados com base em valores típicos de uma embarcação de planeio. O deslocamento de referência considera o tanque meio cheio (150 kg) e uma tripulação de 5 pessoas (70 kg cada). Na Tabela 4 são mostradas as variações paramétricas estudadas neste trabalho. Variou-se a boca de 90 % a 110 % do valor de referência. O calado foi variado considerando-se três condições de carga: tanque cheio com tripulação, tanque vazio com tripulação e tanque cheio sem tripulação, (variações 1, 2 e 3, respectivamente). O LCG foi variado 20 e 40 centímetros para mais e para menos, em relação ao valor de referência.

O ângulo de *deadrise* irá oscilar entre um valor mínimo e máximo característicos para embarcações planantes, com incremento de um grau. Buscando manter uma coerência, o ângulo de *deadrise* à meia nau sofre uma variação proporcional a variação do ângulo de *deadrise* na popa da embarcaçã

Tabela 4 - Variações Paramétricas

PARÂMETRO	**1**	**2**	**3**	**4**
Boca	8,61 pés	9,02 pés	7,79 pés	7,38 pés
	(2,624 m)	(2,749 m)	(2,374 m)	(2,249 m)
Deslocamento	5897 lbf	5236 lbf	5070 lbf	-
	(2.675 kg)	(2.375 kg)	(2.300 kg)	
Ângulo de *Deadrise* Popa	17º	18º	19º	20º
Ângulo de *Deadrise* Meia nau	24º	25º	26º	27º
	6,56 pés	7,22 pés	8,53 pés	9,19 pés
LCG	(2 m)	(2,2 m)	(2,6 m)	(2,8m)

5.1. BOCA E ÂNGULO DE *DEADRISE*

Seguindo o planejamento da Tabela 4, as análises ocorreram para os seguintes valores de bocas: 7,38, 7,79, 8,61 e 9,09 pés. Para análise da boca será plotado o gráfico da razão arrasto-sustentação proposto por (Savitsky, 1964) para diferentes valores de ângulo de trim.

São plotadas diferentes curvas, que representam a variação no ângulo de *deadrise* (Figura 4). A equação que rege o gráfico foi também proposta por Savitsky, e é destacada a seguir.

$$\frac{D}{\Delta} = \tan(\tau) + \frac{\left(\frac{V_1}{V}\right)^2 C_f \lambda}{C_L \cos(\beta) \cos(\tau)}$$

A razão boca-comprimento molhado foi calculada pela equação disponibilizada por Savitsky (1964). O mesmo se dá com a razão das velocidades, onde V é a velocidade avanço da embarcação e V_1 é a velocidade do casco em contato com a água. O coeficiente de sustentação (C_L) é o determinado para placas planantes com ângulo de *deadrise*. Já o coeficiente de fricção (C_f) é calculado com base no número de Reynolds

A equação acima foi utilizada para plotar a razão arrasto-sustentação (D/Δ) para os quatros valores de boca, mencionados anteriormente em função do ângulo de *trim* e comparados com a embarcação base, com o ângulo de *deadrise* da embarcação base de 17,26º.

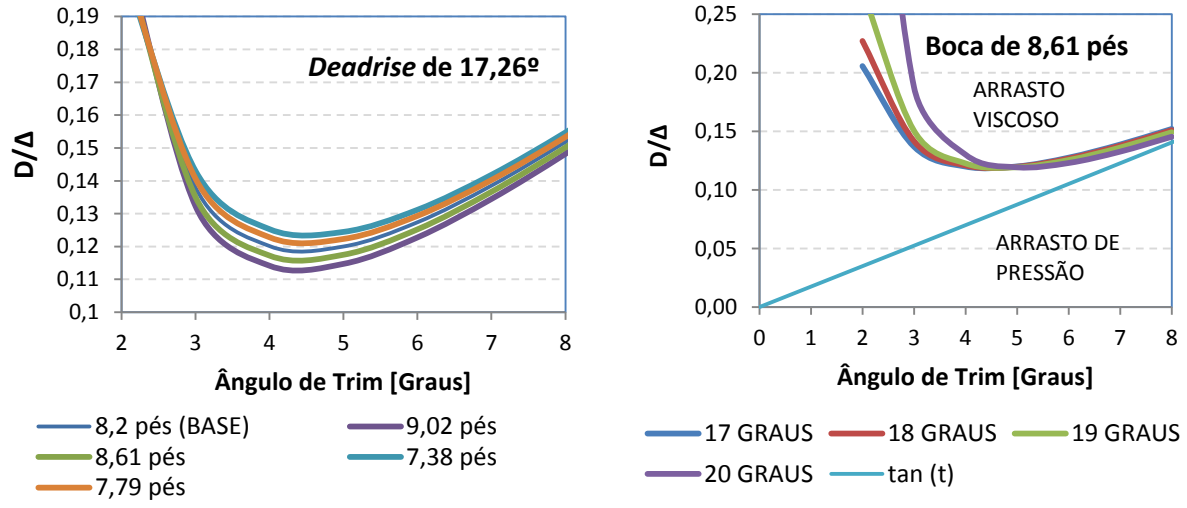


Figura 4 - Variação da razão arrasto-sustentação.

Por meio da análise gráfica, verifica-se que com o aumento no tamanho da boca da embarcação há uma redução na razão arrasto-sustentação. O que pode não parecer habitual, ocorre devido a um fenômeno similar ao que ocorre em asas de aviões, a formação de vórtices próximos ao casco, os quais reduzem o arrasto viscoso. Esse fenômeno tende a reduzir o arrasto, com o aumento da boca. Portanto, uma embarcação com um incremento de 10% na boca proporciona redução na razão arrasto-sustentação de aproximadamente 5% para o ângulo de *trim* ótimo que será discutido a seguir.

Como visto na Figura 4, para todos os valores de boca, existe um valor ótimo do ângulo de *trim*, que é algo em torno de 4º. Nesse ângulo de *trim* há a menor razão arrasto-sustentação. Com uma pequena redução no ângulo de *trim* há um ligeiro aumento na razão arrasto-sustentação. Já com um pequeno aumento no ângulo há um aumento não tão expressivo. Ou seja, do ponto de vista da razão arrasto-sustentação é vantajoso, navegar com *trim* ótimo, ou levemente maior.

Outra análise realizada é a verificação da influência do ângulo de *deadrise* para uma boca constante. Na Figura 4 é variado o ângulo de *deadrise* para os valores já estabelecidos, sendo a boca da embarcação base (8,6 pés). Novamente é possível verificar que há um ângulo ótimo

de *trim* em que a razão arrasto-sustentação é mínima. Para o ângulo de *deadrise* de 17 graus a menor resistência que pode ser esperada é aproximadamente 11% da sustentação para um ângulo de *trim* ótimo de 4 graus. O que diverge em 1% em relação ao trabalho apresentado por Savitsky (1964), e em 30 minutos em relação ao ângulo de *trim*.

Pela Figura 4, pode-se constatar que para valores de ângulo de *trim* de até 5 graus o aumento no ângulo de *deadrise* ocasiona um aumento na resistência, porém, para valores acima de 5 graus ocorre uma inversão, não esperada. Todavia, o que é conveniente com o trabalho apresentado por Savitsky é que o ângulo de *trim* ótimo tem um pequeno aumento conforme aumenta o ângulo de *deadrise*.

Ainda na Figura 4, é traçada uma reta que representa a tangente do ângulo de *trim*. O objetivo dessa reta é separar os efeitos do arrasto viscoso do arrasto devido à pressão. É perceptível que para baixos valores de ângulo de *trim* há um predomínio do arrasto devido a fricção (viscoso) assim conforme, o ângulo de *trim* aumenta, o arrasto devido à pressão começa a se sobressair. O que é esperado já que, conforme, o ângulo de *trim* aumenta, a área de planeio reduz, o que consequentemente reduz a área de contato do casco com a água, causando um maior arrasto devido a pressão.

5.2. CALADO.

Uma das maneiras de variar o calado é pelo deslocamento, portanto, foram consideradas quatro condições de carregamento, conforme mostrado na Tabela 4.

Por meio dessas variações no deslocamento foi possível gerar o gráfico apresentado na Figura 5, da Potência Efetiva em função da velocidade. A velocidade está limitada às restrições de aplicações do método de Savitsky, por isso tem restrição inferior a 7 nós e superior a 40 nós.

A maior potência se dá para a condição de máximo carregamento com 5 pessoas na tripulação e tanque cheio, aumentando, gradativamente, conforme aumenta a velocidade. Seguido respectivamente pela embarcação base (curva azul), tanque vazio com tripulação (curva verde) e tanque cheio sem tripulação (curva roxa). Portanto, com o aumento do calado há um aumento na resistência. Para velocidade de 30 nós a embarcação base necessita de uma potência de 71,33 quilowatts (kW), a menor condição de carregamento (tanque cheio sem

tripulação) uma potência de 67,97 kW e a maior condição de carregamento (tanque cheio e 5 tripulantes) uma potência de 73,71 kW.

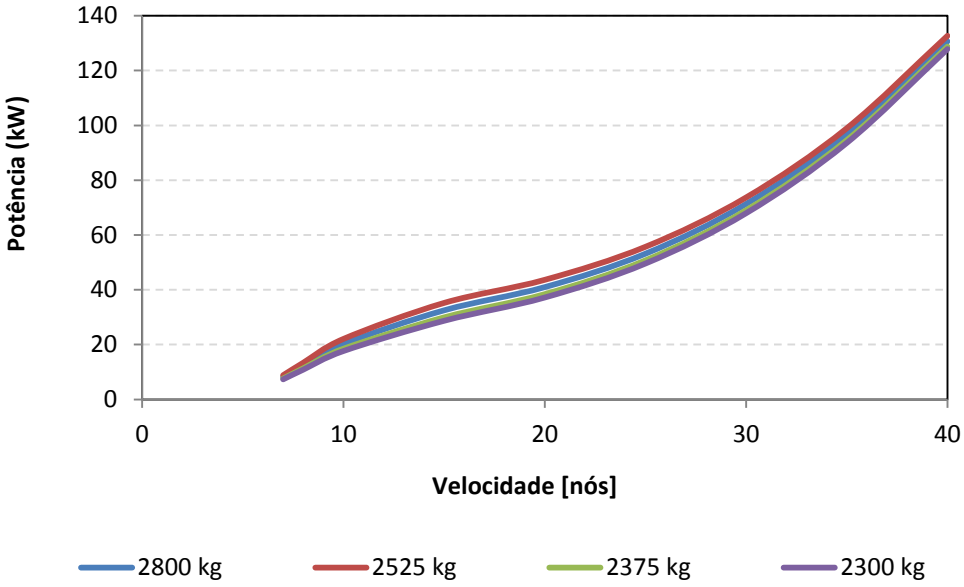


Figura 5 - Potência x velocidade, para diferentes deslocamentos

5.3. LCG E ÂNGULO DE *DEADRISE*.

Na sequência da análise, foi realizada a variação no ângulo de *deadrise* para diferentes posições do centro longitudinal de gravidade (LCG), para obter resultados sobre a influência na Potência Efetiva da embarcação. A velocidade estabelecida foi a de serviço (30 nós).

A análise foi realizada variando a posição do centro longitudinal da embarcação base em 20 e 40 centímetros acima e abaixo do seu valor, resultando nas seguintes posições do LCG: 2,0, 2,2, 2,6 e 2,8 metros. A variação no ângulo de *deadrise* foi realizada com incremento de 1 grau para cada variação sendo o limite inferior um valor mínimo para embarcações planantes (17º) e o limite superior em 20º. A Figura 6 apresenta os resultados para os diferentes LCG em que a embarcação base é representada pela curva verde. As maiores potências desenvolvidas ficaram para os maiores ângulos de *deadrise* combinados com as maiores posições do LCG.

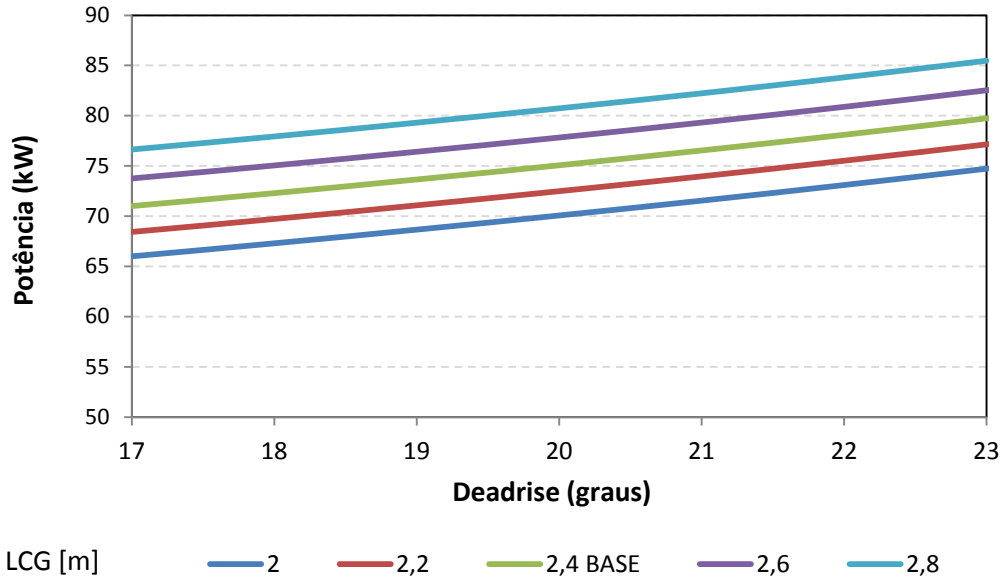


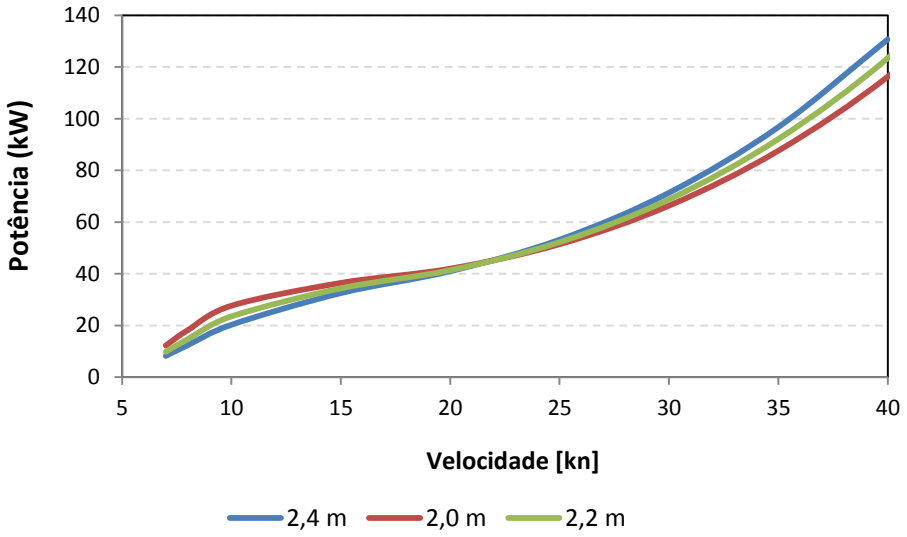
Figura 6 - Potência x *deadrise*, para diferentes LCG

É importante destacar que para o aumento ou a redução do ângulo de *deadrise* é necessário a consideração do local que a embarcação irá navegar, pois o ângulo está diretamente associado a navegabilidade e ao conforto. Pois ângulos menores de *deadrise* são comuns para embarcações que irão navegar em águas abrigadas e o seu gradativo aumento se dá para navegações em mares abertos. Ou seja, não é possível buscar sempre o menor ângulo de *deadrise* para se obter uma menor potência, sem considerar o local que a embarcação irá navegar e o consequente conforto para a tripulação.

A variação do LCG, como pode ser vista, tem grande influência na potência. A posição é determinada conforme o arranjo interno da embarcação, ou seja, para uma embarcação de 26 pés até o posicionamento da tripulação a bordo pode influenciar e reduzir o consumo de combustível necessário para navegar.

Outra análise realizada foi a variação do LCG, junto com a velocidade para verificar a Potência Efetiva da embarcação em diferentes velocidades. Nessa análise, foram consideradas apenas as posições menores de LCG devido às restrições do método. A velocidade foi variada também de acordo com as restrições no método, limitada entre 7 nós e 40 nós. A Figura 7 apresenta os resultados.

Figura 7 - Potência x Velocidade para Diferentes LCG.



Como mencionada, a posição do LCG tem influência sob a potência, e o objetivo da Figura 7 é mostrar que há possibilidade de navegar variando a posição do LCG, bem como é possível uma redução no consumo. Para velocidades de até 20 nós é visível que uma posição mais avante do centro longitudinal de gravidade (curva azul), corresponde a menores potências e a partir de 20 nós uma posição de 2,0 metros (curva vermelha) é mais eficiente que as demais. Uma das maneiras de conseguir essa variação é com o posicionamento da tripulação dentro da embarcação.

5.4. ANÁLISE DE *PORPOISING.*

Conforme já discutido, *porpoising* é uma instabilidade longitudinal característica de embarcações planantes ao navegar em águas calmas. Os limites para não ocorrência deste fenômeno podem ser facilmente analisados pelos coeficientes básicos de planeio (ângulo de *trim* e coeficiente de sustentação). Pelos estudos gerados por Day e Haag (1952), é possível garantir, ainda na fase de projeto, a não ocorrência dessa indesejada oscilação.

Os limites para não ocorrência de *porpoising* serão determinados para embarcação base, e a análise resultante indicará as diferentes variações possíveis. A primeira determinação é o coeficiente de sustentação, que é calculado pela seguinte equação:

$$C_{L\beta} = \frac{\Delta}{\frac{1}{2}\rho V^2 B^2}$$

Para a embarcação base, em que a boca é de 8,2 pés e a velocidade de serviço é de 30 nós, chega-se a um coeficiente de sustentação igual a 0,0333. O gráfico apresentado por Day e Haag, para verificação do ângulo de *trim* para não ocorrência das oscilações é necessário dividir o coeficiente por 2, e extrair a raiz quadrada. Chegando-se assim em um valor de 0,129.

Verifica-se que o ângulo de *trim* máximo para não ocorrência de *porpoising* é entre 3 e 4 graus, para um ângulo de *deadrise* de 20º. Ainda no gráfico é possível reparar que a medida que o coeficiente de sustentação reduz, indicando um carregamento leve ou uma embarcação de alta velocidade, o limite do ângulo de *trim,* para estabilidade longitudinal, também reduz. Então ao aumentar o ângulo de *deadrise* aumenta a possibilidade de ângulos de *trim* para que não ocorra a instabilidade.

Caso uma embarcação, a uma dada velocidade e carregamento, esteja sofrendo o fenômeno de *porpoising* a regra é reduzir o ângulo de *trim* como medida de segurança. A redução do ângulo de *trim* pode ser obtida de diversas maneiras, como já fora mencionado, uma delas é pela variação da posição longitudinal de gravidade avante da embarcação.

Realizando a análise para a embarcação base com um ângulo de *deadrise* igual a 20º, obteve-se um valor de ângulo de *trim* ótimo igual a 5º, que corresponde a menor razão arrasto-sustentação. Porém, estipula-se que o limite para não ocorrência da instabilidade para essa configuração da embarcação seja de aproximadamente 3 graus e 30 minutos. Portanto, devido às restrições estabelecidas pelo limite de *porpoising* a embarcação necessita navegar a um ângulo de *trim* desfavorável, em que a resistência é maior, para garantir o conforto e a segurança da tripulação, além da integridade estrutural da embarcação.

6. CONCLUSÃO.

Métodos semi-empíricos como os propostos por Savitsky são ferramentas poderosas especialmente nas fases iniciais do projeto, pois obtém-se uma estimativa da resistência ao avanço e consequente potência por meio de poucos parâmetros do casco e do sistema propulsivo. Porém, é importante ressaltar que é apenas uma estimativa, o que proporciona uma margem para erros por não considerar fatores como, por exemplo, a interação casco-hélice.

Por meio da revisão bibliográfica foi possível determinar os parâmetros que influenciam na estimativa da resistência ao avanço. Com auxilio de uma planilha Excel que implementa o Método de Savitsky, foi possível quantificar a influência de cada parâmetro na resistência ao avanço de um casco de planeio.

Utilizando uma embarcação de 26 pés como embarcação de referência para análises, foi possível validar a planilha utilizada e garantir a coerência da análise paramétrica realizada. Pela variação paramétrica dos principais parâmetros (boca, ângulo de *deadrise*, calado e LCG) da embarcação foi possível verificar a influência de cada parâmetro na resistência ao avanço do casco.

Verificou-se que diferente do que ocorre para cascos deslocantes um aumento de 10% na boca de uma embarcação planante acaba reduzindo em aproximadamente 5% a resistência ao avanço. Isso ocorre devido à formação de vórtices nas bordas de contato do casco com água, ocasionando essa redução da resistência, com o aumento da boca.

Variando o calado da embarcação (e portanto o deslocamento) para diferentes condições de carga, foi possível confirmar que quanto maior o calado, maior será a resistência ao avanço e consequentemente maior a potência necessária para a embarcação navegar.

A posição do centro longitudinal de gravidade tem influência principalmente no ângulo de *trim* da embarcação, o que acaba por ser um fator determinante para navegabilidade. Foi constatado que o aumento da posição do LCG ocasiona um aumento na Potência Efetiva da embarcação. Também, constatou-se que se for possível variar a posição do LCG para diferentes velocidades é possível reduzir o consumo de combustível. No caso em questão verificou-se que para uma velocidade de até 20 nós é mais vantajoso uma posição mais avante do LCG e para velocidades acima de 20 nós uma posição mais a ré da embarcação possibilita uma maior autonomia.

O ângulo de *deadrise* é sem dúvida um dos principais parâmetros do projeto, pois está diretamente associado a resistência ao avanço e suas variações influenciam não somente na resistência, mas também na integridade estrutural da embarcação. Foi observado que com o aumento do ângulo de *deadrise* há um aumento na resistência, mas também é importante destacar que o aumento do ângulo também pode ocasionar uma possível redução na

resistência, já que permite que a embarcação navegue em ângulos de *trim* maiores, sem que ocorra a instabiliadade longitudinal (*porpoising).*

Para continuação do trabalho sugerisse uma validação mais rigorosa da planilha por meio de uma embarcação real e provas de mar ou a utilização de um modelo em escala reduzida e testes em tanques de prova.

7. REFERÊNCIAS.

Blount, D. L. e Hubble, E. N.. **Sizing Segmental Section Commercially Avaiable Propellers for Small Craft**. *Propellers '81 Symposium, SNAME.* Virgina Beach, USA, pp.111-138, 1981.

Hadler, J. B. e Hubble, E. Nadine.. **Prediction of the Power Performance of the Series 62 Planing Hull Forms**. *SNAME Transactions.* 1971, Vol. 79.

Hadler, J. B.. **The Prediction of Power Performance on Planing Craft**. *Trans. SNAME.* 1966, Vol. 74.

Radojcic, D. 1985**. An Approximate Method for Calculation of Resistance and *Trim* of the Planing Hulls**. *SNAME Power Boat Symposium.* Florida, Feb., 1985.

Savitsky, D. **Hydrodynamic Design of Planing Hulls**. *Marine Technology*, 1964.

Savitsky, D. e Brown, P. W. **Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water**. *Marine Technology*, 13, 1976.

Savitsky, D.; Delorme, M. F. e Datla, R. **Inclusion of Whisker *Spray* Drag in Performance Prediction Method for High-Speed Planing Hulls**. *Marine Technology*, 44, 2007.

Santos, P. K. C. do; Tancredi, T. P.. Variação no desempenho de embarcações em alta velocidade em função da variação do LCG/Calado ao longo de uma viagem: lancha de 26 pés. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 25., 2014, Rio de Janeiro. **Variação no desempenho de embarcações em alta velocidade em função da variação do LCG/Calado ao longo de uma viagem: lancha de 26 pés.** São Paulo: Usp, 2014. p. 1 - 9.

DEFINICIÓN DE PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL CASCO DE UN NAVÍO MINIMIZANDO LA RESISTENCIA AL AVANCE USANDO PROGRAMACIÓN NO LINEAL

Queizan, A. [1]; Arrospide, J.[1]; Colombo, P.[1]; Guzmán, D.[1]; Herskovits, J[2]; Marchetti, I[1]

[1]Departamento de Ingenieria Naval, Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnologica Nacional, calle 60 esq. 124 – La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina.
[2]Departamento de Mécanica, Universidad Federal de Rio de Janeiro, COPPE.

INTRODUCCIÓN.

Se presenta el estudio de la optimización de la resistencia al avance de un buque productero construido en el Astillero Rio Santiago, Argentina.

El objeto del estudio académico fue comparar la predicción de resistencia al avance obtenida de manera analítica por el tradicional método de Holtrop Mennem según su formulación original publicada en el SNAME y contrastarla con la optimización realizada por métodos numéricos.

El método numérico se desarrolló utilizando Programación No Lineal (PNL) empleando la formulación basada en la metodología FAIPA, desarrollada por el Profesor Doctor J. Herskovits de la Universidad Federal de Rio de Janeiro.

Se busca determinar las dimensiones principales del buque y coeficientes de la carena de manera tal que la resistencia al avance sea la menor posible, modificando las variables geométricas dentro de un rango determinado, manteniendo el volumen de carena y de esta forma asegurando la capacidad de carga del navío.

Los valores obtenidos por el programa FAIPA para el buque en estudio, coincidieron con los calculados según método tradicional, encontrando reducciones en las resistencias componentes de la resistencia total, particularmente la provocada por el bulbo de proa. Como resultado final, a la velocidad de servicio, se reduce la resistencia total en un 27% aproximadamente.

Palabras Claves: Carena. Método de Holtrop Mennem. Optimización. Método FAIPA.

DESCRIPCIÓN DEL BUQUE CONSIDERADO PARA EL ANÁLISIS.

Para el estudio se eligió un buque productero de líneas convencionales y navegación marítima irrestricta, con las siguientes características principales:

Eslora total	182.85m
Manga Máxima	32.20m
Calado	11.30m
Puntal	18.6m
Velocidad Servicio	15kn
Autonomía	12 000mn
Porte Bruto	47 000T
Potencia Instalada	9960KW

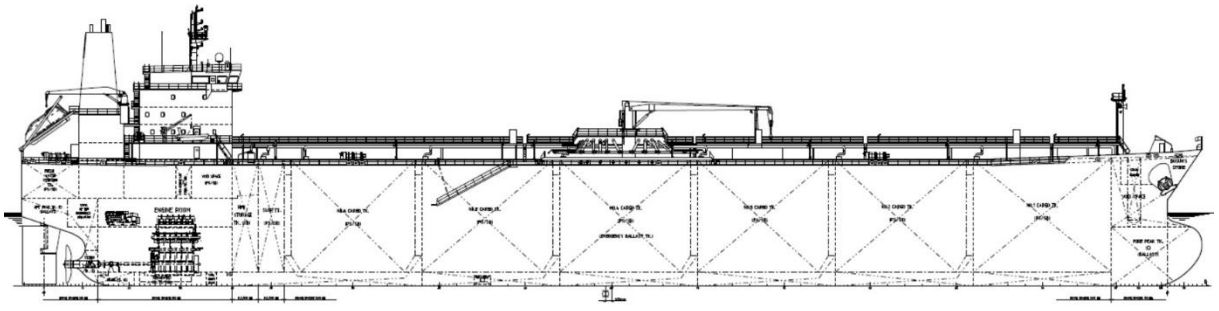


Ilustración 1 Disposición General Buque Productero Eva Perón



Ilustración 2 Botadura B/T Eva Perón, Muelle de Astillero Rio Santiago

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO–ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN FAIPA

La metodología aplicada es la FAIPA (Feasible Arc Interior Point Algorithm). Esta formulación presenta la característica de poder realizar una búsqueda a lo largo de un arco como se ve en la ilustración 3, esto nos favorece en el caso de las restricciones no lineales ya que nos permite ir moviéndonos en forma iterativa siempre dentro de la región de diseño.

Para la descripción del algoritmo FAIPA suponemos la siguiente formulación general:

$$\underset{\underline{x}}{\text{Min}} \left\{ f(\underline{x}) \right\}$$

$$\text{Restricciones} \begin{cases} \underline{g}(\underline{x}) \le \underline{0} \\ \underline{h}(\underline{x}) = \underline{0} \end{cases} \qquad (1)$$

Donde $x \in \Re^n$, f es la función objetivo $f : \Re^n \to \Re$, g es conjunto de las inecuaciones $g : \Re^n \to \Re^m$ y h es el conjunto de ecuaciones $h : \Re^n \to \Re^p$. Nosotros asumimos que f, g y h son continuas y sus derivadas también.

El algoritmo FAIPA:

Parámetros: $\varphi > 0, \alpha \in (0,1)$ y $r > 0, r \in \Re^p$.

Datos iniciales:

$\lambda > 0$ y $\underline{\underline{B}} \in \Re^{n \times n}$ simétrica y definida positiva.

$\underline{x} \in \Re^n$ Es un punto factible.

Paso 1: Cálculo de la dirección $\underline{d}$

Computo de (d_0, λ_0, μ_0) y (d_1, λ_1, μ_1) por medio de la resolución de los sistemas lineales.

$$\begin{cases} Bd_0 + \nabla g(x)\lambda_0 + \nabla h(x)\mu_0 = -\nabla f(x) \\ \Lambda \nabla g^t(x) d_0 + G(x)\lambda_0 = 0 \\ \nabla h^t(x) d_0 = -h(x) \end{cases} \tag{2}$$

$$\begin{cases} Bd_1 + \nabla g(x)\lambda_1 + \nabla h(x)\mu_1 = 0 \\ \Lambda \nabla g^t(x) d_1 + G(x)\lambda_1 = -\lambda \\ \nabla h^t(x) d_1 = 0 \end{cases} \tag{3}$$

Si $d_0 = 0$ para el algoritmo

Si $r_i \le \|\mu_{0i}\|$ hacemos $r_i > \|\mu_{0i}\|$ i = 1,2,……..p

Definimos la función $\phi(x,r) = f(x) + r^t \operatorname{sgn}[h(x)]h(x)$

Si $d_1^t \nabla \phi(x,r) > 0$ entonces $\rho = \inf\left[(\varphi)\|d_0\|^2; (\alpha - 1) d_0^t \nabla \phi(x,r) / d_1^t \nabla \phi(x,r)\right]$

Sino $\rho = \varphi \|d_0\|^2$

Cálculo de la dirección $d = d_0 + \rho d_1$

Paso 2: Cálculo de la dirección de descenso en arco.

Definimos $\tilde{w}_i^I = g_i(x+d) - g_i(x) - \nabla g_i^t d$ y $\tilde{w}_i^E = h_i(x+d) - h_i(x) - \nabla h_i^t d$ i = 1,2,….m.

Calculamos $\tilde{d}$ y $\tilde{\lambda}$ mediante la resolución del sistema de ecuaciones lineales

$$\begin{cases} B\tilde{d} + \nabla g(x)\tilde{\lambda} + \nabla h(x)\tilde{\mu} = 0 \\ \Lambda \nabla g^t(x)\tilde{d} + G(x)\tilde{\lambda} = -\lambda \tilde{w}_i^I \\ \nabla h^t(x)\tilde{d} = -\mu \tilde{w}_i^E \end{cases} \tag{4}$$

Paso 3: Búsqueda a lo largo del arco.

Encontrar un paso t que satisfaga un criterio de búsqueda aplicado a $\phi(x,r)$ tal que las restricciones cumplan

$g_i(x+td+t^2\tilde{d})<0$ if $\bar{\lambda}_i \geq 0$ o $g_i(x+td+t^2\tilde{d})<g_i(\mathrm{x})$

Paso 4: Actualizamos

$x=x+t\,d+t^2\,\tilde{d}$ y definimos los nuevos valores $\lambda>0,\ \mu>0$ y la matriz $\underline{\underline{B}}$ simétrica y definida positiva.

Volvemos al paso 1)

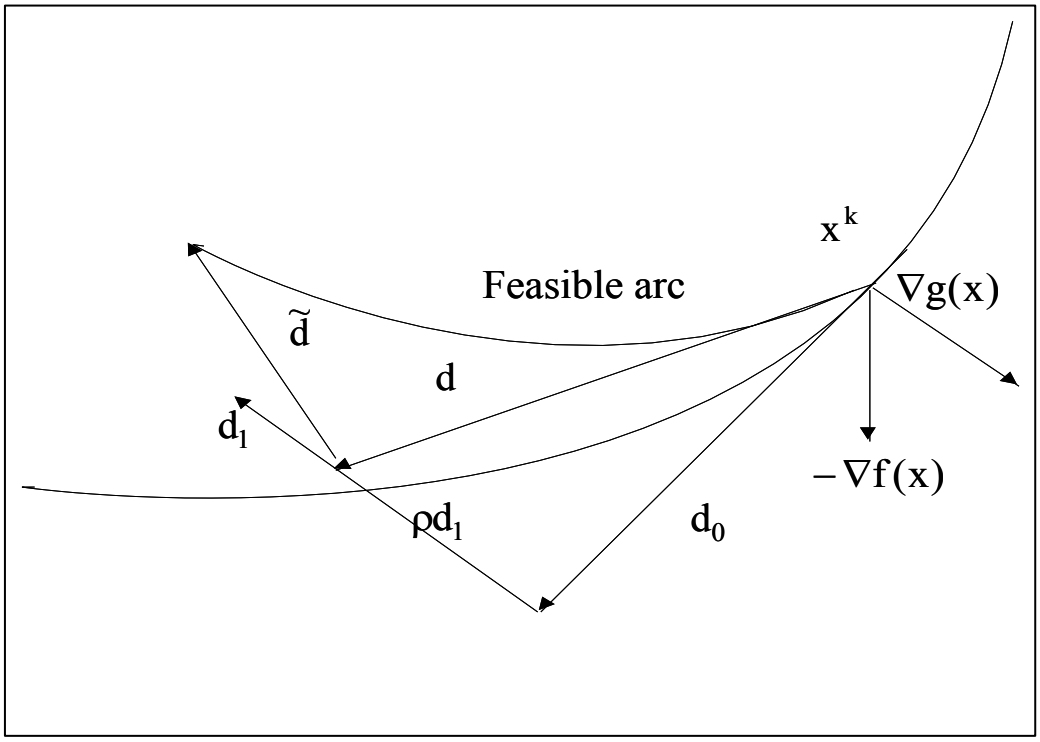


Ilustración 3. Direcciones de Búsqueda. FAIPA.

Estudio de la Problemática

Como criterio de predicción de la resistencia al avance se tomó la ecuación de Holtrop Mennem formulada de la siguiente manera:

$$R_f = 0.5 * \rho * Cf * S * V^2$$

$$1 + k1 = c_{13} * \left(0.93 + c_{12} \left(\frac{B}{LR} \right)^{0.92497} * (0.95 - Cp)^{-0.521448} * (1 - Cp + 0.0225 * lcb)^{0.6906} \right)$$

$$R_{APP} = 0.5 * \rho * V^2 * S_{APP} * (1 + k2)_{eq} * Cf$$

$$R_W = c1 * c2 * c5 * \Delta * \rho * g * e^{\left(m1 * F_n^{\ d} + m2 * \cos\left(\lambda * F_n^{\ -2} \right) \right)}$$

$$\boldsymbol{R_t = R_f(1 + k_1) + R_{app} + R_w + R_b + R_{tr} + R_a}$$

$$R_A = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * S * C_A$$

$$RB = \frac{0.11 * F_{ni}^{\ 3} * A_{BT}^{\ 1.5} * g * \rho}{\left(1 + F_{ni}^{\ 2}\right)} * e^{\left(-3 * P_B^{\ -2}\right)}$$

$$R_{TR} = 0.5 * \rho * V^2 * A_T * c6$$

Donde los sumandos principales de la misma pueden expresarse de la siguiente forma:

Rf: resistencia friccional según el ITTC (International Towing Tank Conference).

Rapp: resistencia de apéndices.

Rw: resistencia por formación de olas.

Rb: resistencia adicional del bulbo cerca de la superficie.

Rtr: resistencia por inmersión de la popa espejo.

Ra: factor de correlación modelo-buque.

Además, los parámetros considerados para el estudio son las siguientes:

L: eslora.

B: manga.

D: puntal.

T: calado.

Cp, Cb, Cm, Cwp: coeficientes prismáticos, de block, de sección media y de plano de flotación.

AT: área del espejo sumergida.

ABT: área transversal del bulbo.

Hb: coordenada vertical del bulbo.

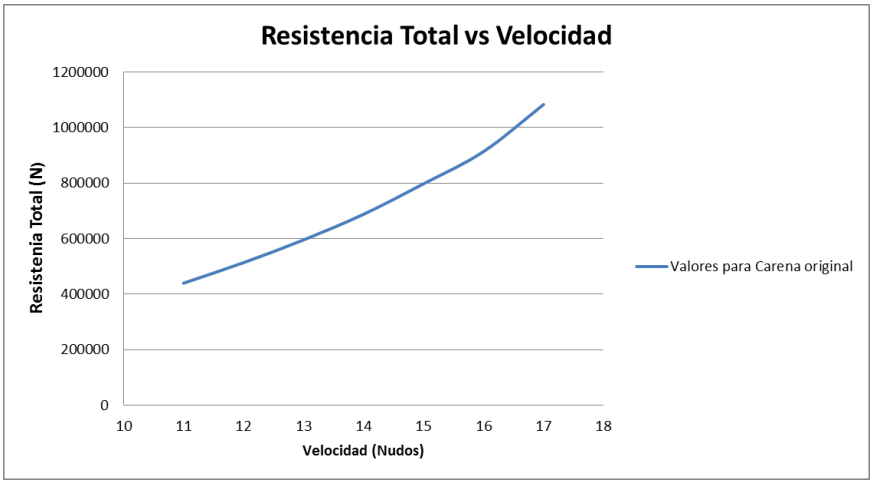
S: superficie mojada.

SAPP: superficie de apéndices.

LCB: posición longitudinal del centro de carena.

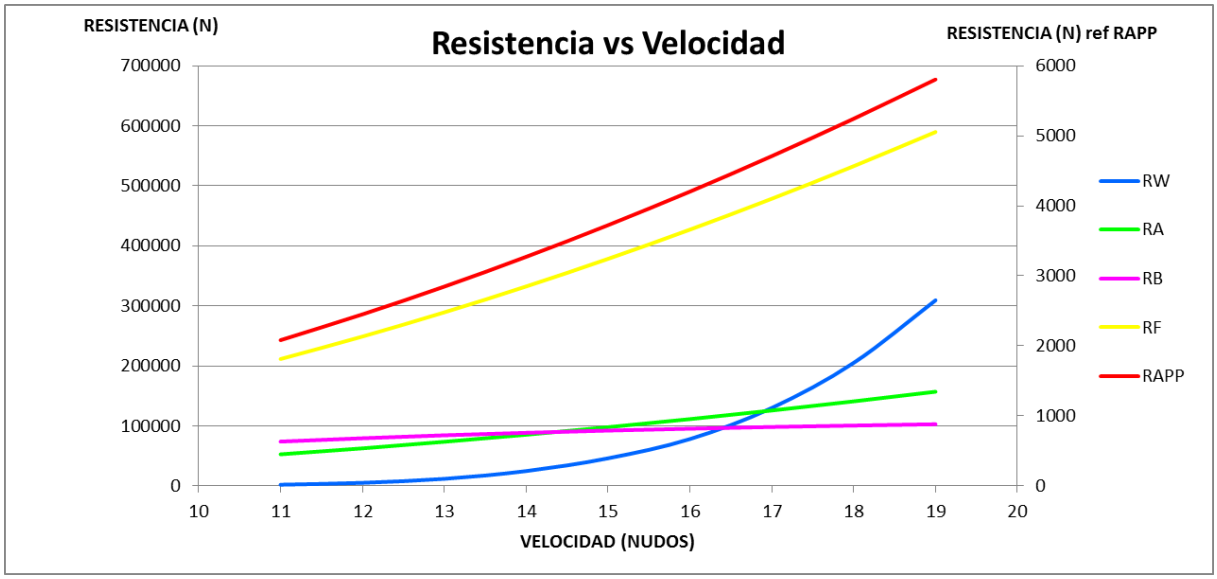
Los resultados para el buque en estudio son:

Lf=	177.5	m
B=	32.2	m
D=		m
T=	11.3	m
Cp=	0.782	(adim.)
Cb=	0.78	(adim.)
Cm=	0.997	(adim.)
Cwp=	0.882	(adim.)
iE=	28.8	(adim.)
AT=	2.262	m^2
ABT=	62.352	m^2
S=	8243.08	m^2
LCB=	3.993	% (+Pr)
ρ=	1025	kg/m^3
e=	2.7183	(adim.)
T/L=	0.063661972	(adim.)
B/L=	0.181408451	(adim.)
Δ=	50402	m3
L/B=	5.51242236	(adim.)
L^3/Δ=	110.9551084	
Δ^(1/3)/L=	0.208105823	
(1+k2)eq=	1.5888	
c13=	1.03	



Luego, realizando el cálculo y remarcando la velocidad de servicio considerada, se obtienen los siguientes resultados.

V (nudos)	RAPP	RTR	RW	RA	RB	RF	RT (N)
11	2081.5	0.0	1909.3	52630.2	73827.4	211460.3	439701.6
12	2450.3	0.0	5105.7	62634.2	79403.8	248931.6	513647.8
13	2847.2	0.0	11831.5	73508.2	84255.8	289254.0	595466.7
14	3272.0	0.0	24704.8	85252.2	88474.5	332402.1	687829.8
15	3724.3	0.0	46000.0	97866.0	92145.9	378352.4	793063.3
16	4204.0	0.0	78084.9	111349.8	95347.4	427083.6	913580.9
17	4710.8	0.0	130000.0	125703.5	98146.6	478575.9	1058461.3



Para poder optimizar la ecuación de Holtrop Mennem, además del algoritmo FAIPA se necesita determinar que dimensiones y coeficientes de la carena pueden considerarse variables dentro de un rango lógico. Como condición adicional se implementó la restricción de invariabilidad del volumen de carena.

Para la optimización se adoptaron los siguientes límites:

Valores variables	Mínimo	Máximo
L	175	180
B	30	33
T	10.5	12.5
Cb	0.77	0.8
Cp	0.77	0.8
Cwp	0.85	0.9
Cm	0.96	1
ABT	60	65
SAPP	48	54
hb	5.5	7
LCB	-1	4.5
AT	2	10

Para iniciar la búsqueda del mínimo se inicia la iteración de un punto que tiene que estar entre la cota superior y la cota inferior, esto es necesario numéricamente ya que se utiliza un algoritmo de punto interior.

El punto inicial es el mismo para todos los casos.

Punto inicial (Buque Eva Perón)

L = 177.5; (175 < L < 180)

B = 32.2; (30 < B < 33)

T = 11.3; (10.5 < T < 12.5)

Cb = 0.78; (0.77 < Cb < 0.8)

Cp = 0.782; (0.77 < Cp < 0.8)

Cwp = 0.882; (0.85 < Cwp < 0.9)

Cm = 0.997; (0.96 < Cm < 1)

Abt = 62.352; (60 < Abt < 65)

Sapp = 51.07; (48 < Sapp < 54)

hb = 6.5; (5.5 < hb < 7)

Lcb = 3.993; (-1 < Lcb < 4.5)

At = 2.262; (2 < At < 10)

Después de correr el software, y mediante sucesivas iteraciones se encontraron los siguientes resultados para la velocidad de servicio de 15 nudos.

Inicialmente una resistencia total de 793063 N

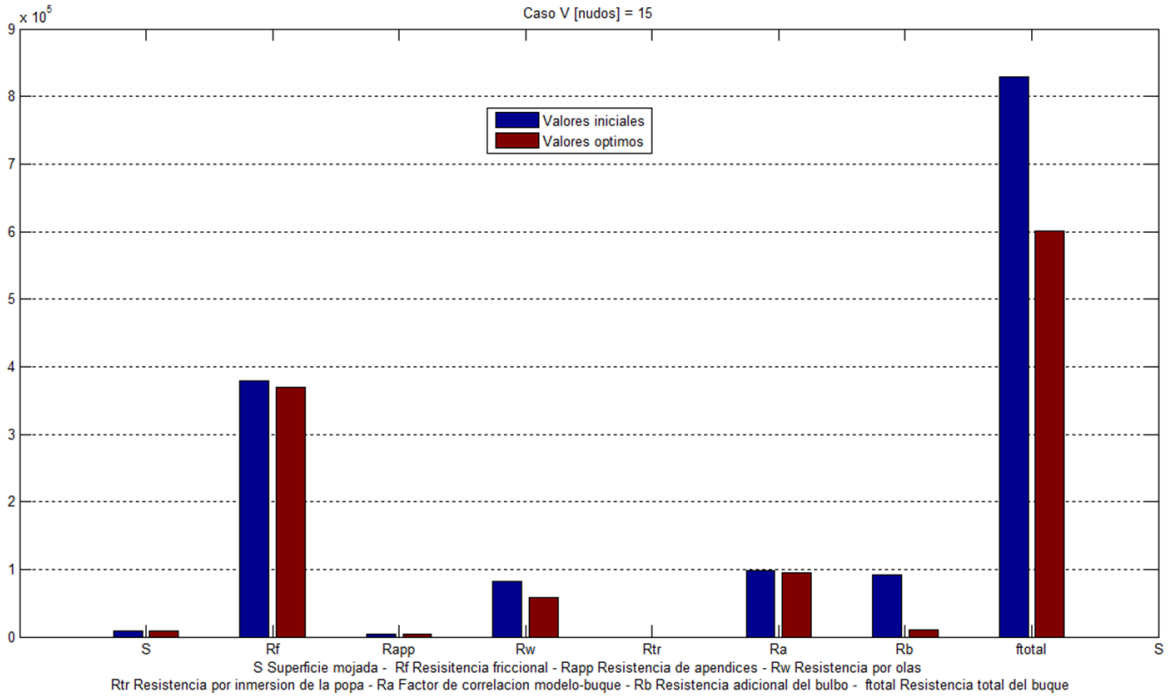
Resultado de la optimización: resistencia total de 600198 N

En este óptimo las variables de diseño toman los valores:

L 180.0000e+000 m
B 30.0000e+000 m
T 12.1217e+000 m
Cb 770.0000e-003
Cp 770.0000e-003
Cwp 850.0000e-003
Cm 960.0000e-003
Abt 60.0000e+000 m^2
Sapp 48.0000e+000 m^2
hb 5.5000e+000 m
Lcb -1000.0000e-003 m
At 6.7435e+000 m^2

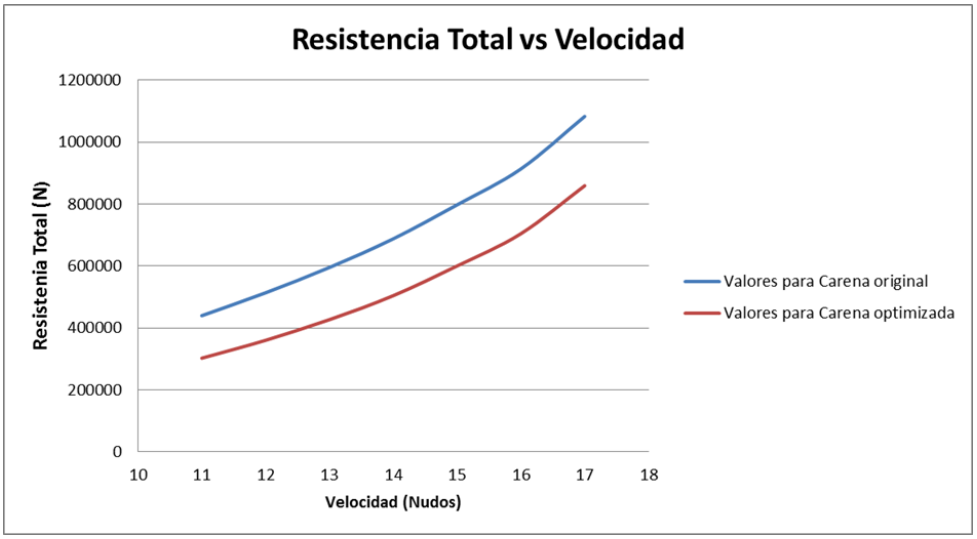
Los resultados hallados son los siguientes:

Resistencia friccional de acuerdo al ITTC (Rf) 369.9353e+003 m^2
Resistencia de apéndices (Rapp) 3.4944e+003 N
Resistencia por formación y por resistencia de olas (Rw) 58.9366e+003 N
Resistencia por inmersión de la popa espejo (Rtr) 0.0000e+000 N
Factor de correlación modelo-buque (Ra) 94.9919e+003 N
Resistencia adicional del bulbo cerca de la superficie (Rb) 9.6976e+003 N
Resistencia total del buque (f) 600.1975e+003 N
Relación de Resistencias Totales: 0.768
Reducción de la Resistencia al Avance: 23.2%



CONCLUSIONES.

Puede verse, como era de esperar, que el algoritmo incrementó la eslora y disminuyó la manga del buque aumentando el calado para mantener el volumen de carena, posteriormente, los coeficientes de forma tomaron los valores que hacen mínima la resistencia al avance.



Como puede verse en el grafico anterior, las resistencia por formación de olas (Rw) y la resistencia friccional (Rf) disminuyeron levemente.

Cabe destacar que disminuyó significativamente la resistencia del bulbo (Rb), cayendo a una décima parte aproximadamente de su valor para el buque original.

	Bulbo Original	Bulbo Optimizado	Porcentaje Reducción
Área Transversal	62.352 m2	60 m2	4%
Posición Respecto Línea Base	6.5 m	5.5 m	16%
Resistencia por Bulbo	92195 N	9697 N	90%

De estos datos se infiere que existe una incertidumbre respecto a la influencia de la geometría del bulbo en la predicción de la resistencia, siendo lógico, ya que con dos parámetros pueden diseñarse infinitos bulbos, sin embargo, el algoritmo nos da una referencia de partida para rediseñar el existente y realizar finalmente una prueba de canal para obtener datos reales y confiables.

En base al análisis realizado, se concluye que la carena optimizada resiste al avance un 25% menos aprox. que la carena existente del buque.

Además, la potencia está afectada de forma directa por la resistencia al avance, con lo que podríamos disminuir la potencia un 25% aprox. y en consecuencia de esto, un 25% de ahorro de combustible que conlleva además una disminución de los efectos contaminantes en el medio ambiente.

Cabe destacar que el aspecto propulsivo es solo una parte del proyecto de un buque, con lo que se debería evaluar el impacto en todos los aspectos de diseño para obtener un adecuado proyecto final.

BIBLIOGRAFÍA

J. Holtrop and G. G. J. Mennen, 1982: An Appoximate Power Prediction Method, International Shipbuilding Progress, Vol. 29, No. 335.

REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE MEDIANTE VELAS RÍGIDAS Y PANELES SOLARES

Cachaza Vázquez, Lucía[1]; Pérez López, Gabriel[2]; Villa Caro, Raúl[3] ; Fraguela Formoso, José Ángel[4]

[1]Universidad de A Coruña. Escuela Politécnica Superior. España. lucia.cachaza@udc.es
[2]Universidad de A Coruña. Escuela Politécnica Superior. España. gabriel.perez.lopez@udc.es
[3]Dr. Ing. Naval y Oceánico / Cap. Marina Mercante. Raúl Villa Caro. Escuela Politécnica Superior. Universidad de A Coruña. España. raul.villa@udc.es
[4]Dr. Ing. Naval. Escuela Politécnica Superior. Universidad de A Coruña. España. jafraguela@udc.es

RESUMEN.

Debido a su dependencia del combustible fósil y al hecho de que es una de las fuentes de emisiones antropogénicas menos reguladas, las emisiones del sector del transporte marítimo contribuyen significativamente a la polución del aire y al cambio climático. El impacto medioambiental se centra principalmente en las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NO_X), dióxido de azufre (SO_2) y partículas sólidas ($PM_{2.5}$).

Gracias a la concienciación social e institucional, en esta década se están implementando importantes normas medioambientales que restringen las emisiones de gases, tanto a nivel local como global. El cumplimiento de las mismas es un desafío que depende de diversos factores, entre los que se incluyen las restricciones financieras, la inmadurez de la tecnología y la incertidumbre en cuanto a su implantación y las consecuencias de su incumplimiento.

Durante la década de los 80 y debido al gran aumento del precio del combustible, se construyeron algunos buques en Japón equipados con velas rígidas, que junto con el motor principal, consiguieron una reducción en el consumo de combustible. Fueron los primeros pasos en el campo de la "propulsión asistida por el viento". Además, en las últimas décadas se ha producido un desarrollo importante de la energía solar, siendo ampliamente instalada en instalaciones terrestres.

En este trabajo queremos analizar la capacidad de las energías eólica y solar para conseguir una reducción en el consumo de combustible de un buque mercante de mediano tamaño, con el fin de alentar a la industria naval hacia la consecución de buques más ecológicos y respetuosos con el medio ambiente.

Palabras clave: buque; velas; paneles solares, eficiencia energética

1. INTRODUCCIÓN.

Hasta la fecha, la mayoría de las mejoras en la eficiencia del consumo de combustible en los buques se han llevado a cabo a través de cambios en su funcionamiento, como puede ser la navegación lenta, y a la reducción de la potencia instalada, en ambos casos intentando cumplir con los requerimientos del Índice de Diseño de Eficiencia Energética (EEDI). Los nuevos combustibles (principalmente el LNG) y las tecnologías híbridas han sido adoptadas por operadores del Norte de Europa y de América del Norte en nichos con tonelajes pequeños o especializados, tales como los ferris. Mientras tanto, los buques de carga de línea regular todavía tienen que dar pasos tecnológicos u operacionales significativos [1]. La dramática bajada en el precio del petróleo y de los combustibles para buques durante 2014 ha menguado el estímulo de los operadores en reducir el consumo de energía, al menos de momento.

Para cubrir la potencial demanda de sistemas de bajo consumo energético y reducir las emisiones de carbono, han surgido un gran número de ideas tecnológicas de ahorro de energía. Muchos de estos conceptos no son completamente innovadores, pero se obtienen beneficios significativos a partir de nuevos entendimientos, materiales o métodos. Uno de estos viejos conceptos con una renovada vida es la propulsión asistida por el viento.

El interés en la propulsión asistida por el viento comenzó en la década de 1980, motivado, de un modo similar al actual, por la crisis del petróleo de los años 70. Al mismo tiempo que la tecnología se mostraba prometedora, los precios del combustible se estabilizaron y supuso un freno en su desarrollo y adopción. En 2015, se puede argumentar que la tecnología de la propulsión asistida por el viento afronta la misma amenaza (la reducción de los estímulos debida la caída de los precios de los combustibles), a pesar de su potencial para conseguir ahorros de combustible de dobles dígitos. Actualmente, vivimos en un mundo diferente, donde muchas organizaciones ven beneficios que van más allá de reducir los costes

operacionales, buscando disminuir las emisiones de carbono y la dependencia sobre los combustibles fósiles [2]. A este respecto, la propulsión asistida por el viento ofrece una de las pocas opciones realistas para introducir las energías renovables en el transporte marítimo.

En algunos de los conceptos desarrollados se busca conseguir un sistema híbrido de energías renovables, empleando no sólo la energía eólica, sino también la energía solar. Los avances recientes en las tecnologías de células solares y módulos fotovoltaicos han hecho que la energía solar se convierta en una opción, con un coste efectivo, para la reducción de combustible en embarcaciones de recreo, ferris y buques de pasaje. Sin embargo, la cantidad de combustible ahorrado en buques grandes utilizando solamente la energía solar es relativamente pequeña.

A pesar de ello, varias empresas han comenzado a desarrollar diseños de velas rígidas que, además de aprovechar la fuerza del viento, sean capaces también de utilizar la energía solar. Para ello, las velas se recubren con paneles solares, que proporcionan un empuje propulsivo extra y son una fuente útil de energía auxiliar, de modo que puedan ser utilizados tanto durante la navegación como en las estancias en puerto. Sin embargo, la combinación de tecnologías eólica y solar debe estudiarse convenientemente, ya que la complejidad y el coste de la instalación pueden aumentar notablemente.

2. PROPULSIÓN ASISTIDA POR EL VIENTO: VELAS RÍGIDAS.

La propulsión asistida por el viento se basa en la utilización de un dispositivo para capturar la energía del viento y generar un empuje [1]. El empuje requerido para propulsar el buque a través del agua se obtiene de la combinación de este dispositivo con el motor del buque. Esto reduce la cantidad de energía propulsora efectiva necesaria para conseguir una velocidad dada. La propulsión asistida por el viento puede funcionar de dos formas:

i. Mantener la misma velocidad del buque para una potencia reducida del motor. Esto significa una reducción en el consumo de combustible, en los costes y en las emisiones de CO_2.

ii. Incrementar la velocidad del buque para la misma potencia del motor. Esto implica reducir la duración de las travesías y, potencialmente, incrementar la rentabilidad del buque.

La propulsión asistida por el viento es una de las pocas tecnologías aplicables a buques que ofrecen ahorros potenciales de combustible de dobles dígitos, aunque los ahorros reivindicados por las diferentes tecnologías eólicas varían ampliamente, llegando a alcanzar valores cercanos al 50%. Estas variaciones no son debidas únicamente a los diferentes tipos de tecnologías, sino también a las diversas opciones para su implementación y a la influencia de los factores operacionales, tales como las condiciones climáticas y la ruta del buque. Entre las diferentes opciones de tecnologías para la propulsión asistida por el viento, en este trabajo nos centraremos en la utilización de velas rígidas.

Al contrario que las velas tradicionales, las cuales son flexibles, las velas rígidas modernas son perfiles aerodinámicos (tipo NACA0030 en [3], NACA0021 y EPPLER420 en [4]) de placas metálicas o materiales compuestos, con geometrías y configuraciones variadas. Dependiendo del tamaño del buque, del espacio disponible en cubierta y de otras restricciones, se pueden disponer múltiples juegos de velas. El principio operativo es el mismo que el de cualquier perfil aerodinámico: cuando la vela se mueve a través de un fluido, este produce una fuerza aerodinámica consistente en una sustentación y un arrastre.

Una característica fundamental para la implantación de los sistemas de velas rígidas en los buques es la capacidad de los mástiles que las soportan para rotar. Mediante la rotación del perfil hasta alcanzar el ángulo de ataque óptimo, se puede maximizar la sustentación. El mecanismo de rotación debe estar totalmente automatizado, de modo que el sistema se ajuste en tiempo real con el viento actuante, contando además con un control desde el puente para tomar decisiones manualmente. En situaciones de fuertes vientos que puedan comprometer la integridad de la estructura, se debe orientar las velas hasta oponer la mínima resistencia al viento. Una vela rígida puede producir empuje hasta un ángulo de ataque ligeramente superior a 30°, lo que significa que las velas podrían desarrollar empuje útil en la mayoría de las condiciones.

Otra propiedad clave para el éxito de los sistemas de propulsión asistida por el viento utilizando velas rígidas es la capacidad de las mismas para ser arriadas. Mediante un mecanismo de arriamiento telescópico vertical, como el que se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, con un diseño cuyas secciones son crecientes en sentido vertical, las piezas superiores envuelven a las inferiores al arriarse, reduciendo notablemente el área expuesta y la altura de las velas. Esta característica es fundamental en

condiciones de vientos muy fuertes, cuando la estructura puede estar en riesgo; durante las maniobras en puerto, facilitando las tareas de carga y descarga; y en canales con restricciones al calado aéreo, permitiendo al buque navegar evitando obstáculos tales como puentes. Sin embargo, la solución retráctil añade una complejidad mecánica considerable y, una vez arriadas, incluso podría ocupar espacio en el interior del casco, impidiendo su uso para carga y afectando a la rentabilidad del buque.

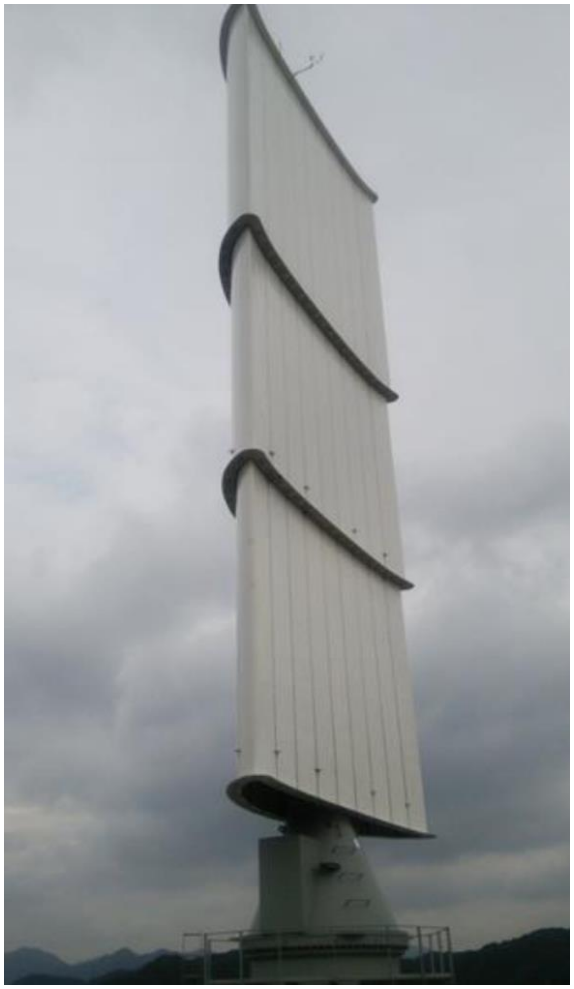


Figura 1. Modelo a escala de la vela del proyecto "UT Wind Challenger" [6][7]

La efectividad de la propulsión asistida por el viento mediante velas rígidas estará determinada por la capacidad para aprovechar la máxima energía eólica posible y evitar las situaciones desfavorables. Un factor a tener en cuenta es el gradiente vertical del viento. La velocidad del viento atmosférico disminuye al acercarse a la superficie, tanto del mar como de la tierra. Disponer una superficie vélica mayor en la parte superior de las velas, donde la velocidad del viento es más alta, podría suponer un mayor aprovechamiento de la energía.

Además, el beneficio que se pueda obtener de la velocidad del viento atmosférico reinante, dependerá de la posibilidad de ofrecer toda la superficie vélica al flujo de viento de forma óptima. Estas condiciones sólo se dan cuando un barco navega adrizado. Cuanto más escora el buque, más se reduce la superficie útil y menos viento pueden aprovechar las velas, con lo que se reduce la fuerza vélica y, en consecuencia, el empuje. Este efecto es muy significativo en pequeñas embarcaciones de vela, mientras que en buques de mayor porte debería atenuarse, aunque nunca despreciarse.

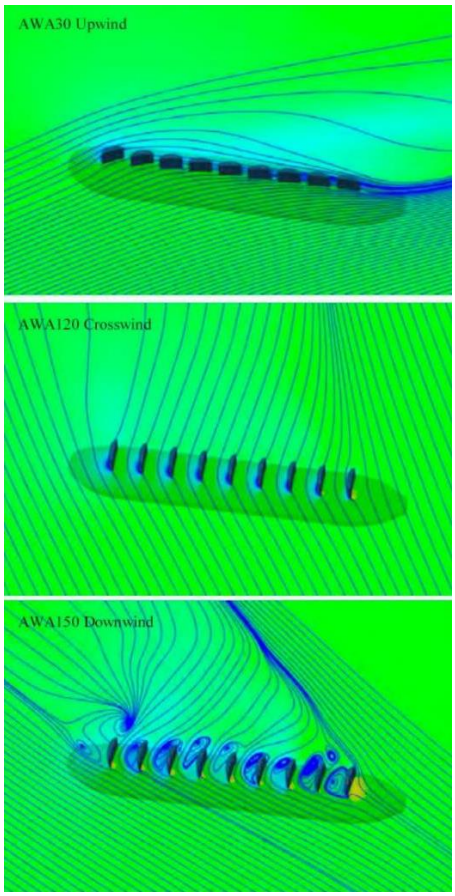


Figura 2. Modelo CFD para la interacción aerodinámica entre velas en cascada [6][7]

También existe un efecto adverso al instalar varias velas rígidas sobre la cubierta del buque (disposición conocida como “velas en cascada”). Es imprescindible instalar varias velas para conseguir el empuje necesario; es posible que, según la dirección del viento reinante, se produzca una interacción aerodinámica entre las diferentes velas. En la Figura 2 se puede apreciar esta interacción en un modelo CFD para diferentes ángulos de viento aparente. Rotando los mástiles individualmente, de modo que se adapten a las perturbaciones en el

flujo causadas por el resto de velas, se podría obtener el máximo empuje posible para cada condición de viento.

3. ESTUDIO DE APLICACIÓN DE VELAS RÍGIDAS A UN BUQUE GRANELERO

Teniendo en cuenta las referencias que sirvieron de inspiración para este trabajo, los tipos de buques que mejor se ajustan a la instalación de velas rígidas son los graneleros y los petroleros, siendo los graneleros los más adecuados debido a que suelen estar sometidos a menores presiones temporales que los petroleros [5].

Por este motivo, hemos estudiado el empuje logrado en un granelero, cuyas características principales se indican en la Tabla 1, al que se le instalarían tres velas rígidas.

L_{PP} [m]	180,00	Desplazamiento [t]	53.740
B [m]	30,00	Velocidad servicio [nudos]	15,00
D [m]	16,15	Peso muerto [t]	44.500
T [m]	12,10	Arqueo bruto [GT]	24.730
C_B	0,81	Potencia motor principal [kW]	12.240

Tabla 1. Características principales del buque bajo estudio

Para dimensionar las velas se han utilizado tres diseños diferentes, basados en modelos reales o en proyecto, que se resumen a continuación:

- Diseño Pioneer: empleado en el buque granelero japonés *Usuki Pioneer*, construido en 1984 en el astillero Usuki Iron Works, Ltd. Saiki Shipyard. Las dimensiones de sus velas rígidas son 20 m de manga y 15 m de altura.

- Diseño Cosco: la naviera china Cosco anunció en 2008 un acuerdo con la empresa australiana Solar Sailor para la instalación de velas rígidas en un petrolero y un granelero. Desgraciadamente, la naviera decidió no continuar con el proyecto, argumentando la dificultad de implantar las energías renovables en el comercio

marítimo. Estas velas de aluminio tendrían unas dimensiones de 12 metros de manga y 30 m de altura.

- Diseño Challenger: basado en el "Wind Challenger", proyecto desarrollado por la Universidad de Tokyo junto con las mayores navieras japonesas [6][7]. El buque estaría equipado con nueve velas rígidas extremadamente grandes (20 m de manga y 50 m de altura), fabricadas con un compuesto CFRP muy ligero. Se espera que generen suficiente empuje para propulsar un granelero de 180.000 TPM, a una velocidad de 14 nudos con una velocidad del viento de 12 m/s.

El proveedor de energía eólica para navegar a vela no es el viento atmosférico sobre el agua, sino un viento relativo originado en un sinfín de variaciones a partir del viento atmosférico y el viento causado por el avance del buque. Aunque habitualmente se habla de viento aparente, no se trata estrictamente de una fuerza aparente, sino de una fuerza real que permite generar la energía con la que las velas pueden desarrollar una potencia medible y conseguir el avance del barco.

Para el cálculo del viento aparente se emplea el triángulo de velocidades. Su composición es muy sencilla. El barco se mueve a una velocidad V_S siguiendo su rumbo y la composición de los vectores V_T, velocidad del viento real (el que sentiría el barco parado), y V_S, en la misma dirección pero en sentido contrario al avance del buque, genera por diferencia un vector de viento aparente V_A, que es el que siente el barco. El ángulo de viento aparente β es el determinado por los vectores V_S y V_A, mientras que el ángulo de viento real γ es el formado por los vectores V_S y V_T.

Para este trabajo se ha supuesto una velocidad del buque V_S = 10 nudos. Esta cifra es considerablemente inferior a la velocidad de servicio del buque estudiado (V_{SERV} = 15 nudos), pero teniendo en cuenta el interés en navegaciones lentas para reducir el consumo de combustible, sería una situación más realista para el cálculo del viento aparente que suponer que el buque navega a su velocidad de servicio, con el motor funcionando a una carga alta.

En cuanto a la velocidad del viento real V_T, se han supuesto tres velocidades distintas: 8, 14 y 18 nudos. Estas velocidades se corresponden con valores en la escala de viento Beaufort 3, 4 y 5; son valores bajos-medios de la escala, ya que consideramos más interesante comprobar los resultados obtenidos con vientos moderados. Además, se han supuesto tres

valores distintos para el ángulo de viento aparente β: 15°, 30° y 45°. De esta forma, para cada velocidad del viento real V_T se obtienen tres condiciones distintas, haciendo un total de nueve situaciones estudiadas.

Una vez obtenidos los valores de la velocidad de viento aparente V_A, el siguiente paso es calcular el empuje que dicho viento generará sobre la superficie de las velas. Según [6][7], el empuje T generado por las velas rígidas se puede expresar como:

$$T = 0{,}5 * \rho_a * V_A^2 * A * C_X \quad [kgf] \qquad (1)$$

Donde ρ_a es la densidad del aire, A es superficie vélica total y C_X es el coeficiente de empuje (parámetro variable de acuerdo con el ángulo de viento aparente β). Empleando (1) para los tres diseños de velas y las nueve alternativas de viento aparente V_A, junto con una predicción de la resistencia al avance y de la potencia necesaria para el buque granelero estudiado, se han obtenido los resultados indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Como se puede ver en la Tabla 2, los resultados obtenidos con el diseño Challenger son muy superiores a los conseguidos por los diseños Pioneer y Cosco. Esto se debe a que la superficie de las velas rígidas del Challenger es mucho mayor, siendo la única variable en la Ecuación 1 respecto a los otros diseños. Es interesante destacar que para cinco de las nueve alternativas del diseño Challenger se consiguen velocidades superiores a la velocidad supuesta del buque VS = 10 nudos. Al aumentar la velocidad del buque por encima de la propuesta, la velocidad del viento aparente VA también aumentará, provocando una retroalimentación hasta un valor límite. En la mejor alternativa (VT = 18 nudos, β = 15°), dicho valor límite se alcanza a una velocidad V = 15,357 nudos, mayor que la velocidad de servicio del buque bajo estudio VSERV = 15 nudos.

Aunque estos resultados se han obtenido a partir de un estudio básico, que no tiene en cuenta los posibles efectos adversos anteriormente mencionados (la escora del buque, un ángulo de ataque no ideal, la interacción aerodinámica entre las velas en cascada) ni la diferente disposición de las velas (que favorecería a los diseños verticales debido al gradiente vertical del viento), se puede concluir que los resultados conseguidos son estimulantes para profundizar en este campo de estudio y alcanzar el objetivo de crear un sistema de

propulsión híbrido más respetuoso con el medio ambiente, reduciendo significativamente las emisiones de CO2.

Alternativa para VA	Diseño Pioneer			Diseño Cosco			Diseño Challenger		
	T			***T*** **(kN)**	***V*** **(nudos)**	**% Ahorro Potencia**	***T*** **(kN)**	***V*** **(nudos)**	**% Ahorro Potencia**
(kN)	V (nudos)	% Ahorro Potencia	T	79,67	4,67	3,45%	219,28	7,93	15,22%
(kN)	V (nudos)	% Ahorro Potencia	T	59,63	4,01	2,21%	164,12	6,81	9,94%
(kN)	V (nudos)	% Ahorro Potencia		31,38	2,86	0,68%	86,37	4,87	3,89%
VT = 8 nudos				147,18	6,44	8,48%	405,11	10,93	38,18%
β = 15°	66,52	4,25	2,63%	126,81	5,95	6,83%	349,04	10,11	30,48%
VT = 8 nudos				98,46	5,21	4,72%	271,02	8,86	20,85%
β = 30°	49,79	3,65	1,65%	202,56	7,61	13,53%	557,53	12,92	61,80%
VT = 8 nudos				180,76	7,17	11,45%	497,53	12,18	52,07%
β = 45°	26,20	2,61	0,42%	149,78	6,49	8,70%	412,27	11,04	39,20%

Tabla 2. Empuje y velocidad generados por las velas y porcentaje de ahorro en la potencia necesaria para conseguir la velocidad de servicio VSERV = 15 nudos

4. PANELES SOLARES SOBRE LA SUPERFICIE VÉLICA.

Los barcos también pueden beneficiarse de la energía solar. La cubierta de un buque siempre está orientada al Sol, por lo que reciben una gran cantidad de esta energía de forma gratuita, siendo dicha energía un modo altamente beneficioso de producir energía eléctrica. Sin embargo, la cantidad de combustible ahorrado en buques grandes utilizando solamente la energía solar es relativamente pequeña.

Varias empresas han comenzado a desarrollar diseños de velas que, además de aprovechar la fuerza del viento, sean capaces también de utilizar la energía solar a través de paneles solares

en su superficie. El concepto de "vela energética" hace referencia a una vela rígida dispuesta en el buque, capaz de rotar automáticamente para sacar el máximo partido del viento y ayudar a propulsar el buque; al mismo tiempo, los paneles solares incorporados en la vela aprovechan la energía solar para proporcionar energía eléctrica y reducir la cantidad de combustible utilizado por los generadores auxiliares.

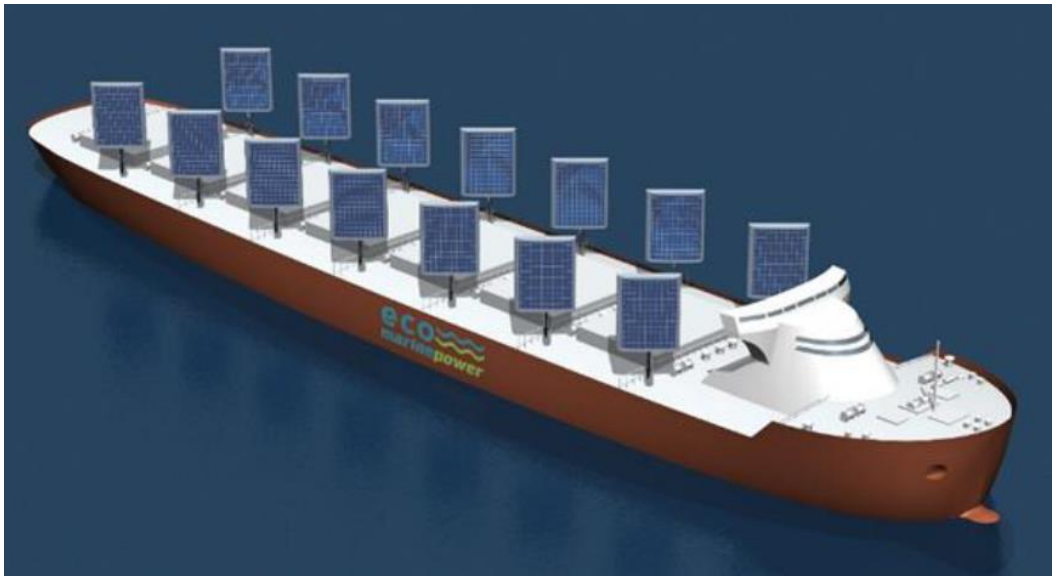


Figura 3. Proyecto de Eco Marine Power que incluye paneles solares sobre la superficie de sus velas rígidas [5]

Sin embargo, los paneles solares pueden usarse mientras el buque está en puerto, almacenando la energía en módulos de baterías y, potencialmente, proporcionar la totalidad de electricidad, totalmente libre de emisiones, necesaria para las operaciones mientras el buque no está en la mar.

Para introducir la energía solar en el buque es necesario convertirla en energía eléctrica. La electricidad puede ser usada y transportarse a lo largo de todo el buque. Las células fotovoltaicas son las encargadas de realizar la conversión de la energía solar en eléctrica. Se necesita convertir la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), de modo que la red eléctrica de 50 o 60 Hz pueda transportar la energía por el buque. Estas conversiones de la energía reducen la eficiencia total del sistema.

Tras analizar el mercado de los paneles solares, buscando aquellos modelos con las mayores eficiencias, aunque principalmente destinados a instalaciones terrestres con ambientes menos

agresivos que el marino, podemos hacernos una idea del estado de esta tecnología y asemejar su rendimiento al limitado espacio que supone una vela. El modelo escogido ha sido el panel X21-345-COM de la marca SunPower Corporation [8]. Los paneles de esta empresa estadounidense consiguen una eficiencia media del panel del 21,5% y entregan 345 W (en condiciones de prueba estándar de 25°C y una irradiancia solar de 1000 W/m^2).

5. APLICACIÓN DE LOS PANELES X21-345-COM A LOS DISEÑOS DE VELA CONSIDERADOS.

Partiendo de las dimensiones de los diseños de velas considerados anteriormente, se deben adaptar teniendo en cuenta las dimensiones de los paneles X21-345-COM (1559x1046x46 mm). Los paneles no se instalarían completamente pegados entre sí, sino que estarían ligeramente separados. Por ello, se ha decidido suponer una separación de 10 cm entre cada panel, tanto en el sentido de la manga como de la altura de la vela. Por otra parte, la instalación de los paneles no se realiza directamente en los extremos de las velas, sino que es necesario dejar un marco o borde. En este caso, se ha optado por considerar un marco de 1 metro de anchura.

De acuerdo con estas dimensiones, tanto del panel como de la separación entre paneles consecutivos y del marco de la vela, las dimensiones finales de las velas y el número de paneles solares que se instalarán en ellas se pueden ver en la Tabla 3.

La potencia que entregará cada panel solar dependerá, principalmente, de la temperatura de funcionamiento y de la cantidad de radiación solar que reciba. Si la vela no está bien orientada o las condiciones climáticas no son las idóneas, la irradiancia solar disminuirá significativamente, afectando al rendimiento de los paneles. Una pequeña zona de sombras puede provocar una gran pérdida de potencia entregada por el panel.

Al contrario de lo que podría pensarse, los paneles solares desarrollan una menor potencia a medida que aumenta su temperatura de funcionamiento. Esto se debe a varios motivos, que se pueden resumir en los siguientes:

- El ancho de la banda prohibida (espacio donde se lleva a cabo el proceso de conversión de la luz en energía eléctrica) disminuye al aumentar la temperatura.

- Los semiconductores, incluyendo las células solares, tienen estructuras de rejilla regular, con los átomos situados en posiciones fijas. El aumento de la energía cinética de los átomos al incrementarse la temperatura provoca que los movimientos de los átomos sean más rápidos y violentos, afectando al rendimiento de la célula solar.

- El aumento de la temperatura de la célula solar disminuye su tensión. Cuanto menor es la tensión, menor es la energía producida por la célula.

Diseño	**Altura de la vela (m)**	**Manga de la vela (m)**	**Superficie vélica (m^2)**	**Nº de paneles (vertical)**	**Nº de paneles (horizontal)**	**Nº paneles por vela**
Pioneer	15,172	20,236	307,021	8	16	128
Cosco	30,103	12,214	367,678	17	9	153
Challenger	50,011	20,236	1.012,023	29	16	464

Tabla 3. Dimensiones de las velas y número de paneles instalados en cada diseño.

Los fabricantes de paneles fotovoltaicos proporcionan, en la especificación de sus productos, los coeficientes de temperatura para la potencia, el voltaje y la corriente generada por los paneles. Para este estudio se utilizará el coeficiente de temperatura de potencia (C_{TEMP}) indicado en la especificación de los paneles X21-345-COM, cuyo valor es de -0,30 %/°C.

Teniendo en cuenta estos dos factores, temperatura de funcionamiento e irradiancia solar, se ha elaborado la Tabla 4 de potencia entregada, en kW, para cada uno de los diseños considerados. Se han variado los valores de temperatura de funcionamiento (T_X) e irradiancia solar ($\%_{IRR}$) para obtener una serie de valores en las diferentes condiciones posibles.

Como se puede observar en la Tabla 4, la energía eléctrica producida por la instalación de los paneles solares en la superficie de las velas es muy reducida, alcanzando únicamente un 5,59% de la potencia del motor principal para el diseño Challenger, con un 100% de irradiancia solar y una temperatura de funcionamiento de 25°C. Si toda la energía generada se invirtiese en propulsar el buque, no se alcanzarían los seis nudos.

$\%_{IRR}$	Diseño Usuki			Diseño Cosco			Diseño Challenger		
	T_X (°C)								
	5	25	45	5	25	45	5	25	45
10	14,043	13,248	12,453	16,786	15,836	14,885	50,905	48,024	45,143
20	28,086	26,496	24,906	33,571	31,671	29,771	101,811	96,048	90,285
30	42,129	39,744	37,359	50,357	47,507	44,656	152,716	144,072	135,428
40	56,172	52,992	49,812	67,143	63,342	59,541	203,622	192,096	180,570
50	70,214	66,240	62,266	83,928	79,178	74,427	254,527	240,120	225,713
60	84,257	79,488	74,719	100,714	95,013	89,312	305,433	288,144	270,855
70	98,300	92,736	87,172	117,499	110,849	104,198	356,338	336,168	315,998
80	112,343	105,984	99,625	134,285	126,684	119,083	407,244	384,192	361,140
90	126,386	119,232	112,078	151,071	142,520	133,968	458,149	432,216	406,283
100	140,429	132,480	124,531	167,856	158,355	148,854	509,054	480,240	451,426

Tabla 4. Potencia entregada, en kW, por los paneles solares para cada diseño de vela considerado.

A pesar de que las potencias generadas no serían aprovechables para la propulsión del buque, se podrían utilizar para equipos auxiliares, tales como la iluminación del buque, la carga de la habilitación, etc. La posibilidad de almacenar la energía generada en baterías hace que se pueda alimentar estos servicios tanto de día, cuando los paneles solares producen la energía y cargan las baterías, como durante la noche, descargándolas al aprovechar la energía almacenada.

6. CONCLUSIONES.

La propulsión asistida por el viento mediante velas rígidas para proporcionar empuje al buque es una opción prometedora, arrojando resultados muy interesantes. Tras estimar el empuje producido por las velas y aplicar los resultados a una predicción de la resistencia al avance y de la potencia propulsiva de un buque granelero de tamaño medio, en la mejor condición de viento obtuvimos resultados de dobles dígitos en ahorro de potencia propulsora

para los tres diseños considerados. Los resultados del diseño Challenger son extraordinarios dado que su superficie vélica triplica la de los otros diseños. Estos resultados no son más que una aproximación al potencial de esta tecnología y creemos que se debería profundizar en su investigación, realizando estudios más exhaustivos que tengan en cuenta todas las variables mencionadas en este trabajo.

En cuanto a la energía producida por los paneles solares y a pesar de los avances realizados en esta industria durante las últimas décadas, vemos que el potencial para propulsar buques mercantes de mediano y gran tamaño es realmente escaso. La eficiencia de los paneles solares comerciales todavía es inferior al 25%, por lo que es necesario un gran espacio en cubierta para alcanzar un nivel de potencia aceptable. A pesar de ello, esta producción de energía libre de emisiones puede resultar útil para alimentar servicios auxiliares del buque, tanto durante la navegación como en las estancias del buque en puerto, reduciendo la demanda de potencia a los motores del buque o a la red de suministro del puerto al aprovechar la energía almacenada en las baterías.

La aplicación de estos sistemas a un buque mercante todavía tiene que recorrer un camino lleno de incertidumbres. El empuje conseguido mediante las velas rígidas, su resistencia durante tormentas con fuertes vientos, la complejidad de los mecanismos de rotación de los mástiles o la instalación necesaria para emplear la energía generada por los paneles solares, por ejemplo, son algunos de los puntos clave que pueden afectar a la viabilidad económica del proyecto. Si estos factores no son analizados con la suficiente profundidad y aproximación a la realidad, las navieras recelarán de la tecnología y no apostarán por ella.

Los miembros de la comunidad naval debemos adelantarnos a las necesidades de la industria y entender la importancia de alcanzar una menor dependencia de los combustibles fósiles para la propulsión de los buques. Este hecho no radica solamente en el significativo ahorro económico que supone la reducción del consumo de combustible, sino en el impacto medioambiental que implica la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y partículas contaminantes. La sociedad y las instituciones están cada vez más concienciadas de lo necesario que resulta conservar nuestro entorno natural de un modo respetuoso y sostenible, siendo nuestra obligación el avanzar hacia una nueva era de buques más ecológicos.

7. REFERENCIAS.

[1] Lloyd's Register Marine, "Wind-Powered Shipping," 2015.

[2] Det Norske Veritas, "Shipping 2020," 2012.

[3] T. Fujiwara, K. Hirata, M. Ueno, and T. Nimura, "On Aerodynamic Characteristics of a Hybrid-Sail with Square Soft Sail," Int. Offshore Polar Eng. Conf., vol. 5, pp. 326–333, 2003.

[4] L. Qiao, N. Yasunori, and I. Yoshiho, "A Study on Performance of Cascade of Wing Sails for Sail-equipped Vessels - Considering Their Aerodynamic Interaction," Isope, 2012.

[5] D. Pike, "The Motorship - The wind as fuel. http://www.motorship.com/news101/comment-and-analysis/the-wind-as-fuel 29," pp. 44–45, 2013.

[6] K. Ouchi, K. Uzawa, and A. Kanai, "Huge Hard Wing Sails for the Propulsor of Next Generation Sailing Vessel *," no. June, pp. 1–5, 2011.

[7] K. Ouchi, K. Uzawa, A. Kanai, and M. Katori, "' Wind Challenger ' the Next Generation Hybrid Sailing Vessel," no. May, pp. 562–567, 2013.

[8] SunPower Corporation, "SUNPOWER X-Series Commercial Solar Panels X21-345-COM," 2013. [Online]. Available: http://us.sunpower.com/sites/sunpower/files/media-library/data-sheets/ds-x21-series-345-commercial-solar-panels.pdf.

IDENTIFICACIÓN DE COEFICIENTES HIDRODINÁMICOS DE MANIOBRABILIDAD DE BUQUES EN AGUAS POCO PROFUNDAS

Carrillo Castellanos, Sandra[1]; Cárdenas Gastelbondo, Luís[2] ; Contreras Montes, Juan [3]

[1]Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, Cartagena, Colombia. spcarrillo@gmail.com;

[2]Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, Cartagena, Colombia. lecardenasg@gmail.com,

[3]Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, Cartagena, Colombia.epcontrerasj@ieee.org

RESUMEN.

Este artículo presenta una metodología para la obtención de coeficientes hidrodinámicos de maniobrabilidad de vehículos de superficie a partir de datos obtenidos de pruebas estándares, como círculo evolutivo, y empleando técnicas de identificación de sistemas así como técnicas basadas en inteligencia artificial. La metodología de identificación es validada empleando resultados obtenidos en otras pruebas de mar realizadas en condiciones similares.

Palabras clave: coeficientes hidrodinámicos, mabiobrabilidad, identificación de sistemas, modelo de Nomoto.

1. INTRODUCION.

De acuerdo con la Organización Marítima Internacional, OMI, la Asociación Internacional de Contratistas Marinos IMCA, y otras clases de sociedades de certificación , un buque de posicionamiento dinámico se relaciona con el control automático de la posición del buque y el rumbo con respecto a una o más referencias de posición por el uso de propulsores activos [1]. El mantener el curso de un buque es un problema complejo debido a la dinámica no lineal del buque , pero tiene un gran impacto en la economía, seguridad y la operación del buques [2, 3].

Para la descripción de la dinámica de vehículos de superficie, los autores han empleado diferentes tipos de modelos, como el modelo de Nomoto [4,5,6], el modelo de Norbin [7] y otros.

Para los datos de las pruebas se ha tomado como modelo de estudio el Buque Patrullero de Apoyo Fluvial Pesada "PAF-P" de 3ª generación construida por COTECMAR 2009. El buque fue sometido apruebas de círculo evolutivo a diferentes velocidades de aproximación y ángulos de timón, zig-zag y parada emergencia en aguas someras (H/T = 2,4) y aguas profundas (H/T > 10) [8,9].

2. MODELO DE MANIOBRA LINEAL.

2.1 Ecuaciones de la dinámica de cuerpo rígido.

Las ecuaciones que controlan la dinámica de un buque se deriva de las ecuaciones de movimiento de un cuerpo rígido con 6 grados de libertad. Estas ecuaciones se muestran a continuación en forma vectorial [10]:

$$\boldsymbol{M_{RB}\dot{v} + C_{RB}(\dot{v})v = \tau_{RB}} \qquad \textbf{(1)}$$

Donde $\mathbf{M}_{RB}$ es la matriz de masa, $\mathbf{C}_{RB}$ es la matriz centrípeta y de coriolis,ves el vector de velocidad angular y lineal del cuerpo rígido ($[u, v, w, p, q, r]^{T}$) y $\boldsymbol{\tau_{RB}}$ es el vector generalizado de las fuerzas y momentos externos($[X, Y, Z, K, M, N]^{T}$)..

De la ecuación (1) se hace una expansión de los términos de los 6 grados de libertad [10]:

$$\left.\begin{aligned}
&\boldsymbol{m[\ \dot{u} - vr + wq - x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + z_G(pr + \dot{q}] = X}\\
&\boldsymbol{m[\ \dot{v} - wp + ur - y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr - \dot{p}) + x_G(qp + \dot{r}] = Y}\\
&\boldsymbol{m[\ \dot{w} - uq + vp - z_G(p^2 + q^2) + x_G(rp - \dot{q}) + y_G(rq + \dot{p}] = Z}\\
&\boldsymbol{I_x\dot{p} + (I_z - I_y)qr + m[\ y_G(\dot{w} - uq + vp) - z_G(\dot{v} - wp + ur)] = K}\\
&\boldsymbol{I_{xy}\dot{q} + (I_x - I_z)rp + m[\ z_G(\dot{u} - vr + wq) - x_G(\dot{w} - uq + vp)] = M}\\
&\boldsymbol{I_z\dot{r} + (I_y - I_x)pq + m[\ x_G(\dot{v} - wp + ur) - y_G(\dot{u} - vr + wq)] = N}
\end{aligned}\right\} \qquad \textbf{(2)}$$

Donde X, Y, Z son fuerzas perturbadoras externas e hidrodinámicas y K, M y N son momentos de perturbación hidrodinámicos y externos.

Para simplificar este modelo de ecuaciones de seis grados de libertad a 3 grados se realizan los siguientes supuestos:

1) El buque es simétrico alrededor del plano x–z $\left(\boldsymbol{I_{xy} = I_{yz} = y_G = 0}\right)$.

2) El buque tiene una distribución de masa homogénea.

3) El origen fijo del cuerpo está seleccionada como $r_G = [x_G \quad 0 \quad z_G]^T$ $(I_{xz} = 0)$

4) El cabeceo, arfada y rolido se ignoran (q = w = p= 0).

Esto produce tres ecuaciones no lineales simplificadas:

$$\left.\begin{aligned} &\boldsymbol{Surge}: \quad \boldsymbol{m\left(\dot{u} - vr - x_G r^2\right) = X} \\ &\boldsymbol{Sway}: \quad \boldsymbol{m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) = Y} \\ &\boldsymbol{Yaw}: \quad \boldsymbol{I_z\, \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ur) = N} \end{aligned}\right\} \qquad \textbf{(3)}$$

Las ecuaciones perturbadas del movimiento se basan en un supuesto adicional: la velocidad de desvío (sway) $\boldsymbol{v}$, y la velocidad de guiñada (yaw rate) $\boldsymbol{r}$ y el ángulo de timón (rudder angle) δ son pequeños.

Esto implica que el modo de avance (surge), puede ser disociado de los modos de desvío y guiñada suponiendo que velocidad promedio de avance u_0 es constante para un empuje constante. Del mismo modo, se supone que las velocidades medias de desvío y guiñada son $\boldsymbol{v_0 = r_0 = 0}$. Por tanto:

$$u = u_0 + \Delta u; \qquad v = \Delta v; \qquad r = \Delta r$$

$$X = X_0 + \Delta X; \qquad Y = \Delta Y; \qquad V = \Delta N$$

Donde $\Delta u,\ \Delta v\ and\ \Delta r$ son pequeñas perturbaciones de valores nominales $u_0,\ v_0\ and\ r_0$, and $\Delta X,\ \Delta Y\ and\ \Delta N$ son pequeñas perturbaciones de valores nominales $X_0,\ Y_0\ and\ N_0$.

Suponiendo que las perturbaciones de orden superior pueden despreciarse, las ecuaciones no lineales de movimiento se pueden expresar como:

$$\left.\begin{aligned} m\Delta\dot{u} &= X_0 + \Delta X \\ m(\Delta\dot{v} + u_0\Delta r + x_G\Delta\dot{r}) &= \Delta Y \\ I_z\Delta\,\dot{r} + mx_G(\Delta\dot{v} + u_0\Delta r) &= \Delta N \end{aligned}\right\} \quad \textbf{(4)}$$

Observe que las ecuaciones de gobierno del movimiento están completamente desacopladas de la ecuación de velocidad.

$$\left.\begin{aligned} \textbf{Ecuación de velocidad}: \quad m\Delta\dot{u} &= X \\ \textbf{Ecuaciones de gobierno}: \quad m(\dot{v} + u_0 r + x_G\dot{r}) &= Y \\ I_z\,\dot{r} + mx_G(\dot{v} + u_0 r) &= N \end{aligned}\right\} \quad \textbf{(5)}$$

La suposición de que la velocidad de avance media es constante implica que este modelo sólo es válido para los pequeños ángulos de timón

2.1.1. Ecuación de Nomoto de primer orden.

Partiendo de la ecuación de gobierno: $I_z\,\dot{r} + mx_G(\dot{v} + u_0 r) = N$

Reorganizando y sustituyendo la constante de tiempo de gobierno $T = {I_z}/{mx_G u_0}$ y la ganancia del timón $K = {N}/{\delta_R mx_G u_0}$ quedaría expresada la Ecuación de Nomoto de primer Orden de la forma [11]: $T\dot{r} + r = K\delta_R$

O alternativamente: $T\dot{r}\ddot{\psi} + \dot{\psi} = K\delta_R$ con $\dot{\psi} = r$ **(6)**

Reorganizado la ecuación a la forma estado-espacio:

$\dot{x} = Ax + Bu \quad y = Cx$, el modelo de Nomoto de primer Orden se convierte en:

$$\left.\begin{aligned}\begin{bmatrix}\dot{\psi}\\ r\end{bmatrix} &= \begin{bmatrix}0 & 1\\ 0 & -\frac{1}{T}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\psi\\ r\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0\\ \frac{K}{T}\end{bmatrix}\delta_R \text{ (forma de Tiempo constante)}\\ \begin{bmatrix}\dot{\psi}\\ r\end{bmatrix} &= \begin{bmatrix}0 & 1\\ 0 & a_{22}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\psi\\ r\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0\\ b_2\end{bmatrix}\delta_R \text{ (forma Paramétrica)}\end{aligned}\right\} \quad \textbf{(7)}$$

2.1.2. Ecuación de Nomoto de segundo orden.

Un modelo de segundo orden desvío-guiñada se obtiene de las ecuaciones de movimiento con 3 grados de libertad y desacoplada en avance, asumiendo pequeñas perturbaciones tenemos:

$$\boldsymbol{Ecuaciones\ de\ gobierno}: \quad \boldsymbol{m(\dot{v} + u_0 r + x_G \dot{r})} = \boldsymbol{Y}$$

$$\boldsymbol{I_z \dot{r} + m x_G(\dot{v} + u_0 r)} = \boldsymbol{N}$$

Asumiendo el origen en el centro de gravedad ($x_G = 0$). La teoría lineal sugiere que la fuerza hidrodinámica y el momento se pueden modelar como (Davidson y Schiff (1946) [12]:

$$\left.\begin{aligned}\boldsymbol{Y} &= \boldsymbol{Y_{\dot{v}}\dot{v} + Y_{\dot{r}}\dot{r} + Y_v v + Y_r r + Y_\delta \delta_R}\\ \boldsymbol{N} &= \boldsymbol{N_{\dot{v}}\dot{v} + N_{\dot{r}}\dot{r} + N_v v + N_r r + N_\delta \delta_R}\end{aligned}\right\} \quad \textbf{(8)}$$

Por lo tanto podemos escribir las ecuaciones de movimiento en la forma de estado- espacio de acuerdo a: $\boldsymbol{M\dot{v} + N(u_0)v = b\delta_R}$ se obiene el modelo de Nomoto, donde $\boldsymbol{v} = [\boldsymbol{v}, \boldsymbol{r}]^{\boldsymbol{T}}$ es el vector de estado, $\boldsymbol{\delta_R}$ el ángulo de timón, y:

$$M = \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & mx_G - Y_{\dot{r}} \\ mx_G - N_{\dot{v}} & I_z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix}; \qquad N_{(u_0)} = \begin{bmatrix} -Y_v & mu_0 - Y_r \\ -N_v & mx_G u_0 - N_r \end{bmatrix}; \qquad b = \begin{bmatrix} Y_\delta \\ N_\delta \end{bmatrix}$$

La matriz $N(u_0)$ es obtenida por la suma lineal del amortiguamiento D y los términos de Coriolis $C(u_0)$ y centrípeta (términos adicionales mu_0 y $mx_G u_0$), es decir: $\boldsymbol{N(u_0) \doteq C(u_0) + D}$

El modelo de espacio-estado correspondiente se obtiene, dejando que $\boldsymbol{v} = [\boldsymbol{v}, \boldsymbol{r}]^{\boldsymbol{T}}$ es el vector de estado y $u = \delta_R$.

Por lo tanto: $\boldsymbol{\dot{x} = Ax + b_1 u}$

Con $\boldsymbol{A = -M^{-1}N} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{a_{11}} & \boldsymbol{a_{12}} \\ \boldsymbol{a_{21}} & \boldsymbol{a_{22}} \end{bmatrix}; \qquad \boldsymbol{b_1} = M^{-1}b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$

Los coeficientes son definidos como [13]:

$$a_{11} = \frac{(I_z - N_{\dot{r}})Y_v - (mx_G - Y_{\dot{r}})N_v}{\det(M)}$$

$$a_{12} = \frac{(I_z - N_{\dot{r}})(Y_r - mu_0) - (mx_G - Y_{\dot{r}})(N_{\dot{r}} - mx_G u_0)}{\det(M)}$$

$$a_{21} = \frac{(m - Y_{\dot{v}})N_v - (mx_G - N_{\dot{v}})Y_v}{\det(M)}$$

$$a_{22} = \frac{(m - Y_{\dot{v}})(N_r - mx_G u_0) - (mx_G - N_{\dot{v}})(Y_r - mu_0)}{\det(M)} \quad \textbf{(9)}$$

$$b_1 = \frac{(I_z - N_{\dot{r}})Y_\delta - (mx_G - Y_{\dot{r}})N_\delta}{\det(M)}$$

$$b_2 = \frac{(m - Y_{\dot{v}})N_\delta - (mx_G - N_{\dot{v}})Y_\delta}{\det(M)}$$

Estos modelos se obtienen mediante la eliminación de la velocidad de desvío $\boldsymbol{v}$ desde $\boldsymbol{M\dot{v} + N(u_0)\dot{v} = b\delta_R}$ para obtener la función de transferencia Nomoto entre $\boldsymbol{r}$ and $\boldsymbol{\delta_R}$, que es:

$$\frac{\boldsymbol{r}}{\boldsymbol{\delta_R}}(\boldsymbol{s}) = \frac{\boldsymbol{K_R(1+T_3 s)}}{\boldsymbol{(1+T_1 s)(1+T_2 s)}} \quad \textbf{(10)}$$

Los parámetros de la función de transferencia son las relaciones con los derivados hidrodinámicos como:

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{T_1 T_2} &= \frac{\boldsymbol{det(M)}}{\boldsymbol{det(N)}} \\ \boldsymbol{T_1 + T_2} &= \frac{\boldsymbol{n_{11}m_{22}+n_{22}m_{11}-n_{12}m_{21}-n_{21}m_{12}}}{\boldsymbol{det(N)}} \\ \boldsymbol{K_R} &= \frac{\boldsymbol{n_{21}b_1 - n_{11}b_2}}{\boldsymbol{det(N)}} \\ \boldsymbol{K_R T_3} &= \frac{\boldsymbol{m_{21}b_1 - m_{11}b_2}}{\boldsymbol{det(N)}} \end{aligned}\right\} \quad \textbf{(11)}$$

Donde los elementos $\boldsymbol{n_{ij}}$, $\boldsymbol{m_{ij}}$ $\boldsymbol{y}$ $\boldsymbol{b_i}$ son definidos como:

$$M = \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & mx_G - Y_{\dot{r}} \\ mx_G - N_{\dot{v}} & I_z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix}; \qquad N_{(u_0)} = \begin{bmatrix} -Y_v & mu_0 - Y_r \\ -N_v & mx_G u_0 - N_r \end{bmatrix}; \qquad b = \begin{bmatrix} Y_\delta \\ N_\delta \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix}; \qquad N_{(u_0)} = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix}; \qquad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

Expresando la ecuación $\boldsymbol{\dot{x} = Ax + b_1 u}$, se convierte en forma estado –espacio:

$$\begin{bmatrix} \dot{r} \\ \ddot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -\frac{(T_1+T_2)}{T_1 T_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ K_R & K_R T_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_R \\ \dot{\delta}_R \end{bmatrix} \delta_R \text{ (forma de Tiempo constante)} \qquad \textbf{(12)}$$

3. IDENTIFICACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS.

Para obtener un modelo matemático simplificado (bajo orden) que represente la dinámica de manera aproximada se procedió a emplear técnicas de identificación. En el proceso de identificación y validación del modelo que describe la dinámica del vehículo en estudio en el plano horizontal se realizaron varias pruebas basadas en la prueba de maniobra de círculo evolutivo. Dos (2) de esas pruebas se pueden apreciar en la figura 1 Como entrada se considera el ángulo de timón y como salida el ángulo de rumbo.

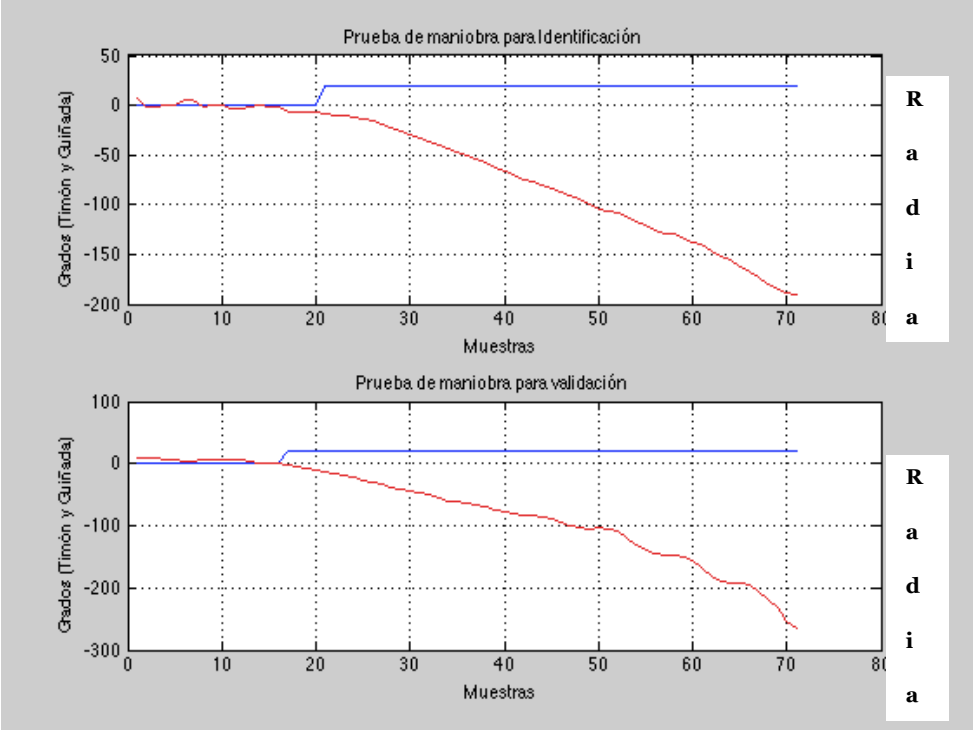


Figura 1. Pruebas de maniobra de círculo evolutivo empleadas para identificación y validación

3.1. Resultado de las pruebas de Identificación.

Se utilizaron varias estructuras de la herramienta de Identificación de Matlab IDENT: ARX, ARMAX, OUTPUT ERROR (OE) y BOX JENKINS (BJ). Se realizaron pruebas con diferentes estructuras y orden del modelo, considerando el criterio de error de predicción final de Akaike y la simplicidad del modelo. A continuación se resumen los resultados obtenidos para cada estructura utilizando un modelo de primer orden ya que no se obtuvo mejores resultados con sistemas de orden superior.

Tabla 1. Resultados de la prueba de Identificación

Modelos de orden 1	Función de Pérdidas	Predicción final del error de Akaike (FPE)	Error cuadrático medio
Modelo ARX	0.00122163	0.00129045	0.0156
Modelo ARMAX	0.000849564	0.000923439	0.016
Modelo OE	0.0135388	0.0143237	0.0252
Modelo BJ	0.000964771	0.00107663	0.7151

El modelo de primer orden seleccionado corresponde a la estructura armax y está expresado en tiempo discreto de la siguiente forma:

$$G(z)=\frac{y(z)}{d(z)}=\frac{-0.002272z}{z-1.0113} \quad \textbf{(13)}$$

Y en tiempo continuo

$$G(s)=\frac{y(s)}{d(s)}=\frac{-0.002272s-0.002259}{s-0.01127} \quad \textbf{(14)}$$

La figura 2 muestra la comparación gráfica entre el rumbo real de la embarcación y el rumbo determinado por el modelo armax.

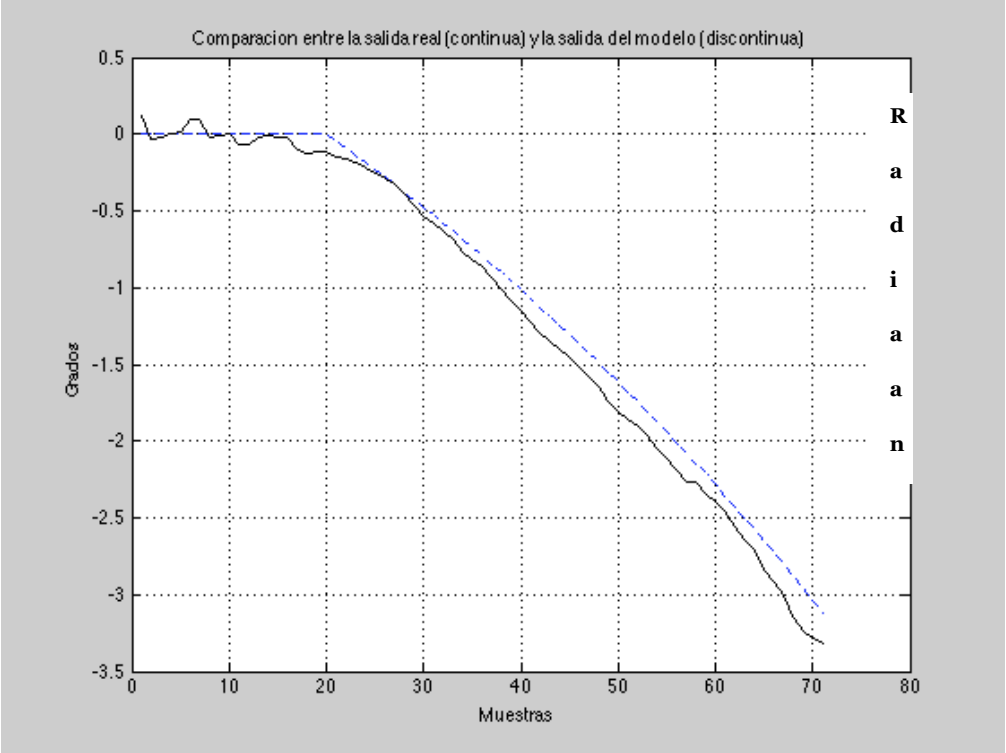


Figura 2. Comparación entre la salida del modelo armax (discontinua) y el ángulo de rumbo real, con los datos utilizados en el proceso de identificación

El valor del error cuadrático medio obtenido en la validación fue de 0.0775. Los parámetros del modelo armax obtenido no tienen un significado físico en el sentido de que no se pueden asociar a coeicientes hidrodinámcios del buque ya que la técnica de identificación conduce a un modelo de caja negra.

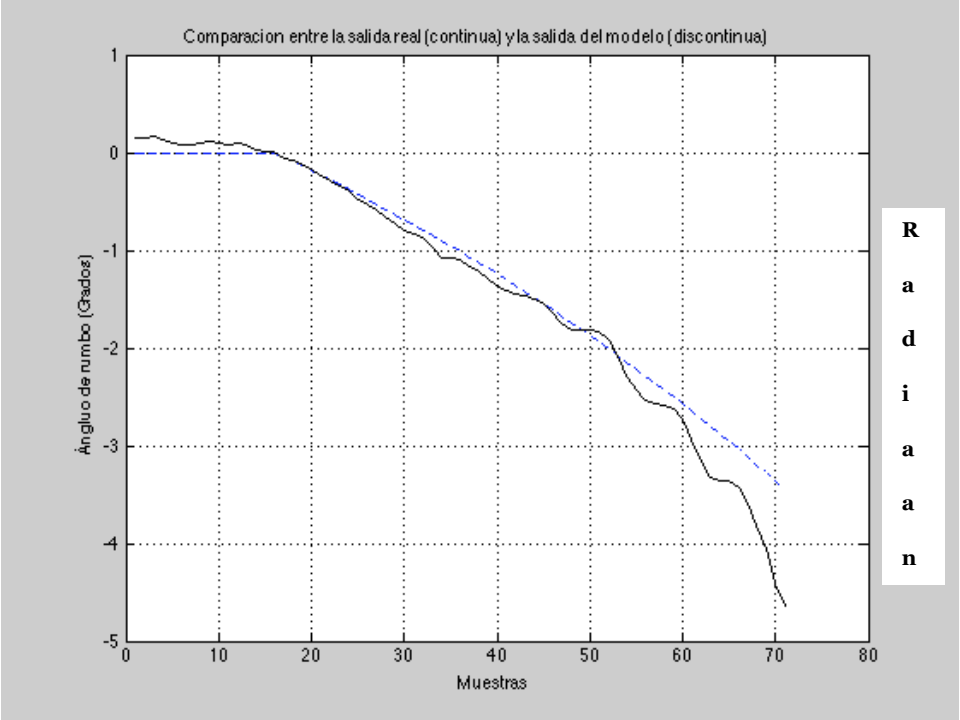


Figura 3. Comparación entre la salida del modelo armax (discontinua) y el ángulo de rumbo real, con los datos reservados para la validación

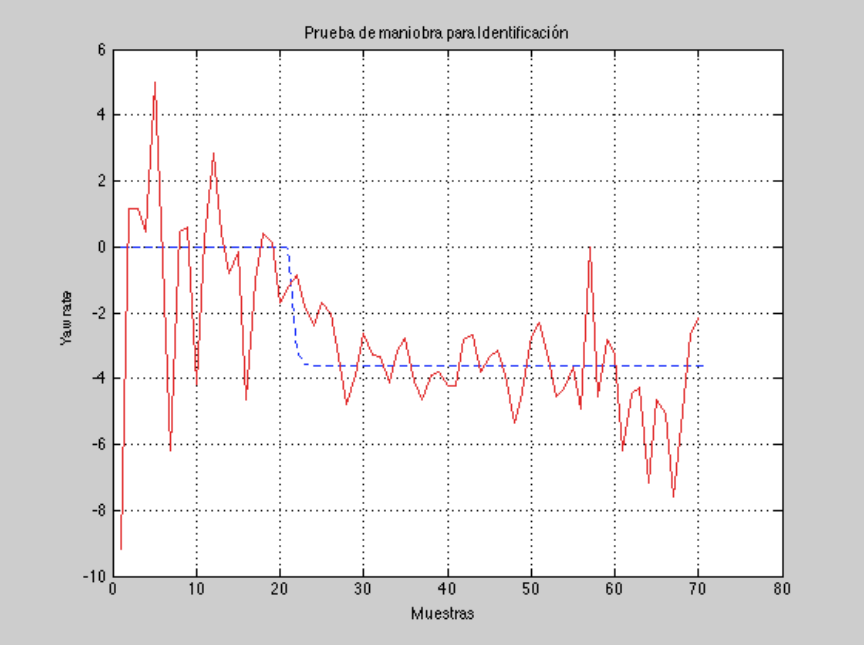
El valor del error cuadrático medio obtenido en la validación fue de 0.0775. Los parámetros del modelo armax obtenido no tienen un significado físico en el sentido de que no se pueden asociar a coeicientes hidrodinámcios del buque ya que la técnica de identificación conduce a un modelo de caja negra.

3.2. Obtención de modelo y coeficientes de Nomoto.

Se empleó, como segunda técnica de identificación, el empleo del método de mínimos cuadrados utilizando como entrada el ángulo del timón y como salida la variación del ángulo de rumbo (yaw rate), con elf in de alcanzar un modelo de caja gris que permitiera asociar los parámetros con los coeficientes o índices de un modelo de Nomoto de primer orden. Los coeficientes obtenidos son: K = -0.0032 y T = 0.4702, con lo que el modelo de Nomoto de primer orden está expresado por

$$G(s)=\frac{y(s)}{d(s)}=\frac{K}{s(Ts+1)}=\frac{-0.0032}{s(0.4702s+1)}. \quad \textbf{(15)}$$

La figura 4 muestra la gráfica del yaw rate correspondiente a la base de datos empleada en la identificación del modelo armax, y la variación del ángulo de rumbo generado por el modelo obtenido.



La figura 4 muestra la salida, o ángulo de rumbo, generada por el modelo de caja gris comparada con el ángulo de rumbo real. El error cuadrático medio obtenido fue de 0.0052.

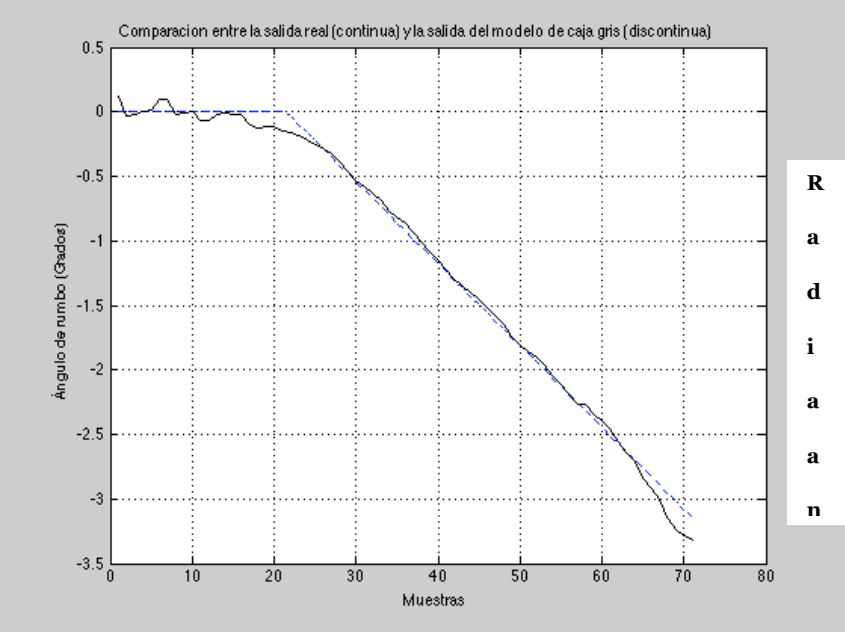


Figura 5. Comparación entre la salida del modelo de Nomoto (discontinua) y el ángulo de rumbo real

3.3 Análisis de estabilidad del modelo de Nomoto

La figura 6 muestran el lugar de las raíces del modelo de Nomoto obtenido. Se observan dos polos: uno de ellos se encuentra ubicado en el lado izquierdo del plano S y se desplaza a la izquierda si se incementa la ganancia, garantizando la estabilidad del sistema; el otro polo se ubica en el origen y se desplaza a la derecha del plano S si se incrementa la ganacia lo que indica que este polo generaría inestabilidad del sistema para incrementos significativos de la ganancia.

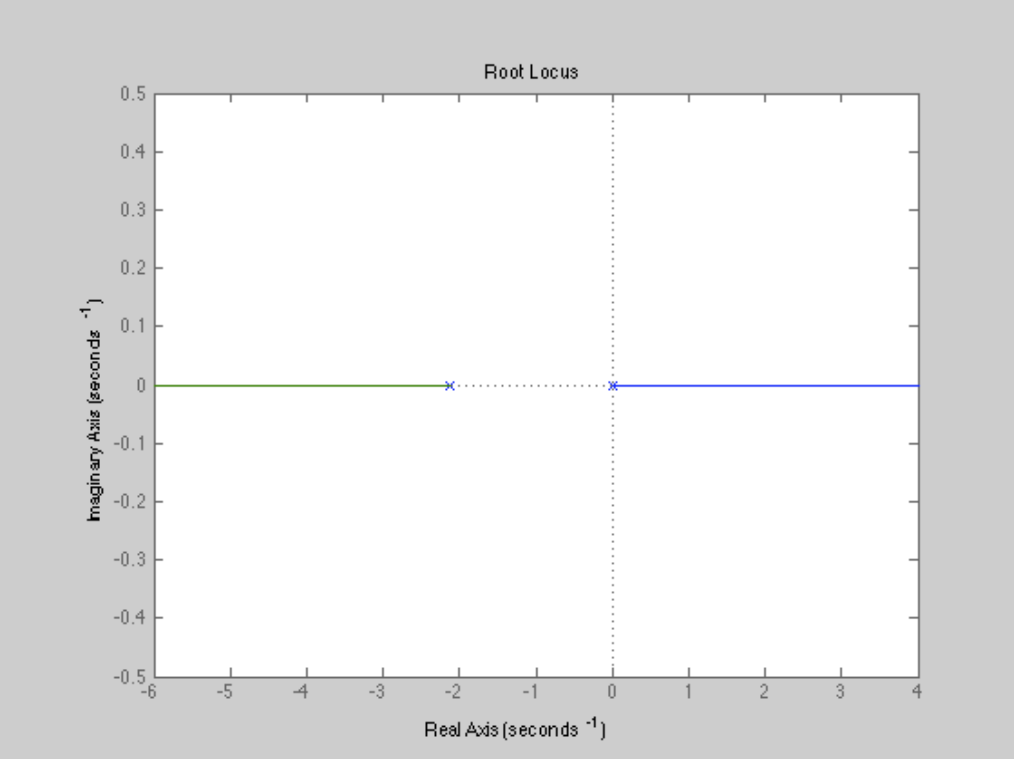


Figura 6. Lugar de las raíces del modelo de Nomoto obtenido

4. CONCLUSIONES.

Se emplearon cuatro estructuras: ARX, ARMAX, OUTPUT ERROR y BOX JENKINS, para obtener modelos de caja negra empleando métodos de identificación. El modelo que mejor se aproximó a la dinámica del buque fue el obtenido con la estructura ARMAX, arrojando un modelo de primer orden, con parámetros que no se pueden asociar a los coeficientes hidrodinámicos.

El empleo del método de mínimos cuadrados permitió obtener un modelo de Nomoto de

primer orden que presentó la mejor aproximación (el menor error cuadrático medio). El sistema tienen a la inestabilidad ante incrementos de la ganancias; es decir, ante variaciones grandes y bruscas del ángulo de timón.

5. AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen al Doctor CALM Jorge Enrique Carreño Moreno, quien contribuyó con conocimientos necesarios para poder llevar a cabo el desarrollo de este artículo, que muestra algunos de los resultados de los adelantos de Tesis de Maestría.

6. BIBLIOGRAFÍA.

[1] Wang Meng, Li Hong Sheng, Miao Qing ans Bian Guang Rong. "Intelligent control algorithm for ship dynamic positioning". Archives of Control Sciences, Vol. 24, No. 4, p.p.: 479–497. 2014.

[2] Haijun Xu, Wei Li, Yang Yu and Yong Liu. "A Novel Adaptive Neural Control Scheme for Uncertain Ship Course-keeping System". Sensors & Transducers, Vol. 178, No. 9, p.p.: 282-285, 2014.

[3] SK. Sharma, W. Naeem, R. Sutton. "An Autopilot Based on a Local Control Network Design for an Unmanned Surface Vehicle". The Journal of Navigation. Vol. 65, p.p.: 281–301. 2012.

[4] Velasco, F.J., Revestido, E., López, E., Moyano, E., Haro Casado, M. "Autopilot and Track-Keeping Simulation of an Autonomous In-scale Fast-ferry Model". 12th WSEAS International Conference on Systems, Heraklion, Greece, July 22-24, 2008.

[5] Velasco, F.J., Revestido, E., López, E., Moyano, E., Haro Casado, M. "Simulation of an Autonomous In-scale Fast-ferry Model". International Journal of System Applications, Engineering and Development , Vol. 2, No.3, p.p.: 114–121. 2008.

[6] Banazadeh A, Ghorbani MT. Frequency domain identification of the Nomotomodel to facilitate Kalman filter estimation and PID heading control of a patrolvessel. Ocean Eng 2013;72:344–55.

[7] Aulia Ziti Aisjah , An Analysis Nomoto Gain and Norbin Parameter on Ship Turning Maneuver , IPTEK, The Journal for Technology and Science, Vol. 21, No. 2, May 2010.

[8] Carreño, J. E., "Simulación de maniobras de buques con sistemas de propulsión no convencional en aguas poco profundas", Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid, Tesis doctoral, 2012

[9] Carreño, J. E., Mora, J. D., Pérez, F. L., "Mathematical model for maneuverability of a riverine support patrol vessel with a pump-jet propulsion system", Ocean Engineering, Vol. 63, 2013, pp. 96-104

[10] T. I. Fossen, Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley and Sons,New York, 1994.

[11] Tzeng, C., and Chen, J., "Fundamental Properties of Linear Ship Steering Dynamic Models," Journal of Marine Science and Technology, Vol. 7, No. 2, pp 79–88, 1999.

[12] Revestido E., Velasco F., López E., Diseño de Experimentos para la Estimación de Parámetros de Modelos de Maniobra Lineales de Buques. Elsevier Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial 9 (2012) 123–134

[13] Polland, S. Recursive parameter identification for estimating and displaying Maneuvering vessel path , Thesis 2003.

PUESTA EN MARCHA DEL TUNEL DE CAVITACION FIUBA

Ledesma, Efraín D. C.[1]; Lazzarini Behrmann, Alejandro[1]; Benítez, Norberto[1]; Paz, Enrique[2]

[1]Túnel de Cavitación en la FIUBA. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. Avenida Paseo Colon 850 CABA. ARGENTINA

[2] Departamento de Ingeniería Naval y Mecánica Ing. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. Avenida Paseo Colon 850 CABA. ARGENTINA.

RESUMEN.

El túnel de Cavitación fue puesto en marcha en 1962-1965 en conjunción con el canal de experiencias. Fueron importados de Alemania producidos por el laboratorio Kempf & Remmers HAMBURGO modelo K-19. La adquisición, instalación y puesta en marcha fue realizada por el benemérito ingeniero Don Edmundo Manera Director del Departamento de Ingeniería Naval y Mecánica de la Universidad de Buenos Aires.

Mediados de la década del 80, la Fiuba resulto ser inundada por acción de la napa freática en su subsuelo 2º, quedando inutilizada el túnel de cavitación. Para la puesta en marcha se necesitara la reconstrucción del panel de control, equipo de fotografía estroboscopia, recorrido eje porta hélice, tarado de constantes de medición, sistema de vacio etc.

El Túnel de Cavitación es una herramienta para observar el comportamiento real de la hélice del buque, sin bien de tamaño reducido, cumple sobradamente el rol de enseñanza y aplicaciones técnicas.

Concretamente se podrá conocer el empuje, el par torsor, numero de vueltas, velocidad del agua en el propulsor y como varían estos parámetros al conocer en detalle el fenómeno de cavitación en similares condición de carga que la hélice real. El túnel reproduciría exactamente el comportamiento de la hélice real.

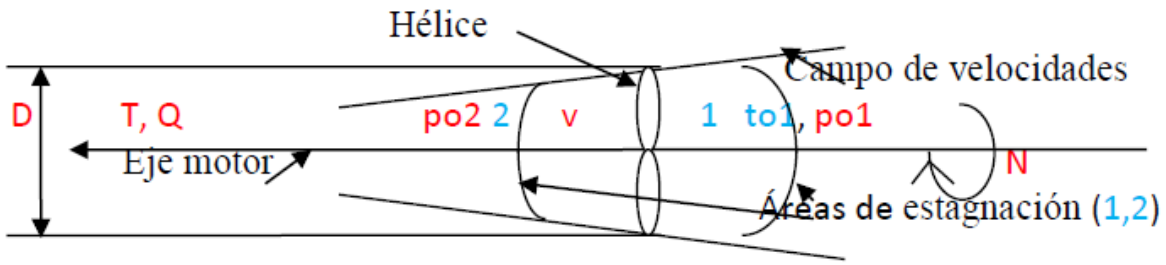
Se dispone de manuales de como es el equipo pero no de su teoría y aplicación. De allí la necesidad de este trabajo.

BASES TEÓRICAS

La hélice es parte constituyente de una turbomáquina, para el caso, en un fluido incompresible, resultando una bomba con rodete axial. (Bomba axial con alto número especifico de vueltas).

Demostramos la base teórica del funcionamiento del túnel de cavitación basándonos en la teoría de la semejanza sustentada en la aplicación con Números Adimensionales PI. Nos basaremos de los gráficos Kt, Kq, J, publicados en Principles of Naval Architecture, Chapter III 'Propulsion and Propellers' de Karl E. Schoenherr (Fig. 21 Propeller Design Chart Nº2). Se adjunta en 'DIAGRAMAS pdf' para verificación se usara *A Guide tu Design Selection and Theory* del autor O.E. Balje: 'Turbomachines' para bombas con fluidos incompresibles aplicable a las hélices marinas. (Figuras 3.8 ns, ds)

La cavitación produce la caída de los parámetros propios del propulsor, su tiro y su rendimiento y además el deterioro progresivo del propulsor iniciando vibraciones y finalmente la destrucción de la hélice. Esquema de una hélice funcionando con sus parámetros: (es lo que se observa en el túnel de cavitación con luz estroboscopia a través del sector transparente).



Dónde: G, masa circulante [kg/s] = Q. ρ, caudal por densidad [m³/s. kg/m³]

to1, temperatura punto estagnación a la entrada de la hélice [m²/ s²].

to1, presión de estagnación en la entrada de la hélice [pa].

D, diámetro de la hélice [m]

to2, presión de estagnación a la salida del sistema [pa].

N, número de vueltas [rps].

v, velocidad absoluta del fluido. [m/s]

La relación de estos 7 parámetros con sus unidades dependientes de las tres variables independientes (masa kg, tiempo s, longitud m) configurara tres ecuaciones independientes, de las variables dependientes intervinientes de acuerdo a la figura 1. Se aplica el Teorema Pi –Vaschy Buckingham- resultando:

π_1=G. (to1)½/ (po1.D²)

π_2=po1/po2

π_3= (N.D) / (to1)½ (Inversa del coeficiente de resbalamiento) [to½=v; en referencia a las unidades aplicadas SI].

Operando convenientemente estos números Pi obtenemos los números Pi base del dimensionamiento de las maquinas semejantes (turbomáquinas) contemplados en los diagramas de BALJE (para bombas: ns, ds = f(η qs)) [ns: *vueltas especificas*, ds: *diámetro especifico*, η: rendimiento y como parámetro tenemos el consumo especifico, qs] [Observar en DIAGRAMAS].

π_1'= Q/ (N.D³)= Qm/ (Nm.Dm³)= qs/(ns.ds³) El subíndice "m" indica modelo en el T.C.

π_2'=E/ (N^2.D^2) = Em/ (Nm².Dm^2) = 1/(ns².ds²) Sin subíndice indica hélice real.

π_3'=P/ (ρ. N³.D^5) = Pm/ (ρ. Nm³.Dm^5) = 1/ (ns³.ds^5)

Que nos dice que maquinas semejantes trabajan a caudal unitario, energía unitaria, a densidad unitaria, gastando potencia unitaria en su máximo rendimiento, dependiendo de sus números específicos ns y ds.

Siendo:

Q, Caudal [m³/s].

E, Energía disponible [m²/s²]. También como cociente de variación de presión-densidad [Δp/ ρ].

P, Potencia [w].

t, Temperatura [m²/s²].

ρ, densidad [kg/m³].

ns, número específico de vueltas. (Adimensional)

ds, diámetro específico. (Adimensional)

qs, caudal específico. (Adimensional)

Operando los números $(\pi_1')^{½}$ / $(\pi_2')^{3/4}$, y $(\pi_2')^{1/4}$ / $(\pi_1')^{1/2}$;

Se obtiene: $ns = \pi_4 = N.Q^{1/2} / E^{3/4}$ ec. (I)

Obteniendo un valor en abscisas en la figura adjunta del diagrama de O.E.BALJE: *Numero específico de vueltas ó vueltas específicas*.

$ds = \pi_6 = D.E^{1/4} / Q^{1/2}$ ec. (II)

Obteniendo un valor en ordenadas en la figura de BALJE:

DIÁMETRO ESPECÍFICO.

La intersección de ambos puntos en el diagrama de BALJE respectivo a fluidos incompresibles funcionando como bomba, obtenemos el caudal específico y el rendimiento. Para el caso de rendimiento máximo, el caudal específico es unitario.

Finalmente, operando estos números Pi (π_1', π_2,' π_3'), obtenemos las ecuaciones de cálculo de hélices: T (tiro) y M (par torsor) basados en los diagramas de Karl Schoenherr. Kt, Kq, constantes adimensionales que surgen de la combinación de los números Pi como se verá:

Partiendo de:

$\pi_1' = Q/ (N. D^{≥})$, despejando Q:

$Q = \pi_1'. N. D^{≥}$ ec. (III).

Además sabemos que el empuje producido por una vena liquida esta dado por la expresión:

$T = Q. V. \rho$ [m≥/s. m/s. Kg/m≥]. ec. (VI)

Como indica el análisis dimensional, el resultado se mide en Newton.

Introduciendo la expresión III, en la IV:

$T = \pi_1'. N. D\geq. V. \rho$ ec. (V)

Por otro lado tenemos la expresión del nº adimensional $(\pi_3)^{-1}=V/ (N.D)$ que no es otra expresión que el 'J' ó coeficiente de resbalamiento.

O sea: $V = \pi_3. N. D;$

Reemplazando esta expresión en ec. V: $T = \pi_1'. N. D\geq. \pi_3. N. D. \rho$

Si $Kt = \pi_1'. \pi_3,$ resulta finalmente:

$\underline{T = Kt. D^4. N''. \rho}$ T, Empuje del propulsor [kg m/ s^2] (Según Karl Schoenherr).

Para el caso del par torsor M:

$\pi_3'=P/ (\rho. N^3.D^5)$ ec. VII Ecuación muy útil para trabajar con la potencia.

Sabemos que la potencia es el producto del par torsor por las vueltas: P = M. N

Remplazando está en la anterior; $\pi_3' = M. N/ (\rho. N^3.D^5) = M/ (\rho. N''. D^5)$

Haciendo $\pi_3' = Kq$ obtenemos la expresión: $\underline{M = Kq. \rho. N''. D^5}$

Siendo M, Par torsor del propulsor [kg. m. m/ s^2] (en acuerdo a Karl Schoenherr).

Observación: Kq y Kt, configuran también nº PI.

ECUACIONES DE CAVITACIÓN

Se verifica en la práctica que, elevados Reynolds tanto real como modelo, se depreciarían. Se deberán ajustar los cálculos con la temperatura del agua, en lo posible igual a la del TC.

Los parámetros de cavitación (σ) tanto en el modelo (túnel) como el de la hélice real son semejantes, siendo $\sigma = (po – pv)/q$; po la presión total: presión atmosférica más estática (ρ.h), pv la presión parcial de vapor a esa temperatura, q la presión dinámica $(\rho.vo^2/2)$ siendo ρ la

densidad. Para el túnel qm es la presión dinámica en el campo del túnel, h es la profundidad ó inmersión del eje de la hélice. (h para el TC es constante: 0,75 metros).

El factor predominante de la cavitación es la inmersión del propulsor a igualdad de vueltas.

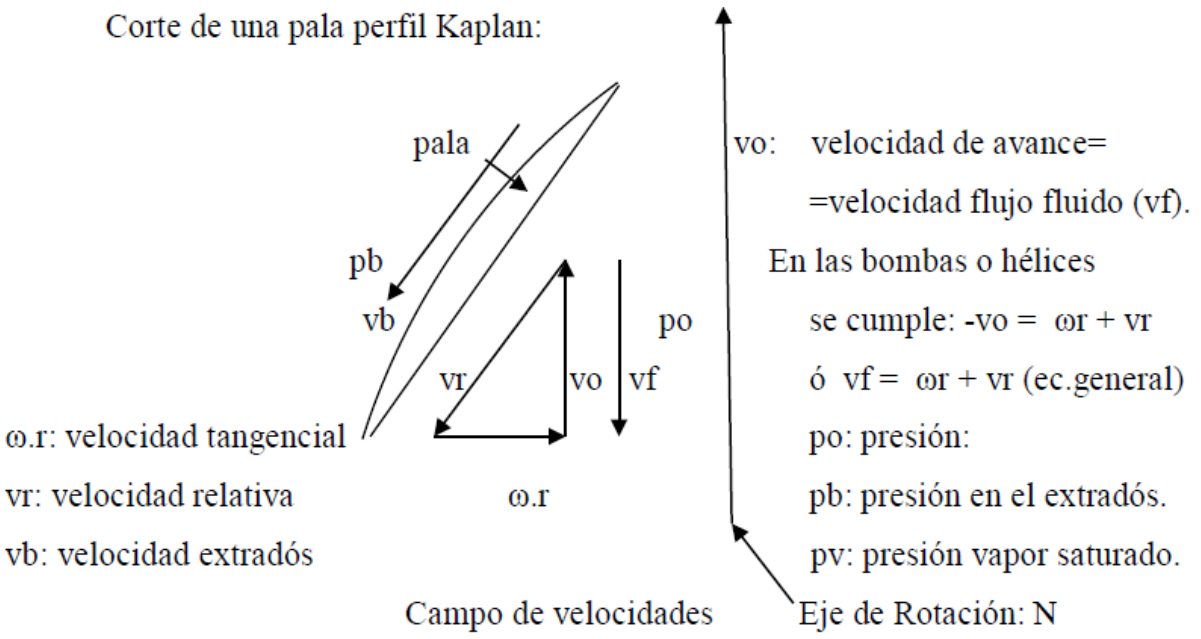
De acuerdo a la Ley de similitud de hélices Cavitantes (Karl Schoenherr, Principles…Propellers pág. 177 ecuación (140), basándose en la igualdad de los sigmas (σ).

$(po - pv) / q = \sigma$

$(pm - pv / qm = \sigma m$

Se determina: $\underline{vo / (D/Dm)^{1/2} = vm1 \quad ec\ X}$

Con lo que obtenemos la velocidad de cavitación (vm1) de la hélice en el túnel, considerando la presión reinante en la cara de succión igual a la presión de vapor saturado a esa temperatura.



Siempre se cumple: $\underline{vb > vr}$

Por Bernoulli en la figura: $pb + \rho . vb^2/2 = po + \rho . vr^2/2$

$pb - po = - \rho/2 . (vb^2 - vr^2) = \Delta p.$ Dicho valor siempre decrece.

Cuando pv *presión de vapor saturado a esa temperatura* es igual a la presión en extradós (pb) existe una brusca ebullición del liquido a esa temperatura conocido como cavitación.

Luego el coeficiente de cavitación sigma (σ) surgirá de ambos miembros de la ecuación afectado por la presión dinámica q: $(\rho.v^2)/2$.

pb - po/q = Δp/q = σ, siendo Δp negativo, multip. m. a m. por menos uno, y reemplazando pb = pv y además po = ρ.(h+D/2) + p.atm, nos queda:

(p.atm + ρ. (h+D/2) – pv)/q = σ ó (po – pv)/q = σ = constante = σm = (pm-pv)/qm.

Si despejamos pm de la igualdad verificamos todo el proceso anterior:

pm = ((p – pv)/q).qm – pv ; siendo pm = Em + 0,75 m.c.a.

Em es la presión reinante real en el túnel de cavitación *semejante* a la carga o inmersión de la hélice real. (La pm debe ser ajustada con una pequeña columna de agua de 0,75 m.c.a por sobre el eje de rotación de la hélice del túnel de cavitación para evitar burbujas de aire).

Finalmente debemos ir variando la velocidad del agua en el túnel hasta la vm1, y constatar si se alcanza la cavitación o no comparando los coeficientes de cavitación. El momento que alcanza la cavitación ***sucederá cuando σm iguale a σ.***

ENSAYO

Veamos un ejemplo como es el coeficiente de cavitación y también las condiciones de semejanza para dar validez a las Figuras empleadas: Hélice con inmersión a cuatro metros de profundidad.

Calculamos el tiro, el empuje, el resbalamiento, y la eficiencia del propulsor con la Figura 21 de Karl Schoenherr, para la hélice con los datos anteriores.

El tiro será de: $T = Kt.\ D^4.\ N''.\ \rho = 22552$ kgf

El par será de: $M = Kq.\ \rho.\ N''.\ D^5 = 4736$ kgf.m

El resbalamiento: J = v/N.D = 0.78

La eficiencia: η = (Kt/Kq).(J/2π) = 0.709;

De la lectura Fig.21: η = 0.70, para un relación paso diámetro (p/D) de: 0.96.

Leído Kq	0,028	coeficiente de cupla de la hélice (del R&CH Fig. 21)
Leído Kt	0,16	coeficiente de empuje de la hélice (del R&CH, Fig. 21)
Dato	1000	Densidad (FW) Kg/m³ ó Kgf.s²/m³m
Dato ø=D	1,2	diámetro m
N	8,245	Rev. x seg rps
v	7,717	velocidad campo hélice en m/s

Para la hélice del TC,

Kt, Kq, p/D, η y J se mantienen iguales al propulsor real por ser semejantes. Se adopta una hélice de Dm: 0,100 m de diámetro,

Debemos calcular la vm1, de la hélice del TC, que sería la velocidad en el TC donde comienza la cavitación. Para ello aplicamos la ec X: $vo / (D/Dm)^{1/2} = vm1$,

Donde la vo (7,717 m/s) es la velocidad en el campo de la hélice real.

Luego: vm1 = 2,230m/s.

Calculamos el tiro, el empuje, del propulsor con la Figura 21 de Karl Schoenherr, para la hélice TC:

El tiro será de: $Tm = Kt. Dm^4. Nm''. \rho = 13,08$ kgf

El par será de: $Mm = Kq. \rho. Nm''. Dm^5 = 0,2289$ kgf.m

Con la verificacion de variables adimensionales ns y ds podemos determinar la presión reinante dentro del túnel semejante a la presión de inmersión:

Se cumple que:

π_1'= Q/ (N.D³)= Qm/ (Nm.Dm³) = 0.2051 pues tenemos todos los datos de la hélice real. Sabiendo que: T= Q. vo. ρ [m≥/s. m/s. Kg/m≥] ec. (VI);

Obtenemos Q = 2,9224m^3/s. Caudal de la hélice real.

Además:

π_2'=E/ (N^2.D^2) = Em/ (Nm².Dm^2) = 1/(ns².ds²) = 0,4009; para E = 39.24 kPa.

Donde despejando de la anterior: Em = π_2'. (Nm².Dm^2) = 3,277 kPa,

Para obtener Nm, se despeja de la ecuación Tm = Kt. Dm^4. Nm″. ρ; Nm = 28,592 rev/seg; para Dm = 0,10m.

Número específico de vueltas para la hélice real: $ns = N.(Q^{1/2})/E^{3/4} = 0,899$

y para la hélice del TC; $ns = Nm. (Qm^{1/2})/Em^{3/4}) = 0,899$,

Donde se cumple despejando: Qm = Tm/vm1.ρ = 0.0059 m^3/s.

Diámetro específico será en ambos casos: (ec II) para la hélice real:

$ds = \pi_6 = D.E^{1/4} / Q^{1/2} = 1.757$

Para la hélice del TC: $ds = \pi_6 = Dm.Em^{1/4} / Qm^{1/2} = 1.757$

Hemos elegido una hélice real en el máximo rendimiento para esas características, con lo que el consumo específico (qs) debiera ser unitario.

O sea: $\pi_1' = qs/(ns.ds^3)$

(Tomar los números específicos anteriores y verificar qs = 1).

Cumpliéndose tanto en la hélice real ó en la hélice del túnel de cavitación.

COMPROBÁNDOSE LA TEORÍA DE LA SEMEJANZA

La hélice del Túnel está trabajando manteniendo la semejanza a la velocidad vm1, a una presión de 3,2773 kPa, que en centímetros de columna de agua son 33 cm, la hélice real 4,0 m. de la superficie. Se desprende que entonces el túnel debe tener un equipo de vacio para equilibrar la semejanza.

CAVITACIÓN

Tomamos como temperatura del agua 20ºC luego pv = 2.337 kPa (presión vapor sat.)

En el túnel se varía la velocidad del agua y la presión en el mismo para llegar a las condiciones de cálculo de semejanza. Para la inmersión de 4 metros el coeficiente de cavitación **σ =** (po – pv) / q = 0.460 siendo: po = E + patm = 139.24kPa.

E = 4mca = 39,24kPa.

Patm = 1bar =100kPa.

Siendo: q = 298kPa.

Para v = 7.717 m/s; $\rho = 1000\ kg/m^3$

Para la hélice del TC: **σm1 =** (pm – pv)/ qm = 0.3347, siendo: pm = Em + h.ρ = 10.63 kPa.

Em = π_2'. ($Nm^2.Dm^2$) = 3.2773kPa.

Altura de agua para evitar aireación dentro del túnel: h.ρ = 0,75m = 7,35kPa.

Pv = 2.337 kPa para una presión de vaporización a 20ºC.

Siendo: qm = 24,868kPa.

Para vm1=2.23m/s; $\rho = 1000kg/m^3$.

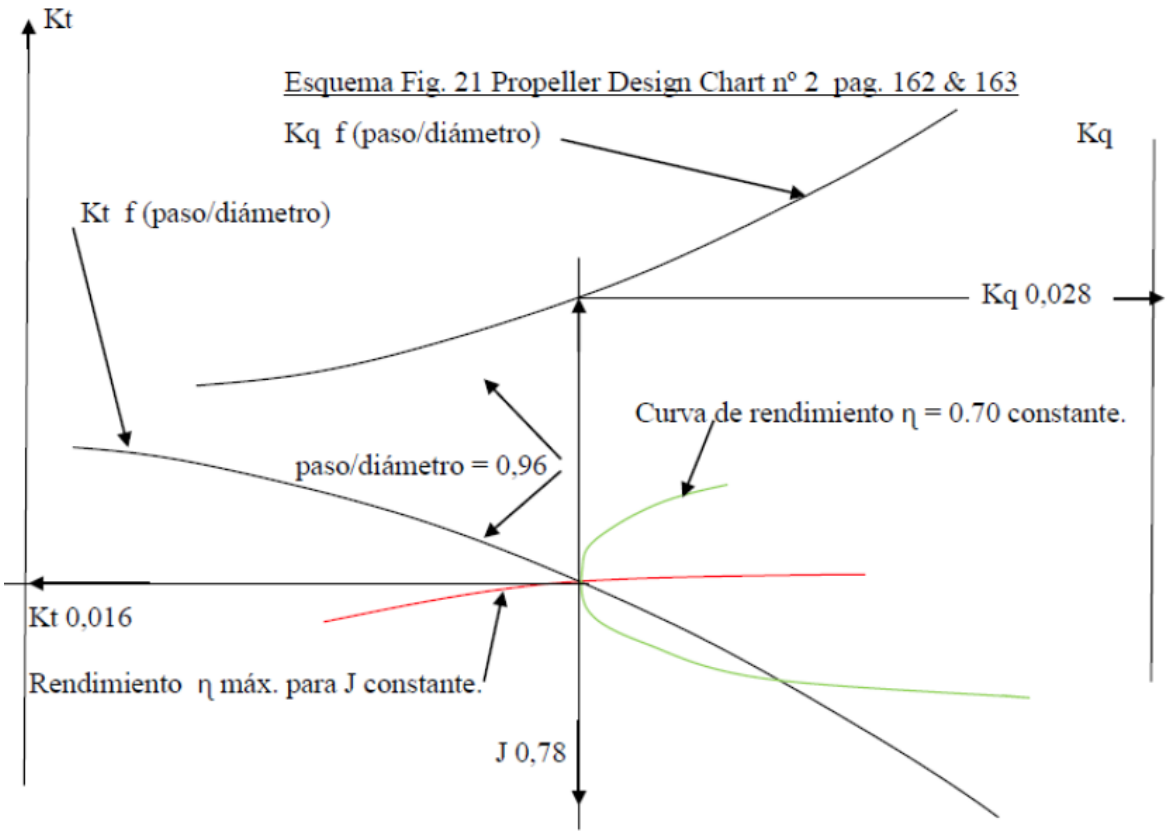
Si ensayáramos para esa profundidad cuando la hélice cavitara en el TC, lo seria para una velocidad tal que cumpla con σ = σmc, a esa velocidad la llamaríamos vmc. Para esa igualdad: vmc = 1,75 m/s. Para el caso será: **σmc** = 0.4603.

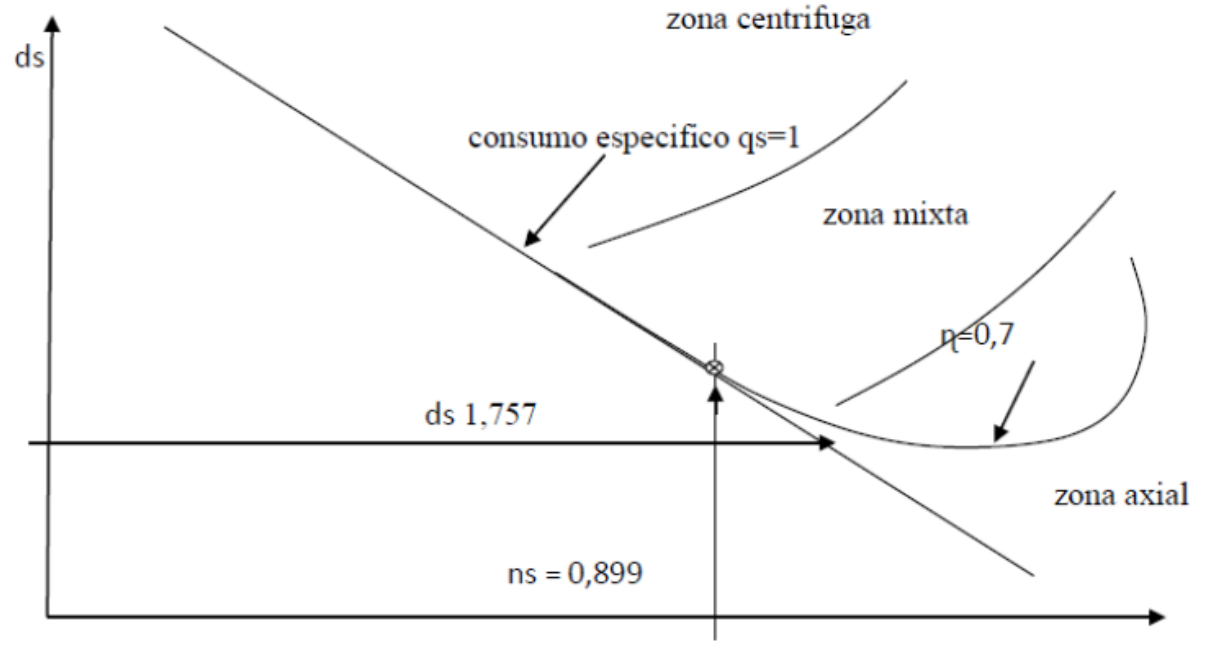
Comparando los coeficientes de cavitación vemos que **σmc > σm1** por lo tanto la hélice no cavitaría para esa velocidad y profundidad.

Para el ejemplo aludido, para que la hélice cavitara debería cumplirse **σmc = σm1**, que se logra con una inmersión mayor a 1,5 m.

Resumiendo como vemos, lo básico pasa por el cálculo de la presión dentro del túnel, (Em), dependiendo de la inmersión (E) real del propulsor; la velocidad vm1 que es la que cumple con la Ley de Semejanza del coeficiente de cavitación (tiene en cuenta la velocidad de avance y la relación geométrica de los diámetros); y la velocidad real o efectiva de cavitación (vmc) que es la que tiene en cuenta la profundidad de la hélice real.

El fenómeno de la cavitación es complejo, nosotros lo analizamos desde la cara de succión, no obstante se observa que puede haber cavitación en la cara de ataque, produciéndose en los cambios de giro, potencia, o inversión de marcha.





Observaciones al esquema: La divergencia con los cálculos y el diagrama de Balje que es un Diagrama totalmente general para las turbomáquinas siendo la figura ilustrada precedentemente, correspondientes a bombas en fluido incompresible (coinciden los puntos de rendimiento, el numero especifico de vueltas y el consumo especifico) respecto a la indicación del diámetro especifico ds, es que indica la zona axial que para el caso es correcto.

CONCLUSIONES.

La hélice que se quiera ensayar sigue las leyes de semejanza general con los diagramas de cálculo de hélices como el indicado que es el que sigue el túnel de cavitación en la época que fue elaborado.

Existen en la actualidad diagramas más elaborados como los Bp1, Bp2 en función de Kq y J. Una vez el túnel en marcha estaremos en condiciones de establecer las condiciones de semejanza para estos diagramas establecidos en el SNAME Principles of Naval Architecture.

Dado el carácter biunívoco de las relaciones de semejanza, se podrán establecer formas diferentes a las conocidas, variar el numero de palas, o establecer parámetros de funcionamiento para aguas poco profundas, como es el caso de nuestro país y alrededores.

Nota:

Lamento no haber encontrado la forma en este trabajo pueda incorporar los diagramas reales.

8. INFRAESTRUCTURAS E INSTALACIONES PORTUARIAS

9. LOGÍSTICA E INFRAESTRUCTURA PORTUARIA

GERENCIAMENTO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DO TERMINAL PORTUÁRIO DE PONTA DA MADEIRA DA VALE: ESTUDO DE CASO DA DIMENSÃO MANUTENÇÃO

Ferreira, M. MF.[1]; Cutrim, S. S.[2]; Botter, R. C.[3]; Pereira, N.N.[4]

[1]VALE S.A. Av. dos Portugueses, S/N, Bacanga, São Luís-MA, Brasil. maryclea.furtado@vale.com
[2]Universidade Federal do Maranhão. Av. dos Portugueses, S/N, Bacanga, São Luís-MA, Brasil. sergio.cutrim@ufma.br
[3]Universidade de São Paulo. Av. Professor Mello Moraes, 2231, São Paulo – SP, Brasil rcbotter@usp.br
[4]Universidade de São Paulo Av. Professor Mello Moraes, 2231, São Paulo – SP, Brasil newtonnaval@gmail.com

RESUMO.

O artigo analisa a implantação e gestão do Sistema de Produção Vale - SPV apresentando seus resultados e melhorias implantadas, focalizando os processos da Dimensão Manutenção de Tratamento e Prevenção de Falhas no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM). A metodologia utilizada compreendeu revisão bibliográficas, análise de documentos internos da empresa e realização de entrevistas semiestruturadas com profissionais do TMPM. Concluiu-se que a metodologia implantada pelo SPV possibilitou ao TMPM ganhos tanto de melhoria dos processos, como na criação e sistematização de novas rotinas para tratamento dos desvios em uma forma que envolve todos os níveis da organização na melhoria no desempenho dos ativos com o aumento da disponibilidade, confiabilidade e, consequentemente, redução nos custos, nos riscos associados às paradas inesperadas e aumento da produtividade.

Palavras-chave: VALE, Sistema de Produção da Vale (SPV), Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM), Sistema Toyota de Produção (STP), Tratamento e Prevenção de falhas

1. INTRODUÇÃO.

Para atuar num cenário de economia globalizada e altamente competitiva, as empresas, para garantir sua sobrevivência e crescimento, precisam buscar vantagens competitivas de longo prazo. Essas vantagens podem vir de algo que as diferenciem dos seus concorrentes, e uma das estratégias adotadas é a implantação de sistemas de gestão baseados em métodos referentes ao Sistema Toyota de Produção (STP).

Ghinato (2000) conceitua o STP como uma abordagem de gerenciamento que procura aperfeiçoar a organização como um todo para atender as necessidades dos clientes no menor prazo possível, na mais alta qualidade e ao mais baixo custo, ao mesmo tempo em que se aumenta a segurança e a moral dos colaboradores.

Dessa forma, para que as organizações precisam utilizá-lo não como um conjunto de ferramentas, mas como uma metodologia de como projetar, gerenciar e melhorar seus processos, adotando uma cultura de mudança a partir da análise e diagnóstico de seu estado atual, onde se determina o que está funcionando bem e deve continuar no futuro, e o que não está funcionando, focalizando esforços das equipes nas áreas que precisam de melhorias.

Baseado nessas premissas, a VALE criou o Sistema de Produção Vale, em inglês VALE *Production System* (SPV), o qual é definido no PGS002555, Diretriz do SPV (2014, p.2), como: "O SPV é um modelo de gestão que orienta as atitudes diárias dos empregados com foco na melhoria contínua e sustentabilidade dos resultados, garantindo a melhoria dos processos em busca da difusão da cultura de excelência".

2. OBJETIVOS.

O objetivo desse trabalho é analisar a implantação e gestão do sistema SPV, apresentando os resultados da empresa nos últimos quatro anos por meio dos indicadores chave de desempenho, focalizando-se os processos das dimensões Manutenção de Tratamento e Prevenção de Falhas no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira - TMPM da VALE S/A, localizado na Baía de São Marcos em São Luís (MA) - Brasil.

3. SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO - STP

Durante a década de 1980, vários estudos gerenciais do ocidente, apontaram para um novo paradigma de gestão, a partir das práticas das empresas japonesas que mostravam superioridade de resultados em relação às indústrias ocidentais. Essas práticas atacavam os males da produção em massa e indicavam as vantagens de um sistema voltado para a eliminação de desperdícios. (WOMACK *et al.*, 2004).

No sistema de produção em massa, inicialmente originado nas práticas de linhas de produção de Henry Ford, a ênfase foi em atividades em larga escala com as principais características de: aumento do volume de produção, redução de custos por departamento, foco na inovação voltada à produção, trabalho na produção separado do projeto, relação antagônica com os fornecedores e produção em massa e empurrada aos clientes.

Nos anos 70, a indústria japonesa começou a invadir o mercado dos E. U. A. com produtos inovadores de baixo custos e boa qualidade. A pesquisa dos porquês dessa situação estabeleceu as bases da produção enxuta, a qual é oriunda e se reflete no Sistema Toyota de Produção (STP).

O STP é uma metodologia de gestão que se baseia em uma meta simples de reduzir o tempo entre o pedido do cliente e a entrega (*lead time*), eliminando as perdas em todas as atividades, resultando em um processo enxuto proporcionando alta qualidade aos clientes, baixo custo e menor prazo.

O STP (*Toyota Production System*-TPS) tem sido mais também referenciado como Sistema de Produção Enxuta, conforme apontou Ghinato, 2000, indicando que a produção enxuta repousa sobre dois pilares: *Jidoka* e JIT (*Just-in-Time*). O primeiro consiste em fornecer capacidade à máquina e aos operadores de detectar, interromper e solucionar problemas o mais rápido possível. O JIT tem como objetivo suprir cada estágio do processo produtivo somente com os insumos certos, no momento certo, na quantidade certa e no local certo.

Muitas empresas associam esse sistema à implantação simples de um conjunto de ferramentas, que terão resultados milagrosos e alcançarão sucesso, assim como ocorreu com a Toyota. No entanto, o sucesso desse sistema diz respeito à maneira como a organização vê um problema, o analisa e, em seguida, desenvolve uma solução para enfrentá-lo. (LIKER, 2007).

A seguir, apresenta-se o SPV, entendido como originado no STP.

Sistema de Produção Vale– SPV

A VALE S/A. criou em 2009, o SPV - Sistema de Produção Vale ou VALE *Production System* composto por processos, metodologias, modelo de gestão, conjunto de indicadores e padrões que conduzam a empresa num a jornada pela Excelência e pela Melhoria Contínua de modo a alavancar os resultados operacionais e garantir a sustentabilidade dos resultados do negócio.

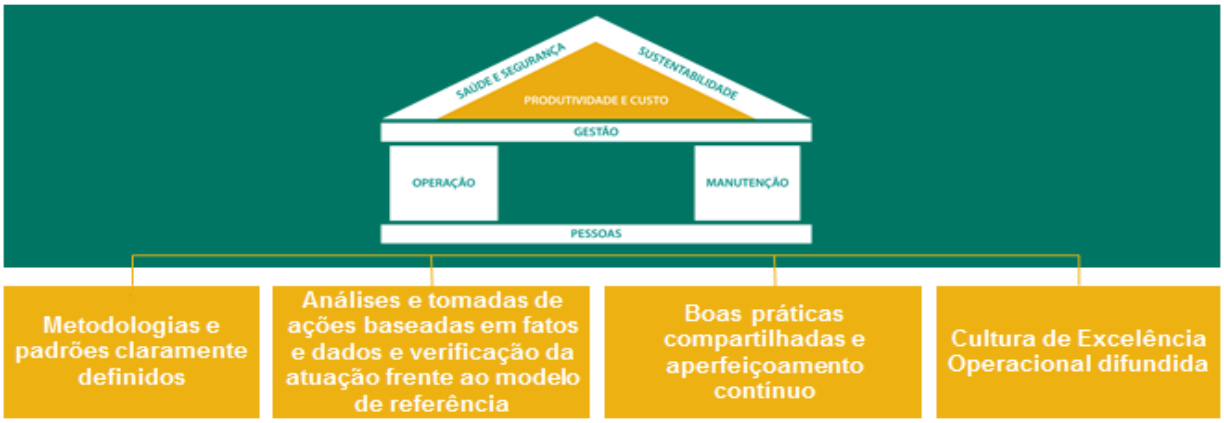


Figura 1 - Representação gráfica do Sistema de Produção Vale. Fonte: Adaptado do PGS – 002550 - Diretrizes SPV (2014)

A Figura 1, conforme apresenta o PGS – 002550 – Diretrizes do SPV (2014), representa as dimensões do SPV, a saber: A base são as Pessoas, que são o principal recurso produtivo da Vale; A Operação e a Manutenção são os pilares que sustentam o negócio Vale; A Gestão é o teto, proporcionando a segurança necessária para o alcance de melhores resultados pelo apoio à coordenação das atividades operacionais e alcance das metas e A Saúde e Segurança e Sustentabilidade são o telhado, que protege todas as dimensões, garantindo a perenidade dos negócios.

Os norteadores do SPV são os quatro elementos "metodologia e padrões claramente definidos", "análises e tomadas de ações baseadas em fatos e dados e verificação da atuação frente ao modelo de referência", "boas práticas compartilhadas e aperfeiçoamento contínuo" e "cultura de excelência operacional difundida". Os resultados em relação ao "Custo e Produtividade" são representados pelo sótão, coroando o esforço em todas as dimensões.

A dimensão "Manutenção do SPV" regulamenta o "Sistema de Gestão da Manutenção", definindo os processos considerados como críticos e fundamentais para a manutenção alcançar padrões e resultados classe mundial. A implantação dos processos deve garantir a disponibilidade, confiabilidade e desempenho dos ativos pela estabilização e melhoria da rotina das áreas e busca do aperfeiçoamento da manutenção do parque de ativos da unidade.

Dessa forma, as responsabilidades pela implantação dos processos são compartilhadas entre diferentes áreas que, juntas, devem garantir a disponibilidade, confiabilidade e o desempenho do parque de ativos específicos, em estratégias de curto, médio e longo prazo. Esse conjunto de áreas responsáveis por um parque de ativos é denominado **Função Manter FM.** (REG – 00081 – DIRETRIZES SPV PARA DIMENSÃO MANUTENÇÃO, 2013).

O PGS002550 também descreve a disposição dos processos para as dimensões de Operação e Manutenção em estágios, a saber: estágio 1 – Básico; estágio 2 – Intermediário; estágio 3 – Avançado e estágio 4 – Excelência.

A Função Manter realiza a gestão integrada dos ativos sob a ótica financeira e de risco por meio de ferramentas de custo, ferramentas avançadas de confiabilidade e tratamento de gargalos operacionais.

Cada dimensão possui seu Índice de Excelência (IE), indicador que retrata o nível de implantação na área dos processos do SPV. Cada processo tem elencados os principais pontos de avaliação para se verificar a implantação, ou seja, perguntas simples e objetivas, que formam o *check list* de avaliação do nível de excelência. Para cada pergunta é atribuída uma pontuação que compõe o índice de excelência das áreas. O valor máximo desse índice em cada dimensão do SPV é de 100 pontos. Nas dimensões de Operação e Manutenção, esses pontos são distribuídos nos estágios, sendo que o Estágio 1 equivale a 50 pontos; o Estágio 2 a 25 pontos; o Estágio 3 a 15 pontos e o Estágio 4 a 10 pontos. A dimensão "Pessoas e Gestão", por não ter estágios, tem sua pontuação distribuída igualmente entre todas as perguntas. (PGS - 002550- Diretrizes SPV, 2014).

4. MATERIAIS E MÉTODOS.

O presente estudo é do tipo exploratório e documental com os dados consultados nos arquivos da empresa e seu caráter exploratório, segundo Cervo e Bervian (2002), se justifica pela carência de registro acadêmico do tema e, principalmente, para o caso analisado. Gil (2002)

indica que a pesquisa exploratória tem por objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas de torná-lo mais explícito e, em geral, assume "[...] as formas de Pesquisas Bibliográficas e Estudos de Casos". Neste estudo, o caso do TMPM.

O ponto de partida para entendimento da implantação e gestão do sistema estudado foi a consulta de procedimentos internos da empresa e revisão bibliográfica referente à temática, basicamente a relação entre o SPV e o STP.

Por meio do *check list* do SPV, foram acompanhados os processos de Tratamento e Prevenção de Falhas, verificando seu nível de implantação no TMPM, tendo como base os indicadores chaves definidos nos seus procedimentos específicos. O período de análise dos indicadores foi de Abril de 2010 a Dezembro de 2013.

O estudo, quanto à sua abordagem, pode ser considerado qualitativo, com a aplicação de entrevistas abertas com responsáveis e supervisores de processo e participação de especialistas na implantação desse modelo de gestão, consultores e pontos focais. Umas das ferramentas utilizadas foi a participação em *Workshop* da Manutenção, com o objetivo principal, de aplicação da técnica da matriz *SWOT* (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*) levantar os principais pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças dos processos da manutenção para análise do sistema como um todo. A coleta de dados também subsidiou a proposta de ações de melhoria da gestão.

5. RESULTADOS.

De acordo com o procedimento PGS 2550, a ferramenta utilizada para implantação e melhorias dos processos até o nível de excelência é a referente ao ciclo do PDCA, contemplado por quatros fases: *Plan* (planejar), Do (fazer), *Check* (verificar) e *Action* (Corrigir) proposto por W. E. Deming em adaptação do círculo de Shewart e muito utilizado na abordagem de Produção Enxuta e no STP.

A implantação de processos na VALE S/A. inicia-se por um diagnóstico do nível de adequação da Função Manter, a partir do qual, elaboram-se ações para atender os objetivos planejados. Estas ações são consolidadas num único plano, que tem acompanhamento e atualização semanal. Por se tratar de um processo dinâmico, o Plano de Ação (PA) é revisitado para ajustes e inclusão de novas ações e divulgado para todos os envolvidos no processo.

No início de cada mês, realiza-se um autodiagnostico para avaliar a evolução dos processos ao se estimar a eficácia das ações implantadas. De acordo com o *checklist* de avaliação do SPV (2013), o processo de tratamento de falhas acontece por meio da medição de indicadores, que são utilizados para análise de perdas relativas aos objetivos pré-estabelecidos, definindo-se ações para correção, eliminação da causa raiz e mitigação dos seus efeitos. Esse procedimento envolve o tratamento tanto de falhas pontuais, acionado por um gatilho definido, como de perdas sistêmicas, associadas à sua avaliação em um determinado período.

A Tabela 1 apresentada, contém os passos e questões propostas para a avaliação de falhas no processo de Manutenção e os respectivos pesos associados para o diagnóstico de situação.

Tabela 1 – Trecho do *checklist* de manutenção referente ao processo "Tratamento de Falhas". Fonte: Adaptado do Regulamento REG-000081 – Diretrizes SPV para dimensão: Manutenção (VALE 2013).

Estágio	Processo	Pergunta	Pontuação
1	1.5 Tratamento de Perdas	1.5.1.1 Existe definição das perdas a serem tratadas e da base a ser utilizada (sistema informatizado de manutenção e/ou operação)? Estas definições estão sendo aplicadas?	0,41
1	1.5 Tratamento de Perdas	1.5.1.2 A área definiu e cumpre a sistemática para tratamento das falhas pontuais contendo os itens abaixo? Responsáveis e participantes Gatilho Prazos de início do tratamento e elaboração do plano de ação Identificação das causas.	0,41
1	1.5 Tratamento de Perdas	1.5.1.3 A área definiu e cumpre a sistemática para tratamento das perdas sistêmicas (do período), contendo os itens abaixo? Responsáveis e participantes Metodologia de estratificação, priorização e periodicidade Prazos de início do tratamento e elaboração do plano de ação Identificar causas das principais perdas.	0,41
1	1.5 Tratamento de Perdas	1.5.1.4 A área define e executa as ações de bloqueio das causas identificadas para as falhas pontuais e perdas sistêmicas?	0,41
1	1.5 Tratamento de Perdas	1.5.1.5 A área definiu e cumpre a sistemática de avaliação dos resultados dos tratamentos das falhas pontuais e perdas sistêmicas? Os desvios encontrados são tratados?	0,41
1	1.5 Tratamento de Perdas	1.5.1.6 Os resultados dos tratamentos das falhas pontuais e perdas sistêmicas são atingidos?	0,47

No processo de prevenção de falhas descrito no PGS – 002550 – Diretrizes do SPV, inicialmente são hierarquizados, por uma matriz de criticidade, quais ativos deverão ser tratados preventivamente em relação a falhas, em função de sua criticidade nas operações em função da extensão do parque de ativos da empresa e dos recursos finitos. Em seguida,

realiza-se o mapeamento de falhas potenciais dos ativos e seus respectivos modos, efeitos e causas. Esse levantamento irá definir ações para eliminar ou reduzir a probabilidade de ocorrências de falhas e de seus impactos.

5.1 Análises dos Indicadores de Manutenção.

Devido à situação de falhas constantes que se encontrava a manutenção em Abril de 2010, verificou-se que os principais indicadores de desempenho da manutenção apresentavam aquém das metas estabelecidas. A Tabela 2 apresenta os indicadores verificados nesse período com destaque os relativos à Disponibilidade Física (DF) e a Disponibilidade Intrínseca (DI) em contraposição às metas então estabelecidas.

Tabela 2 – Indicadores de desempenho dos ativos – Abril 2010. Fonte: Adaptado pelo autor (2014)

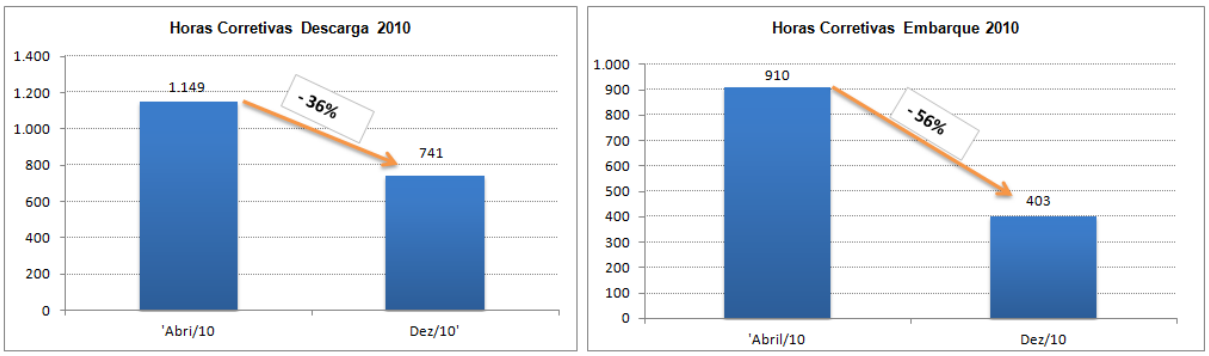
abr/10					
		DF		DI	
	Horas Corretivas	Meta	Real	Meta	Real
Descarga	1149h	75%	49%	79%	45%
Embarque	910h	77%	52%	72%	43%
Descarga + Embarque	2059h	76%	50%	76%	44%

A implantação da sistemática de gestão e acompanhamento pelo SPV desse processo levou à adoção de novas rotinas estabelecidas pela Engenharia de Confiabilidade para tratamento dos desvios relativo às falhas, quais sejam: Criação da árvore de falhas ou Perfil de perdas – metodologia para estratificação das falhas; Estabelecimento da rotina, envolvendo todos os níveis da organização sendo operacional (inspetores e executantes), tático (engenheiros/ supervisores) e estratégico (gerentes); Criação de curvas ABC e grupo de pequenas falhas, nas quais as falhas foram divididas por número de horas da seguinte forma: Curva C maior que 4 h, Curva B entre 1 e 4 h e Curva A menor que 1 h. Para tratamento das falhas com tempo menor de 1 h, consideradas a incidência de ocorrências, foi criado o grupo de pequenas falhas (GPF); *Check* da execução com o objetivo de comparar os resultados do antes e depois do tratamento da falha, mostrando sua minimização com levantamento de novas ações ou eliminação.

Em julho de 2010 foram sistematizadas reuniões com os principais envolvidos, representado pela letra D, e de 2011 a 2013, a estimativas das curvas ABC, e criação do grupo de pequenas falhas, ambos destacados pela letra C e o *check* da execução, na letra A.

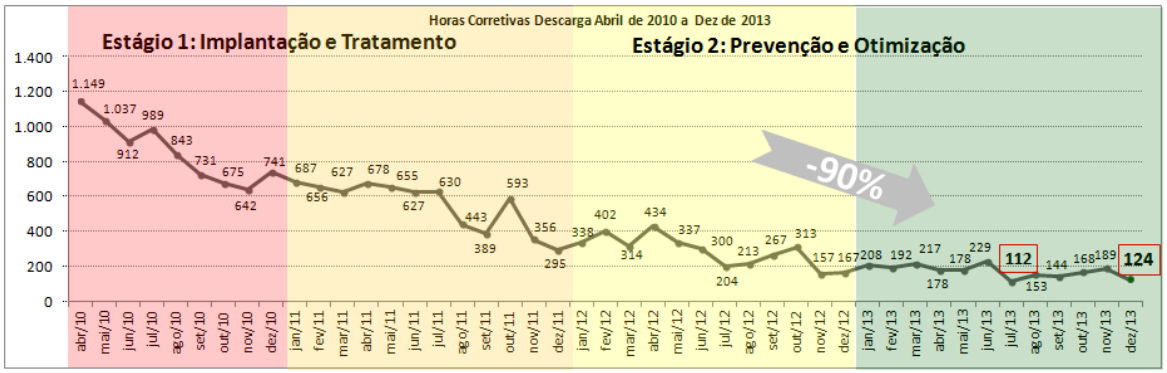
Os Gráficos 1 a 7 representam os resultados obtidos no acompanhamento e aplicação dessa rotina pelo SPV. Em 2010, já era possível observar a diminuição das horas corretivas tanto no sistema de descarga (36%) quanto no sistema embarque (56%), conforme ilustra o Gráfico 1:

Gráfico 1 - Horas Corretivas da Descarga e do Embarque/2010. Fonte: Adaptado pelo autor (2014)



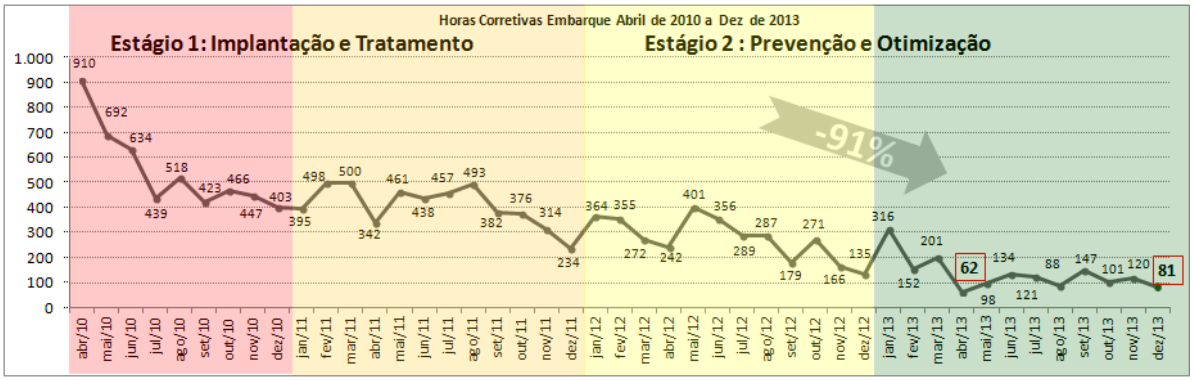
Essa tendência de redução foi constante ao longo dos anos de 2012 a 2013, com um recorde na descarga de 112 h corretivas em julho de 2013 e fechando esse ano com 124 h, ou seja, redução de 90% em relação a abril de 2010, conforme mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2 – Horas Corretivas da Descarga – Abril de 2010 a Dezembro de 2013. Fonte: Adaptado pelo autor (2014)



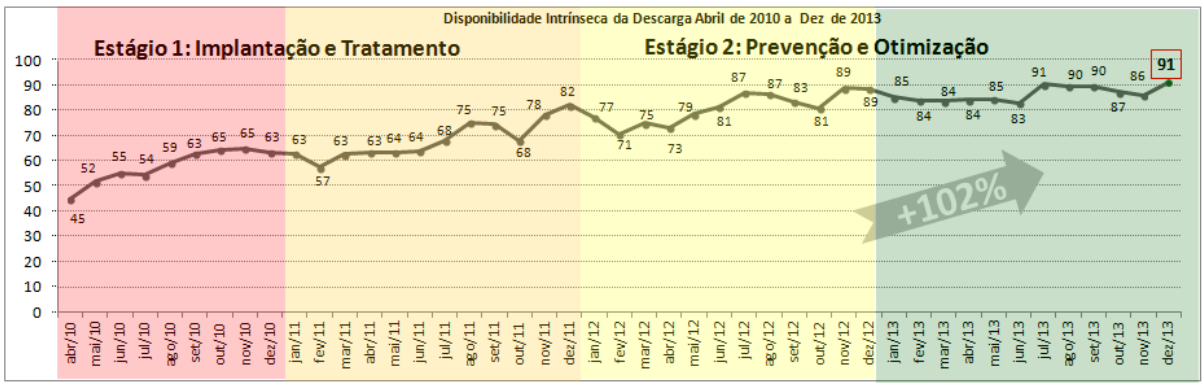
O Gráfico 3 mostra que no processo embarque, o menor valor de horas corretivas foi de 62 h em abril de 2013, tendo como resultado final, 81 h em dezembro, representando uma redução de 91% comparada a abril de 2010.

Gráfico 3 – Horas Corretivas do Embarque – abril de 2010 a dezembro de 2013. Fonte: Adaptado pelo autor (2014)



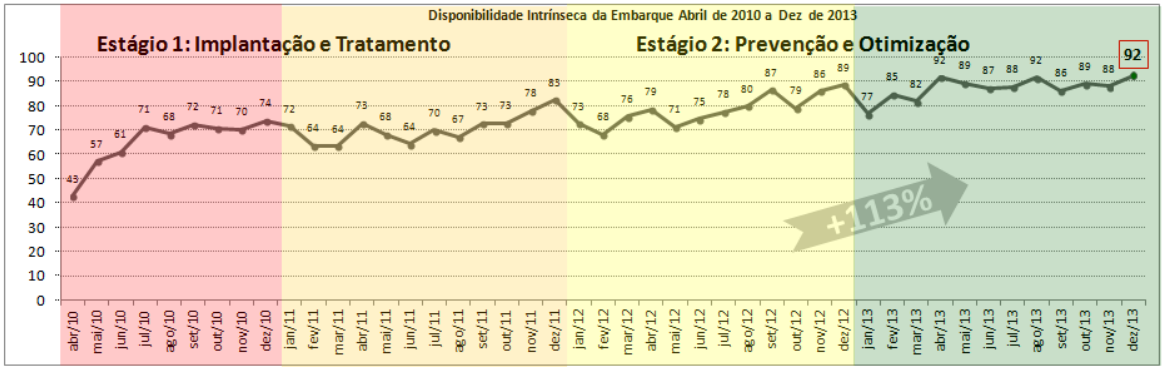
O indicador de DI que tem influência direta das horas corretivas, também apresentou resultados significativos no TMPM. A descarga saiu de um patamar de 45% de DI para 91% (Dez/2013), com aumento de 102%, conforme mostrado no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Disponibilidade Intrínseca da Descarga – abril de 2010 a dezembro de 2013. Fonte: Adaptado pelo autor (2014)



No processo de embarque o aumento da DI foi de 113%, evoluindo de 43% para 92%, conforme evidencia o Gráfico 5.

Gráfico 5 – Disponibilidade Intrínseca do Embarque – abril de 2010 a dezembro de 2013. Fonte: Adaptado pelo autor (2014)



O Indicador de Disponibilidade Física é influenciado não só pelas horas de manutenção corretiva, mas pelo total das horas de manutenção ocorridas, também apresentou crescimento no período analisado, alcançando 86% em dezembro de 2013 na descarga (acréscimo de 43%) e 87% com acréscimo de aproximadamente 40% na comparação ao mês de julho de 2013. Os Gráficos 6 e 7 mostram essa evolução.

Gráfico 6 – Disponibilidade Física da Descarga – abril de 2010 a dezembro de 2013. Fonte: Adaptado pelo autor (2014)

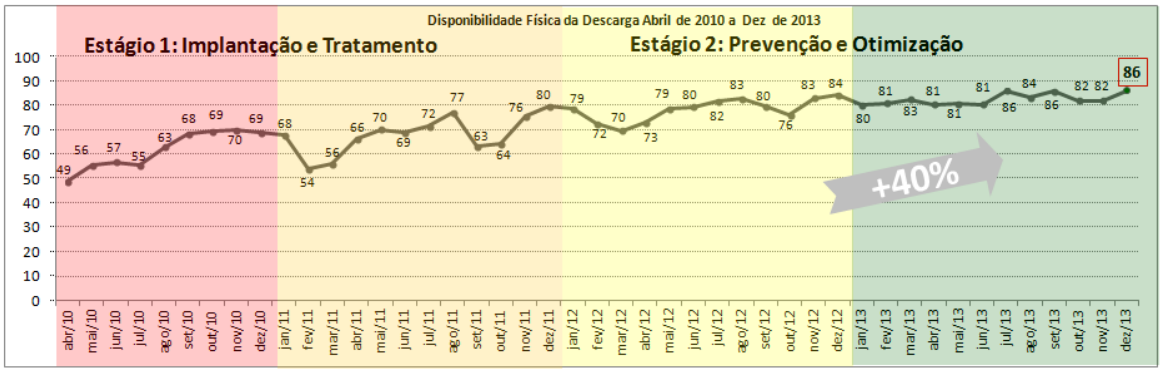
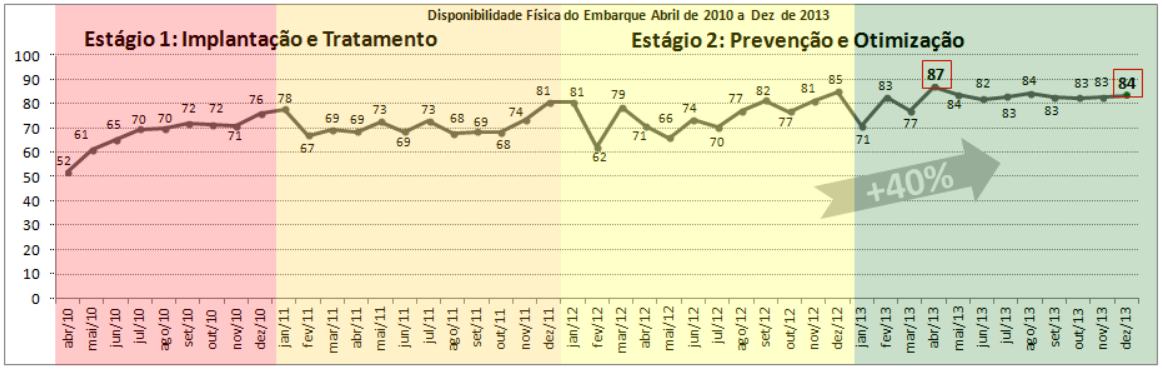


Gráfico 7 – Disponibilidade Física do Embarque – abril de 2010 a dezembro de 2013. Fonte: Adaptado pelo autor (2014)



As informações levantadas junto aos profissionais responsáveis associam os resultados apresentados à aplicação e sistematização da Função Manter (FM) a partir das rotinas e processos estabelecidos no SPV Manutenção.

5.2. Workshops SPV Manutenção.

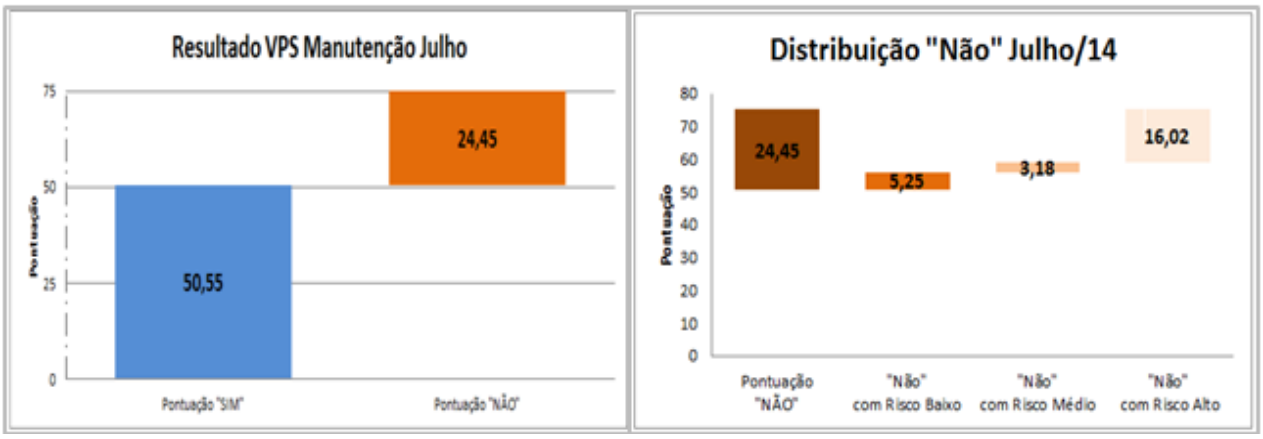
A Diretoria de Melhoria Operacional – DIMO, por entender que já existe uma maturidade das áreas com relação à implantação do SPV, delegou a definição de metas corporativas a partir de 2014. Assim, primeiramente, foi analisado o resultado do autodiagnostico até julho e feito uma avaliação de risco de não conformes ou em processo de implantação. A classificação de risco foi a seguinte: Risco alto: requisitos com maior dificuldade de implantação e que dificilmente serão implantados; Risco médio: requisitos com perspectivas de atendimento até o diagnóstico final, que exigem grande esforço; Risco baixo: requisitos com perspectivas de atendimento até o diagnóstico final, que exigem baixo esforço.

O Gráfico 8 apresenta o diagnóstico e classificação de riscos referente ao mês de julho de 2014 com um resultado de 50,55 e estratificação dos 24,45 pontos relativos aos riscos atingidos nessas classificações.

Em julho de 2014 foi realizado o *Workshop* SPV Manutenção Portanto para se consolidar a estratégia de melhoria contínua nesse modelo de gestão e garantir sustentabilidade em todos os processos do SPV Manutenção, com a participação dos principais representantes dos processos, tais como líderes, especialistas, consultores e pontos focais das gerências.

Nessa reunião, por meio da aplicação da Matriz SWOT foram levantados os principais itens associados aos pontos fortes e fraquezas, oportunidades e ameaças de modo a se identificar melhorias para os processos da dimensão Manutenção e consequentemente par Workshop SPV Manutenção a o SPV.

Gráfico 8 - *Build-up* Estratégico – SPV Manutenção/2014. Fonte: Equipe SPV Manutenção Porto Norte (VALE 2014)



A aplicação dessa metodologia consistiu, primeiramente, na formação de grupos divididos entre os processos comuns dos estágios 1 e 2 da pirâmide do SPV para análise dos *gap's* dos processos, focalizando-se os requisitos não pontuados, destacados na matriz de SWOT como pontos fracos. A seguir, cada grupo propôs ações com prazo, indicando o requisito correspondente. Ao término dessa primeira etapa, para maior conexão entre os trabalhos de cada equipe, foram montados novos grupos, com a permanência de um elemento de cada equipe anterior, responsável por apresentar o discutido, avaliação crítica e complementação das ações propostas.

Além disso, a partir dos resultados do *Workshop*, foram realizados entrevistas abertas com seus participantes para avaliar de forma macro, o sistema SPV. Dentre as oportunidades de melhorias identificadas, destacam-se: Diminuir as constantes revisões e inclusões de novos requisitos e processos no procedimento, pois dificultam sua implantação e consolidação eficaz; Maior envolvimento na busca de soluções pelos consultores da Diretoria de Melhoria Operacional - DIMO para atendimento e implantação dos processos e requisitos não atingidos e Melhor nivelamento de entendimento dos requisitos entre os Consultores DIMO, Consultores DIMO e Área diagnosticada e na Área diagnosticada.

As entrevistas destacaram os seguintes pontos positivos: A alocação de consultores da Diretoria de Melhoria Operacional da VALE-DIMO no TMPM; Estrutura formada com pontos focais para acompanhamento dos processos em cada área do Porto; Autodiagnósticos interno realizados pelos pontos focais do SPV Manutenção; Rotina de acompanhamento do plano de ação com verificação das ações realizadas; Implantação de projetos de melhorias com foco nos resultados operacionais e na redução dos desperdícios e Melhores resultados nos indicadores de desempenho.

Os resultados imediatos apontados como decorrentes do Workshop foram: Definição da meta a ser atingida até dezembro de 2014; Incorporação de 74 novas ações no plano de ação; Definição de responsabilidades e limites de atuação das áreas em determinados processos e Melhor entendimento dos processos novos.

6. CONCLUSÕES.

Este estudo analisou a implantação do Sistema de Produção Vale SPV no TMPM, avaliando quais resultados obtidos e procedimentos incorporados. Para tanto, baseou-se em revisão bibliográfica sobre o assunto, utilizando como base o Sistema Toyota de Produção. A avaliação dos resultados alcançados foi feita em função dos indicadores chaves dos processos do SPV Manutenção de Tratamento de Perdas e Prevenção de Falhas dos últimos quatro anos. Em julho de 2014 houve a participação no *Workshop* do SPV Manutenção, que objetivou aplicar a sistemática de melhoria contínua no sistema de manutenção do TMPM, analisando-se pela matriz SWOT os processos dos estágios 1 e 2 da dimensão Manutenção, no sentido de sua sustentabilidade e melhores resultados. Além disso, foram realizadas entrevistas abertas junto aos participantes do Workshop para avaliar de forma macro o sistema.

As conclusões indicam que a prática implantada pelo SPV é alinhada ao STP e possibilitou ao TMPM ganhos de melhoria dos processos estudados pela criação e sistematização de novas rotinas para tratamento dos desvios, as quais envolvem todos os níveis da organização e melhoria no desempenho dos ativos com aumento da disponibilidade, confiabilidade e, consequentemente, redução de custos e dos riscos associados às paradas inesperadas com o aumento da produtividade.

Esses ganhos podem ser resumidos da seguinte forma: redução das horas corretivas; aumento da disponibilidade física e aumento da disponibilidade intrínseca.

Além disso, eventos como o Workshop possibilitaram discussões, entendimentos e a formulação de ações de melhorias para os processos dos estágios implantados. As entrevistas abertas realizadas apontaram um conjunto de oportunidades de melhorias, reforçando os pontos fortes desse sistema de gestão.

O maior envolvimento dessa equipe nas áreas, pode contribuir para o nivelamento e atendimento dos requisitos, ao facilitar a comunicação em todos os níveis da organização e contribuir para alterações coerentes na revisão e correção do procedimento e requisitos do SPV reduzindo suas revisões.

O estudo, no entanto, indica a necessidade de trabalhos futuros na empresa, para avaliação da evolução dos demais processos da dimensão Manutenção e das demais dimensões do SPV em outras áreas da empresa, tanto outros terminais como na mina e na ferrovia. Da mesma forma, poder-se-ia relacionar esse sistema de gestão com outros aplicados em outras empresas.

7. REFERÊNCIAS.

GHINATO, P. **Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações**. Ed. Adiel T. de Almeida & Fernando M.C. Souza, Editora da UFPE, Recife 2000.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 1966.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota**: **manual de aplicação**; tradução Lene Belon Ribeiro. Porto Alegre: Bookman, 2007.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark. Ed.2009.

VALE. PGS – 002550: **Diretrizes SPV - Sistema de Produção Vale**. Rio de Janeiro, 2014.

VALE. PGS-002328: **Tratamento de Perdas – Portos**. VALE: São Luís, 2013.

VALE. PGS-002329: **Prevenção de Falhas – Portos**. VALE: São Luís, 2013.

VALE. Regulamento REG – 000081: **Diretrizes SPV Para Dimensão Manutenção**. Rio de Janeiro, 2013.

VALE S.A. (2014). ***Vale: Orçamento de Investimentos e P&D de US$16,3 bilhões para 2013.*** Disponível em: <http://www.vale.com/PT/investors/investments/Capex/Capex/120312Capex2013_p.pdf>. Acesso em 16 de agosto de 2014.

WOMACK, J. P.; JONES, D.T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas -** Lean Thinking. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

PANORAMA DO FINANCIAMENTO PÚBLICO DE PROJETOS PORTUÁRIOS NO BRASIL

Sampaio, C. R[1].; Cutrim, S. S.[2]; Botter, R. C.[3]; Pereira, N. N.[4]

[1]VALE S.A. Av. dos Portugueses, S/N, Bacanga, São Luís-MA, Brasil. clesson.sampaio@gmail.com
[2]Universidade Federal do Maranhão. Av. dos Portugueses, S/N, Bacanga, São Luís-MA, Brasil. sergio.cutrim@ufma.br
[3]Universidade de São Paulo. Av. Professor Mello Moraes, 2231, São Paulo – SP, Brasil rcbotter@usp.br
[4]Universidade de São Paulo. Av. Professor Mello Moraes, 2231, São Paulo – SP, Brasil. newtonnaval@gmail.com

RESUMO.

O transporte marítimo, responsável pela maior parte da movimentação de mercadorias entre países é um setor de infraestrutura intensivo em capital e exige muito do sistema financeiro com oferta de produtos adequados. No Brasil, com a nova regulamentação, o setor privado assumiu um papel mais importante na operação e implantação de projetos portuários e o BNDES passou a ser o principal financiador por meio de operações de longo prazo a taxas atrativas. Este artigo analisou as operações de financiamento portuário pelo BNDES no período 1993 a 2013. Verificou-se que, num total de R$ 3,2 bilhões, com 78,6% para ampliação e construção de terminais logísticos, portos e estruturas de armazenagem. Outros 21,4% foram aplicados em empreendimentos pré-existentes e quase metade dos recursos destinados à carga geral e conteinerizada. As condições de financiamento se mostraram satisfatórias, porém não suficientes para atender a toda a demanda de investimentos necessários para alavancar o setor.

1. INTRODUÇÃO.

A maioria dos bens comercializados no mundo é movimentada por via marítima, ou seja, 80% em volume e mais de 70% em valor com participação maior em países emergentes. Dessa forma os portos têm importância estratégica no desenvolvimento de um país (Pereira & Brinati, 2012). No Brasil não é diferente, segundo dados do Ministério de Desenvolvimento,

Indústria e Comércio - MDIC (2013), em 2012, na exportação, o transporte marítimo de mercadorias correspondeu a 96,1% em volume e 83,5% em valor (US$ FOB); nas importações, a 89,4% das exportações em volume e 75,4% em valor. Essa condição deve permanecer pela inserção do país no comércio internacional e pela relativa pouca importância das trocas comerciais com nossos países limítrofes.

O governo brasileiro tem implantado políticas de melhoria da infraestrutura portuária em todos os seus aspectos, seja na construção de novos terminais portuários, seja na melhoria ou ampliação das instalações portuárias existentes, e ainda na construção de embarcações voltadas para as operações de transporte de produtos e pessoas ou destinadas diretamente às operações portuárias, tais como os rebocadores de navios. Cabe salientar, que nestes investimentos o governo também tem atuado nas questões logísticas, pois principalmente nas exportações, os sistemas de transporte envolvem um sistema logístico intermodal, que inclui o transporte aquaviário e os portos de transbordo de carga (Almeida et al. 2013).

Entre 2002 e 2011, segundo o Plano de Modernização da Infraestrutura Portuária a movimentação nos portos brasileiros cresceu 6% a. a. e a continuidade dessa evolução exigirá a construção de novos portos e a expansão dos portos existentes (BNDES, 2012). O maior porto brasileiro em valor das cargas movimentadas é o de Santos, o qual, em 2013, representou 29,5% da movimentação nacional (IPEA, 2006). Em relação ao transporte marítimo de longo curso, a evolução da movimentação de cargas conteinerizadas se reflete na expansão da frota de navios porta-contêineres e na tendência do aumento do porte dos navios.

Portos representam sistemas compostos por subsistemas de recebimento de cargas por vias terrestre e marítima; de manuseio e de equipamentos de descarga e carregamento e o subsistema de expedição dessas cargas até seus destinos finais. O aumento do porte dos navios tem exigido tanto do setor privado como do público ações de compatibilização, pois navios maiores exigem profundidades maiores nos canais de acesso, nas bacias de evolução e nos berços na maioria dos portos brasileiros. Além disso, os requerimentos de aumento de produtividade das operações se acentuam. Atualmente, navios com porte de 2.500 TEUs (Twenty Equivalent Unity – contêiner de 20 pés, unidade básica do setor) devem ser considerados navios alimentadores (feeders), pois a tendência mundial é de utilização de navios de longo curso, navios com porte superior a 8.000 TEUs.

Os projetos portuários envolvem investimentos em infraestrutura e superestrutura, em obras de acesso, dragagem e derrocamento e em toda a cadeia do transporte marítimo. Desta forma este setor tão intensivo em capital é dependente da oferta de financiamento de longo prazo.

2. OBJETIVOS.

O presente artigo em como objetivo fazer um mapeamento do financiamento de projetos portuários no Brasil, realizado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), durante os anos de 1993 a 2013, período em que vigorou a Lei 8630 de 1993 (Lei de Modernização dos Portos). Estratificando as formas de financiamento, taxas, pagamentos, retorno esperado, inadimplência, mercados, regiões e outros fatores que indiquem sua efetividade no financiamento do setor portuário.

3. O FINANCIAMENTO DO SETOR PORTUÁRIO.

A partir da Lei 8630/1993, a chamada Lei de Modernização dos Portos, a operação portuária foi repassada ao setor privado por meio de concessões e arrendamentos, que se responsabilizou pela construção e melhoria da superestrutura portuária brasileira. O setor portuário é altamente intensivo em capital devido a necessidade de investimentos em equipamentos, infraestrutura e superestrutura (CUTRIM et al. 2014). Com base na nova lei, alguns agentes privados buscaram recursos junto ao BNDES, principal financiador, para seus empreendimentos. Existe a necessidade de investimentos da ordem de R$ 42,9 bilhões para o setor portuário, referentes a 133 obras de construção, recuperação e ampliação (R$ 20,5 bilhões), 45 obras de acessos terrestres (R$17,3 bilhões), 46 obras de dragagem e derrocamento (R$2,8 bilhões), e 41 obras de infraestrutura portuária – outras obras (R$ 2,3 bilhões) (Campos Neto et al. 2009).

Os relatórios e estudos de infraestrutura portuária indicam os números planejados. Porém, planejado não significa executado, sendo difícil essa comparação nas informações identificadas, principalmente para o setor privado. O BNDES é o principal agente financiador dos projetos de longo prazo de infraestrutura portuária, especialmente por meio das linhas FINEM (Financiamento a Empreendimentos) e FINAME (Financiamento de Máquinas e Equipamentos). Para o setor, é possível obter financiamento para até 80% do valor de um projeto de infraestrutura portuária, contudo, na média, os financiamentos do BNDES cobrem 60% do valor dos projetos em portos (MARCHETTI; PASTORI (2009). Estima-se os

investimentos em transportes considerando o valor financiado pelo BNDES acrescido de 40%, conforme apresenta a Tabela 1.

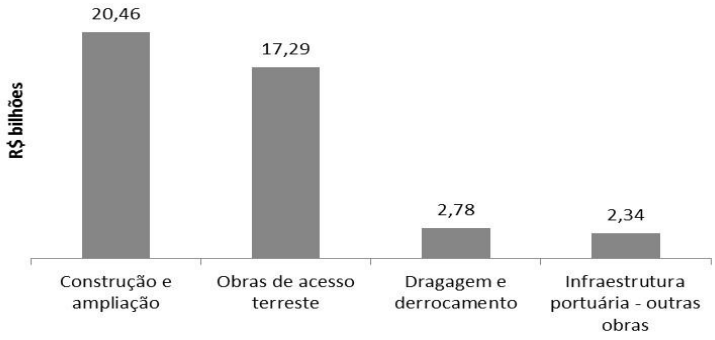


Figura 1: Portos brasileiros: principais gargalos e demandas. Fonte: Campos Neto et al. (2009).

Tabela 1: Desembolsos públicos e privados em infraestrutura (1999-2008). Fonte: Adaptado de Campos Neto et al. (2009).

	Ano	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Gasto público	Transportes	620,36	776,01	1.037,39	2.480,24	1.091,90	1.025,49	2.453,38	3.443,38	4.484,05	3.009,46
	Setor Hidroviário	67,03	114,87	257,71	903,50	525,14	121,83	150,11	106,91	257,09	580,97
	% Hidroviário	10,81%	14,80%	24,84%	36,43%	48,09%	11,88%	6,12%	3,10%	5,73%	19,30%
Gasto privado	Desembolsos BNDES	7.811,34	10.965,17	12.243,94	24.626,60	23.991,10	32.036,01	38.240,05	43.371,33	59.095,96	90.877,90
	Transportes	669,17	630,77	919,54	1.569,62	2.547,30	4.304,85	6.427,93	7.601,10	12.125,49	19.203,50
	Trasnporte Hidroviário	64,87	56,72	69,12	161,44	438,85	553,00	343,25	403,05	644,40	661,50
	Part. da firma em transporte hidroviário	43,25	37,81	46,08	107,63	292,57	368,67	228,83	268,70	429,60	441,00
	Gasto privado em transporte hidriviário	108,12	94,53	115,20	269,07	731,42	921,67	572,08	671,75	1.074,00	1.102,50
	% Trans. Hidroviário total - BNDES	1,38	0,86	0,94	1,09	3,05	2,88	1,50	1,55	1,82	1,21
	Gasto total no setor hidroviário	175,15	209,40	372,91	1.172,57	1.256,56	1.043,50	722,19	778,66	1.331,09	1.683,47

A Tabela 1 apresenta um investimento crescente no setor de transportes no período 1999 a 2008, ou seja, em 10 anos cresceu 17 vezes e no setor hidroviário 9,6 vezes. Campos Neto et al. (2009) indicaram que o setor de transportes, embora crescente, representou uma

porcentagem muito pequena do PIB do país (1,15% em 2008) e o setor hidroviário com 0,06% do PIB, atingindo seu máximo de participação do PIB em 2003, com 0,12%.

A Figura 2 mostra a evolução dos investimentos públicos e privados no setor hidroviário. Nota-se que os investimentos privados superaram os públicos a partir de 2003 e no período de 1999 a 2003, os investimentos públicos foram, em média, R$ 100 milhões maiores que os privados, devido, principalmente, aos investimentos das Companhias Docas

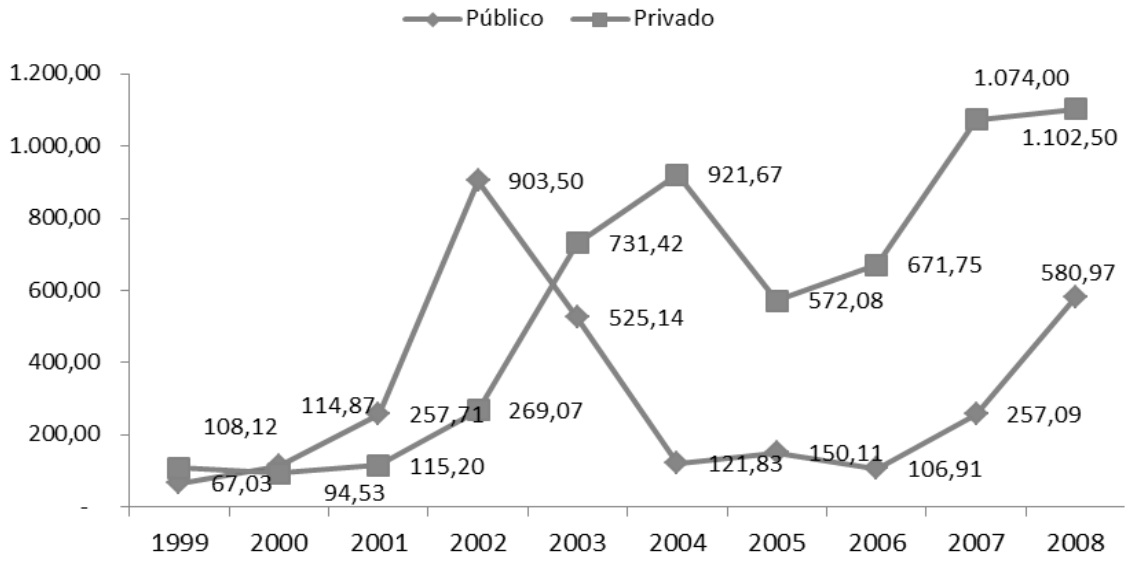


Figura 2: Evolução dos investimentos públicos e privados no setor hidroviário Fonte: Adaptado de Campos Neto *et al.* (2009).

A Tabela 2 indica que a participação relativa dos investimentos no setor hidroviário no setor de transportes caiu ao longo dos anos, saindo de 13,6% em 1999 para 7,6% em 2008 e que a participação da iniciativa privada no setor hidroviário também caiu, saindo de 16,2% em 1999 para 5,7% em 2008, embora tenha havido crescimento nos valores absolutos. Note-se o o aumento da participação privada, cujos investimentos de 1998 a 2008 foram 83% maiores que os públicos.

Tabela 2 - Desembolsos públicos e privados em infraestrutura de transportes e no setor hidroviário (1999-2008). Fonte: Adaptado de Campos Neto *et al.* (2009).

Ano	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Público	620,36	776,01	1.037,39	2.480,24	1.091,90	1.025,49	2.453,38	3.443,38	4.484,05	3.009,46
Privado	669,17	630,77	919,54	1.569,62	2.547,30	4.304,85	6.427,93	7.601,10	12.125,49	19.203,50
Setor Transportes	1.289,53	1.406,78	1.956,93	4.049,86	3.639,20	5.330,34	8.881,31	11.044,48	16.609,54	22.212,96
Público	67,03	114,87	257,71	903,50	525,14	121,83	150,11	106,91	257,09	580,97
Privado	108,12	94,53	115,20	269,07	731,42	921,67	572,08	671,75	1.074,00	1.102,50
Setor Hidroviário	175,15	209,40	372,91	1.172,57	1.256,56	1.043,50	722,19	778,66	1.331,09	1.683,47
% Público	10,81%	14,80%	24,84%	36,43%	48,09%	11,88%	6,12%	3,10%	5,73%	19,30%
% Privado	16,16%	14,99%	12,53%	17,14%	28,71%	21,41%	8,90%	8,84%	8,86%	5,74%
% Setor Hidroviário	13,58%	14,89%	19,06%	28,95%	34,53%	19,58%	8,13%	7,05%	8,01%	7,58%

4. MATERIAIS E MÉTODOS.

O estudo utilizou o método de pesquisa exploratória, qualitativa, com revisão bibliográfica e análise de conteúdo de publicações especializadas e consulta aos projetos da área portuária financiados pelo BNDES entre os anos de 1993 a 2013. A análise de conteúdo focalizou os trabalhos sobre o setor portuário e a literatura técnica gerada por órgãos do setor, com a Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ, a Confederação Nacional de Transportes – CNT e o Banco Nacional para o Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, principal fonte de dados secundários relativos aos investimentos financiados pelo banco para o setor portuário no período de 1993 a 2013.

A pesquisa sofreu limitações não esperadas. Não foi possível levantar todos os empréstimos concedidos pelo BNDES no período proposto por limitação do próprio sítio do banco que apresentava somente informações de operações de financiamento para o setor portuário a partir do ano de 1998, embora solicitado, informações para os anos de 1993 a 1997 não foram obtidas, sendo que o BNDES informou não ser possível seu fornecimento por não existir uma lista descritiva de operações no período. Além disso, o BNDES não forneceu parte dos dados solicitados alegando ser "informação protegida pelo sigilo bancário", o que se respeitou. Assim, não foram obtidos dados relativos a retorno dos projetos financiados, a participação financeira do financiado e a eventual inadimplência dos pagamentos. Dessa forma,

analisaram-se dados entre 1998 e junho de 2013, conforme fornecidos pelo BNDES. Note-se que Lei 8.630/1993 foi substituída em 5 de junho de 2013, quando entrou em vigor a Lei 12.815.

Foram considerados os seguintes critérios: 1) projetos contratados diretamente ao BNDES; 2) projetos contratados entre 2008 e maio de 2013, período que consta no sítio do BNDES os registros de operações de financiamento direto para o setor; 3) projetos contratados para empreendimentos imóveis (portos, estaleiros, armazéns, pátios e outros); 4) foram desconsiderados contratos para construção de embarcações, mesmo que doutrinariamente sejam considerados bens imóveis e 5) foram excluídos três projetos contratados pela empresa Vale S.A. por aglutinarem no mesmo montante, o financiamento de construção de mina, ferrovia e maquinário de porto, não permitindo identificar a parcela do atribuída à estrutura portuária.

5. RESULTADOS.

Foram reportadas, pelo BNDES, no período de 2009 a abril de 2013, 45 operações com 17 contratantes. Um projeto pode ter mais de uma operação de financiamento com datas de contratação, prazo, taxa e custos financeiros diferentes entre si. O estudo analisou as operações de financiamento per si, em lugar do projeto. A Figura 3 mostra que 78,6% do valor de R$ 3,2 bilhões contratados, corresponderam a 25 operações referentes a implantação de novos projetos e 21,4% a ampliações ou modernização de empreendimentos pré-existentes.

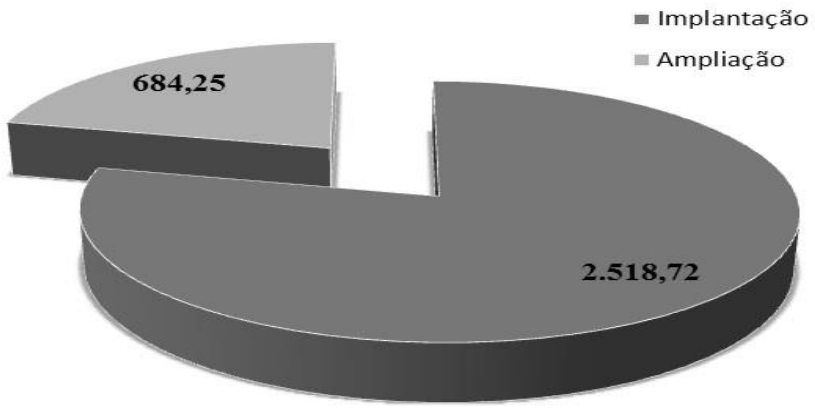


Figura 3: Financiamento de projetos portuários de implantação e ampliação em R$ milhões.
Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 4 mostra a distribuição dos financiamentos por região brasileira, sendo que 47,6% foram aplicados na Região Sudeste; 37,4% no Nordeste e o restante no Sul, acompanhando a concentração da estrutura portuária no país. A quantidade de projetos financiados por região se mostrou equilibrada, com seis projetos nas regiões Sul e Sudeste e cinco no Nordeste.

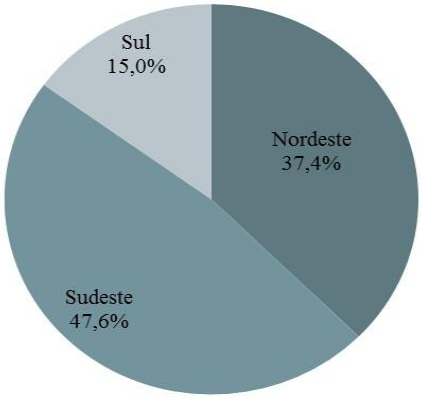


Figura 4: Participação nos financiamentos, por região. Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 3 apresenta as operações por estado da federação, sendo que 75% do valor total foram destinados aos estados do Rio de Janeiro, Bahia e Paraná, dos quais 44% foram alocados somente no estado do Rio de Janeiro e em termos de valor médio das operações, o Estado do Ceará ocupa o primeiro lugar.

Tabela 3: Operações de financiamento por estado. Fonte: Dados da pesquisa

UF	No de projetos	No de operações	Valor Contratado R$ Milhões	%	Média Valor Contratado
CE	1	1	275,73	8,61%	275,73
RJ	4	8	1.408,26	43,97%	176,03
BA	2	4	610,16	19,05%	152,54
PR	3	6	347,48	10,85%	57,91
PE	2	6	311,79	9,73%	51,96
SP	1	5	93,84	2,93%	18,77
SC	2	7	105,29	3,29%	15,04
RS	1	2	27,97	0,87%	13,98
ES	1	6	22,47	1%	3,74
Total Geral	17	45	3.202,99	100,00%	765,7

A Tabela 4 mostra as aplicações dos recursos quanto à natureza das cargas, excluindo-se R$ 1,1 bilhão de financiamentos diretamente relacionados à construção de embarcações, plataformas e equipamentos para a indústria de petróleo e gás. Os investimentos em quase metade foram destinados à infraestrutura de movimentação e armazenagem de carga geral e contêineres, o que somou R$ 957,5 milhões. Dentre estes, apenas um projeto foi de implantação de um terminal retro portuário, localizado em Itapoá, no Estado de Santa Catarina, todos os demais foram de ampliação ou modernização de instalações pré-existentes. Os demais foram projetos voltados a produtos específicos: fertilizantes, GNL e produtos químicos, petroquímico e outros combustíveis. Nestes casos, o único projeto de ampliação foi o do terminal químico de Aratu, no porto de Suape, Pernambuco.

Tabela 4: Operações por tipo de carga. Fonte: Dados da pesquisa.

Tipo de carga	No de projetos	No de operações	Valor Contratado
Carga geral	1	1	518,59
Carga geral e conteineres	2	3	300,91
Carga geral, frigorificada e conteineres	1	3	12,90
Conteineres	3	9	125,18
Fertilizantes	1	2	61,60
GNL	1	2	584,98
Minério de ferro	1	4	484,80
Produtos químico, petroquímicos, combustíveis e outros	1	3	31,43
Total geral	11	27	2.120,39

A Tabela 5 mostra a relação dos tomadores de recursos, destacando-se a Petrobrás, que contratou R$ 584 milhões para a construção de um terminal de regaseificação de GNL. Das 17 empresas, quatro representam 62% dos recursos. Em valores médios por operação, se destacam as empresas LLX Operações Portuárias S.A. e a OSX Construção Naval S.A., com recursos destinados à construção do Porto do Açu e de um estaleiro.

A Tabela 6 apresenta o custo financeiro das operações, indicando a preferência pela Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) em 29 operações que somam 81,5% do volume de recursos totais, ou seja, R$ 2,6 bilhões. A TJLP é uma taxa calculada trimestralmente e se manteve em 6% a.a. na maior parte do período analisado, fixando-se em 5% no último trimestre de abril a junho de 2013, o que denota a estabilidade desse índice.

Tabela 5: Relação de tomadores de recursos. Fonte: Dados da pesquisa

Contratante	No de operações	Valor Contratado	%	Média Valor Contratado
PETROLEO BRASILEIRO S.A	2	584,98	18,3%	292,49
LLX ACU OPERACOES PORTUARIAS S/A	1	518,59	16,2%	518,59
PORTO SUDESTE DO BRASIL S/A	4	484,80	15,1%	121,20
OSX CONSTRUCAO NAVAL SA	1	389,26	12,2%	389,26
ESTALEIRO ATLÂNTICO SUL S/A	3	280,36	8,8%	93,45
ESTADO DO CEARA	1	275,73	8,6%	275,73
TECHINT ENGENHARIA E CONSTRUCAO S/A	3	211,13	6,6%	70,38
WILSON, SONS ESTALEIROS LTDA	5	93,84	2,9%	18,77
P2 ESTALEIRO S/A	4	92,39	2,9%	23,10
TCP - TERMINAL DE CONTEINERES DE PARANAG	1	74,75	2,3%	74,75
ROCHA TERMINAIS PORTUARIOS E LOGISTICA S	2	61,60	1,9%	30,80
TERMINAL QUÍMICO DE ARATU S/A TEQUIMAR	3	31,43	1,0%	10,48
TECON RIO GRANDE S/A	2	27,97	0,9%	13,98
LOG-IN LOGISTICA INTERMODAL SA	2	25,18	0,8%	12,59
T V V TERMINAL DE VILA VELHA S/A	6	22,47	0,7%	3,74
BRASCO LOGISTICA OFFSHORE LTDA	2	15,61	0,5%	7,80
CENTRO LOGISTICO INTEGRADO FASTCARGO LT	3	12,90	0,4%	4,30
Total Geral	45	3.202,98	100%	71,18

Os dados obtidos indicaram que as taxas de juros praticadas foram as mais variadas, não ultrapassando 5,5% a.a. no período analisado. A Figura 5 apresenta que três operações de agosto de 2010, março de 2011 e outubro de 2012, representando apenas R$ 27,9 milhões com taxas superiores, apenas 0,9% do total das operações de R$3,2 bilhões.

Tabela 6: Custo financeiro das operações (parte variável). Fonte: Dados da pesquisa.

R$ Milhões

Custo Financeiro	No de operações	Valor Contratado	%
TJLP	29	2.611,72	81,5%
US$	6	440,54	13,8%
CESTA DE MOEDAS	3	115,97	3,6%
R$	2	27,65	0,9%
IPCA	5	7,10	0,2%
Total Geral	45	3.202,98	100%

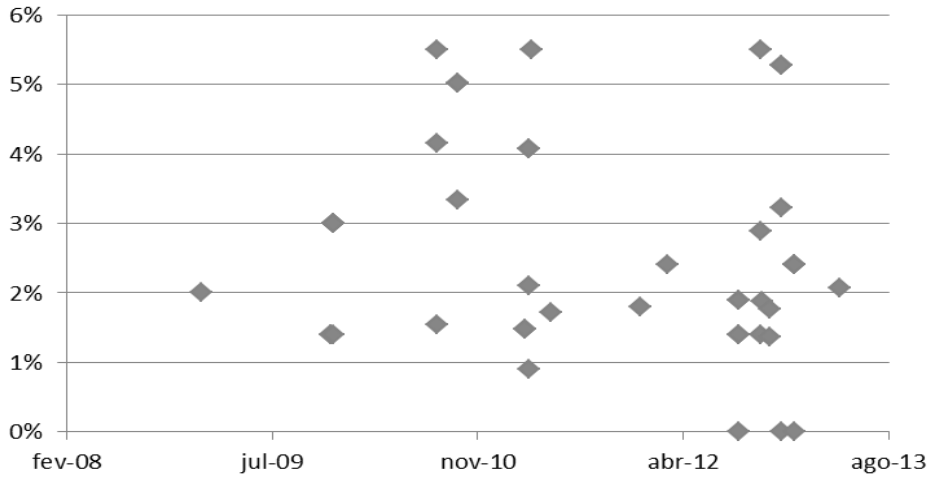


Figura 5: Dispersão das taxas. Fonte: Dados da pesquisa.

Destaque-se que se apresentaram três operações com taxa de juro anual igual à zero, capitalizadas apenas ao custo financeiro da TJLP, com operações com valor unitário não ultrapassando 1% do valor total financiado. A menor taxa, desconsiderando aquelas de valor zero, foi de 0,9% a.a. em uma operação de R$ 12 milhões. O restante das operações, representando um valor total de R$ 2,4 bilhões (76,3% dos recursos) apresentou taxas entre 1,5% a.a. e 2,5% a.a., indicando pouca dispersão entre as taxas.

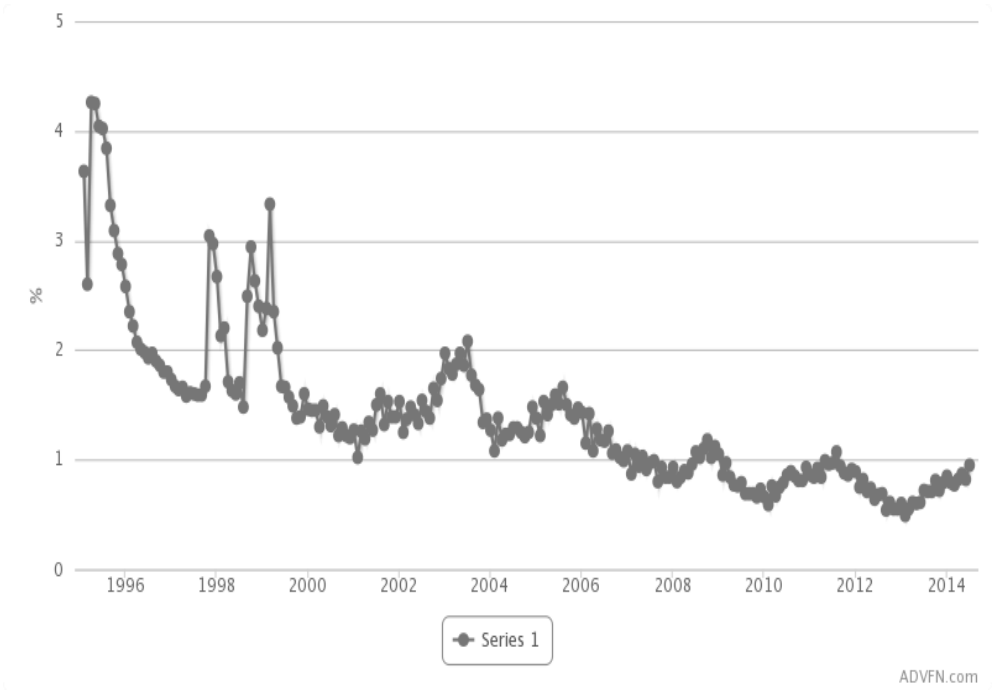


Figura 6: Taxa SELIC mensal. Fonte: ADVFN (2014).

Pode-se considerar que as taxas praticadas nas operações como atrativas pelo custo financeiro composto por uma taxa fixa atrelada a índices variáveis, como por exemplo, a TJLP, principalmente ao se comparar com a taxa básica de juros da economia brasileira, a SELIC, durante todo o período avaliado, que apresentou tendência de baixa, ficando próxima a 1% entre 2009 e 2013, conforme mostra a Figura 6.

Em projetos de maturação de longo prazo, como os portuários, é comum a prática de um prazo inicial de carência para dar tempo à implantação do projeto e facilitar o pagamento das parcelas do financiamento, quando o empreendimento estiver gerando caixa. Os dados obtidos indicaram que na média por operação, quanto menor o valor da operação menor o prazo de carência, indicando haver coerência na concessão do prazo de carência.

Embora a gama de prazos seja ampla, 35% das operações tiveram prazo de 18 meses de carência, apenas oito operações, ou 17,7% do total, tiveram prazo menor que 18 meses. Estas também são as que têm o menor valor médio por operação, conforme apresenta a Tabela 7.

Tabela 7: Prazo de carência. Fonte: Dados da pesquisa

Carência em meses	No de operações	Valor Contratado	%	Média Valor Contratado
54	1	518,59	16,19%	518,59
23	1	389,26	12,15%	389,26
30	1	275,73	8,61%	275,73
40	4	484,80	15,14%	121,20
21	4	293,05	9,15%	73,26
36	3	211,13	6,59%	70,38
18	16	742,52	23,18%	46,41
24	3	136,35	4,26%	45,45
33	4	92,39	2,88%	23,10
13	2	27,97	0,87%	13,98
12	6	31,20	0,97%	5,20
Total Geral	45	3.202,98	100,00%	71,18

A Tabela 8 apresenta os prazos médios de amortização calculados pelo modelo simplificado de cálculo do BNDES, ou seja, a soma do prazo de carência com a metade do prazo do contrato. O prazo do financiamento será determinado em função da capacidade de pagamento do empreendimento, da empresa ou do grupo econômico e o prazo total inclui os prazos de carência e de amortização. Em regra, o BNDES utiliza para o cálculo das parcelas do

financiamento o Sistema de Amortização Constante (SAC), mas admite-se em alguns casos o Sistema Francês.

As operações apresentaram prazo médio de amortização na faixa de 50 a 100 meses. Apenas o projeto de construção do estaleiro naval da empresa OSX Construção Naval S.A. teve prazo médio de 34,5 meses.

Tabela 8: Prazo médio de amortização. Fonte: Dados da pesquisa

Prazo de Amortização	No de operações	Valor Contratado	%	Média Valor Contratado
20 - 50	1	389,26	12%	389,26
50 - 100	27	1.277,46	40%	47,31
100 - 150	13	1.051,45	33%	80,88
150 - 200	4	484,80	15%	121,20

6. CONCLUSÕES.

O estudo identificou pelos critérios adotados, investimentos na ordem de R$ 3,2 bilhões entre 2009 e junho de 2013 referentes a ampliação e construção de obras portuárias: Terminais logísticos, portos, cais, estrutura de armazenagem, dentre outros. Pôde-se inferir que na média os financiamentos do BNDES cobrem 60% do valor dos projetos em portos e que o valor total dos investimentos chega próximo de R$ 5,3 bilhões. Note-se que não se obteve dados do BNDES da participação das entidades financiadas nas operações, com o banco alegando a necessidade resguardar o sigilo bancário.

Os valores dos investimentos indicam a existência de um mercado favorável e organizações dispostos a explorá-lo. A Lei 8.630/1993 viabilizou a participação do setor privado em parceria com o BNDES. Este se configurou como o principal financiador dos projetos de longo prazo para a ampliação e modernização da infraestrutura portuária brasileira, promovendo o desenvolvimento, a geração de empregos e a diminuição das desigualdades regionais.

O BNDES concedeu empréstimos com prazos, taxas e carências atrativas, resultando na contratação de recursos na ordem de R$ 3,2 bilhões com 76,3% dos recursos financiados a taxas entre 1,5% a.a. e 2,5% a.a. atreladas a indexadores como, por exemplo, a TJLP,

indicando taxas atrativas comparativamente à SELIC, taxa de juros básica da economia brasileira, que esteve próxima de 1% a.m. de 2009 a 2013.

Podemos concluir que a maior abertura para a operação portuária propiciada pela nova lei e a possibilidade de obtenção de recursos de capital a longo prazo ajudaram a impulsionar o investimento em infraestrutura portuária no Brasil. A Lei 12815/2013 segue os mesmos princípios da lei anterior e na atual configuração o BNDES atua como o principal órgão financiador. Porém, o volume de recurso financiado está aquém das necessidades do setor, já que pesquisas anteriores indicaram a necessidade de investimento em portos e ampliação na ordem de 20,46 bilhões de reais.

Como limitação do estudo temos a falta de informações de financiamentos privados de projetos portuários e como possibilidades de expansão do estudo temos a análise de financiamento do BNDES em projetos portuários em outros países.

7. REFERÊNCIAS.

ALMEIDA, C. A.; CARDOSO NETO, J.; SELEME, R.; SCHILIPACK, E. C. da SILVA. **Modelagem Matemática e Simulação para Otimizar o Escoamento da Soja Brasileira Exportada à China**. RACE - Revista de Administração, Contabilidade e Economia, v. 12, n. 1, 2013.

ADVFN. **Histórico Taxa Selic**. Disponível em http://br.advfn.com/indicadores. Acessado em 17/12/2014.

ANTAQ. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Anuário estatístico aquaviário 2013**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2013/index.htm. Acesso em 17 jun 2014.

BNDES. **Análise e Avaliação da Organização Institucional e da Eficiência de Gestão do Setor Portuário Brasileiro**. Relatório Consolidado, 2012.

CAMPOS NETO, C. A. S.; PÊGO FILHO, B.; ROMMINGER, A. E.; FERREIRA, I. M.; VASCONCELOS, L. F. S. **Gargalos e demandas da infraestrutura portuária e os investimentos do PAC: mapeamento IPEA de obras portuárias.** Brasilia, IPEA, Outubro, 2009.

CUTRIM, S.S.; ROBLES, L.T.;ROMA NETO, P.; CUTRIM, SAMYR DE JESUS. **Gestão de falhas na descarga de minérios no terminal marítimo de Ponta da Madeira**. Revista de Ciência & Tecnologia , v. 17, n. 34, p. 27-50, jan./jun, 2014.

CNT - Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de transporte marítimo 2012**. Brasília, 2013.

MDIC. **Ministério de Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior**. Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br>. Acessado em 10/08/2014.

MARCHETTI, D.S.; PASTORI, A. **Dimensionamento do potencial de investimentos para o setor portuário**. Rio de Janeiro, BNDES, 2009.

PEREIRA, N. N.; BRINATI H. L. **Onshore ballast water treatment: A viable option for major ports.** Marine pollution bulletin 64.11: 2296-2304, 2012.

ANÁLISE DA CAPACIDADE ASSOCIADA AO NÍVEL DE SERVIÇO PARA TERMINAIS PORTUÁRIOS UTILIZANDO ENFOQUE SISTÊMICO E SIMULAÇÃO

Ferreira Netto, João[1]; Botter, Rui Carlos[2]; Medina, Afonso Celso [3]

[1]Depto. de Engenharia Naval da Escola Politécnica da USP. Av. Professor Mello Moraes, 2231 – Cidade Universitária – São Paulo – SP. joaofnetto@usp.br
[2]Depto. de Engenharia Naval da Escola Politécnica da USP. Av. Professor Mello Moraes, 2231 – Cidade Universitária – São Paulo – SP. rcbotter@usp.br
[3]Depto. de Engenharia Naval da Escola Politécnica da USP. Av. Professor Mello Moraes, 2231 – Cidade Universitária – São Paulo – SP. afmedina@gmail.com

ABSTRACT.

The concept of capacity associated to service level is something that can be used with simulation in several situations that involve logistic and commercial planning of organizations, because it enables a practical vision of real behavior of a system, facilitating the comprehension of existent bottlenecks. This paper presents a methodology of determination of capacity of a port from offered service levels, using a discrete events simulation model developed in ARENA. It is considered the systemic approach as methodology, enabling a more practical and fast determination of operational bottleneck. The simulation model can to reflect strategies that would be implemented to boost the current port's capacity and demonstrates that it would increase capacity from 39.5 to 64.2 Mt/year.

1. INTRODUÇÃO.

Este trabalho apresenta uma metodologia para dimensionamento e avaliação da capacidade de terminais portuários utilizando a simulação como principal ferramenta para verificar os níveis de serviço oferecidos pelo terminal. O conceito de capacidade associada ao nível de serviço é algo que pode ser utilizado em conjunto com a simulação em diversas situações que envolvem planejamento logístico e comercial das organizações, pois possibilita uma visão prática e direta do real comportamento do sistema, facilitando a compreensão dos gargalos existentes e sendo uma forma de enxergar os serviços prestados a partir do ponto de vista de quem utiliza os serviços.

Constrói-se um modelo de simulação que seja capaz de representar as operações realizadas no terminal dividindo as mesmas em sistemas de acordo com a característica das tarefas executadas, utilizando o chamado enfoque sistêmico para análise do problema.

O terminal objeto deste estudo desempenha a função de movimentação e exportação de minério de ferro produzido no Brasil, e deseja-se obter um aumento da quantidade exportada anualmente a partir de melhorias operacionais do mesmo, com a aquisição de novos equipamentos e outros investimentos. A simulação será utilizada para fornecer os dados necessários para a tomada de decisão, em análises que levarão em conta a necessidade de se promover serviços eficientes e que garantam melhor eficiência para os recursos.

Para aplicação da metodologia será considerado um terminal de exportação de minério de ferro que movimenta dois produtos distintos, o Pellet Feed e o Sinter Feed, com densidades diferentes (2,58 t/m³ para o sínter feed e 2,25 t/m³ para o pellet feed), e que são transportados até o local através de ferrovia desde sua origem.

1.1. O Terminal.

O terminal de minério possui um píer com dois berços para atracação de navios sendo que o berço norte (berço interno) tem capacidade para receber navios de até 152.000 dwt e o berço sul, navios de 330.000 dwt, com calados respectivos de 19 e 24 metros.

Os berços são equipados com:

- 1 linha de embarque de capacidade nominal de 13.800 tph e 1 Carregador de Navios (CN) de capacidade nominal de 13.800 tph.

A área de estocagem tem aproximadamente 215.000 m² divididos em 6 pátios com capacidade estática total de 3,5 Mt de minério. Esses pátios são equipados com:

- Empilhadeiras - recuperadoras (ER) de capacidades nominais 8.800/8.400 tph, Esteiras transportadoras com diferentes capacidades nominais (de 4.200 a 8.000 tph).

O minério de ferro chega ao terminal por composições ferroviárias de 130 vagões em média. Na chegada, cada trem é dividido em 2 lotes, que são descarregados por dois viradores de vagões (VV) com capacidade nominal de 8.800 tph (VV01/02) e 8.000 tph (VV03).

Deseja-se aumentar a quantidade de minério de ferro exportada através deste terminal e, para isso, deve-se verificar a capacidade de exportação do mesmo, considerando as alterações de layout e premissas operacionais planejadas, de modo a avaliar a viabilidade do projeto. A expansão do terminal contempla a instalação de novos equipamentos de descarga e movimentação de minério de ferro, bem como a adoção de algumas novas premissas para embarque de minério nos navios, a partir de um perfil de frota já conhecido. A Figura 1 apresenta o layout do terminal com a expansão.

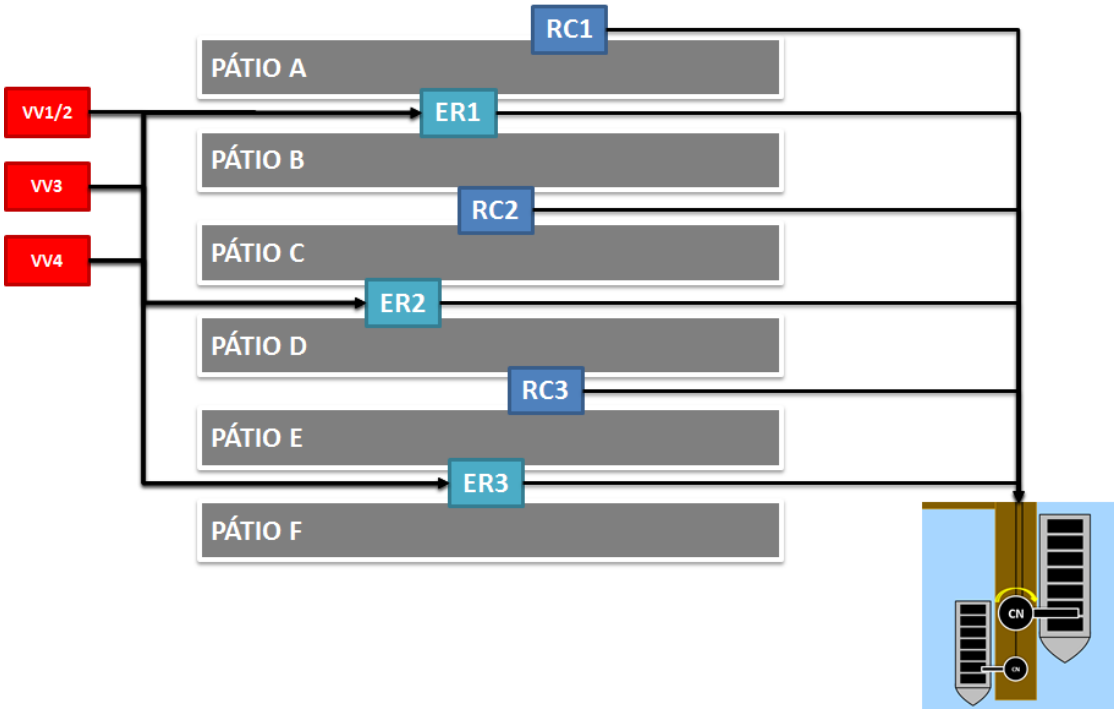


Figura 1 - Layout de expansão do terminal de minério

Existe, portanto, a inclusão de novos pátios de armazenagem e novos equipamentos, que possibilitarão uma maior capacidade de movimentação ao terminal. Destaca-se, ainda, que um dos CN's, o de capacidade maior, pode girar de um berço para o outro.

2. METODOLOGIA.

A abordagem utilizada para a determinação da capacidade do terminal com o novo layout considera três etapas muito importantes. Primeiramente, foi utilizado o chamado enfoque

sistêmico, dividindo-se o terminal em subsistemas de acordo com as características das operações realizadas.

A seguir, um modelo de simulação de eventos discretos é construído para representar a realidade das operações dos subsistemas que compõem o terminal, a partir do levantamento de premissas e criação de um modelo conceitual, que deve listar todas as características a serem representadas. Este modelo deve ser validado de acordo com dados reais existentes para que se obtenha confiabilidade e para que se possibilitem as análises de expansão do terminal de forma direta através da construção de cenários.

Finalmente, com o modelo validado e os cenários construídos, utiliza-se o conceito de capacidade associada ao nível de serviço para determinar a real capacidade do terminal de acordo com as melhorias realizadas (expansão) e ainda determinar qual dos subsistemas será o gargalo do sistema.

2.1. Enfoque Sistêmico.

Antes de avaliar a capacidade de exportação do terminal associada aos níveis de serviço pré-estabelecidos, deve ser realizada a chamada abordagem sistêmica do novo terminal para que, através da simulação de eventos discretos, seja possível determinar a capacidade de movimentação do terminal garantindo que o gargalo do projeto seja identificado bem como as ações a serem tomadas no intuito de garantir que os subsistemas do terminal operem dentro das suas limitações.

De acordo com GUALDA (1995), "é fundamental a utilização de um método adequado para o tratamento do problema do ponto de vista sistêmico". Detalhar os subsistemas componentes do sistema representado por um terminal de transportes é uma forma de solucionar um problema de forma ordenada e o chamado enfoque sistêmico é um método baseado em premissas da metodologia científica para análise de um sistema através da construção de um modelo.

Sendo assim, para que se aplique o enfoque sistêmico em um terminal de transporte, deve-se identificar os subsistemas e componentes do mesmo através das relações existentes entre os objetivos e de modo a facilitar a modelagem e análise dos resultados obtidos posteriormente. Dessa forma, o método do enfoque sistêmico será empregado na resolução do problema proposto e, portanto, o terminal será dividido em três subsistemas: Sistema de Descarga,

Sistema de Armazenagem e Sistema de Embarque. A Figura 2 apresenta o terminal dividido em subsistemas.

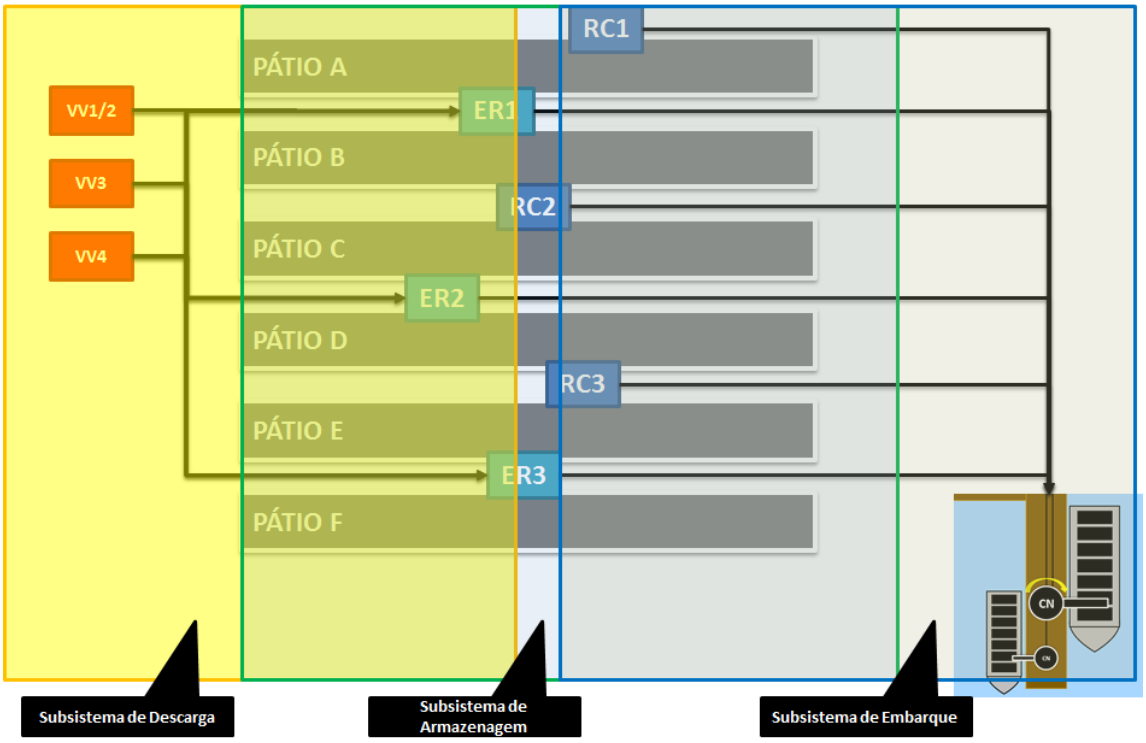


Figura 2 - Terminal dividido em subsistemas

2.2. O Modelo de Simulação.

A simulação do cenário de expansão do terminal de minério será executada através de um modelo construído no software ARENA validado com as operações e níveis de serviço atuais, obtidos através de análise de dados e levantamento de informações junto à empresa mineradora.

O modelo conceitual nada mais é que a enumeração das premissas e regras a serem levadas em consideração na implementação do chamado modelo computacional. Construído este modelo computacional, deve-se buscar, através de dados de entrada que representem os índices de desempenho e características do sistema simulado, a validação do modelo, o que pode gerar uma posterior revisão do conceitual e reimplementação de lógicas computacionais. A Figura 3, adaptada de CHWIF e MEDINA (2007), representa esse processo iterativo, executado até que se obtenha um modelo validado, apto a ser utilizado para representar o sistema com suas melhorias e expansão.

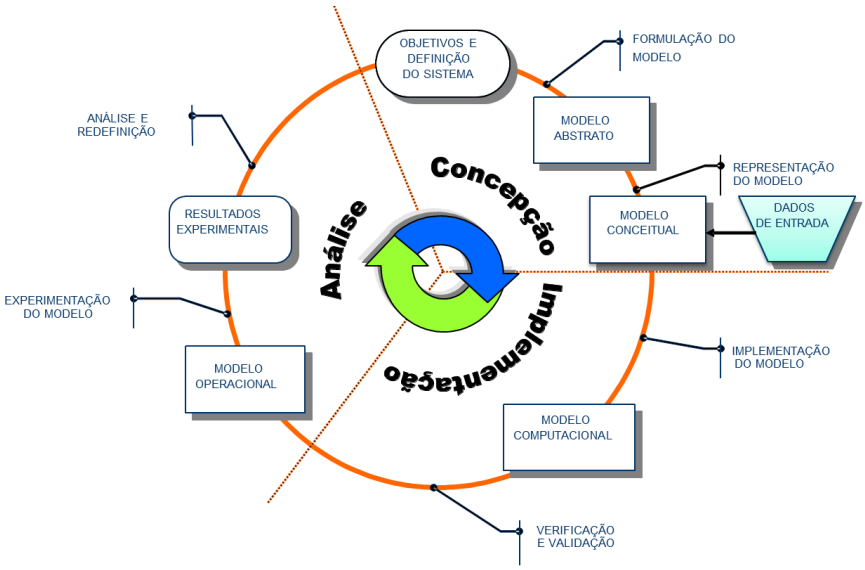


Figura 3 - Representação de passos seguidos em um projeto de simulação (Fonte: CHWIF E MEDINA, 2007)

Com o modelo de simulação representando os cenários de expansão, é possível se determinar a capacidade do terminal, utilizando o conceito de capacidade associada a nível de serviço para as operações do terminal.

2.3. Capacidade associada ao nível de serviço.

De acordo com GUALDA (1995), a modelagem de terminais de transportes deve auxiliar o planejamento e a tomada de decisões acerca das soluções a serem adotadas no planejamento, concepção ou expansão de um terminal. Ainda de acordo com GUALDA (1995), a capacidade de um terminal de transportes é obtida através da determinação do nível máximo da demanda imposta ao terminal, em um período de tempo pré-definido, sem que nenhum dos critérios de nível de serviço estipulado seja violado.

Nível de serviço é um índice de desempenho "oferecido por um componente, subsistema ou sistema, que busca traduzir a qualidade do serviço oferecido pelo terminal e que pode ser medido" (GUALDA, 1995). A capacidade do terminal, portanto, é dada pela menor das capacidades de componentes e subsistemas, ou seja, pelo gargalo. Este nível de serviço oferecido pode ser um diferencial competitivo, tão importante quanto o desconto no preço, propaganda ou condições de pagamento favoráveis.

Com o modelo de simulação será possível obter os diversos índices e níveis de serviço obtidos nas operações dos cenários construídos e, a partir destes resultados, serão destacados os principais níveis de serviço do terminal e verificados aqueles que deixam de ser atendidos antes dos outros, limitando dessa forma a capacidade de movimentação e exportação de minério de ferro.

Tal metodologia será utilizada para todos os subsistemas definidos e permitirá que se defina quais os gargalos da operação e, mais do que isso, qual destes subsistemas limitará a capacidade de exportação do terminal.

3. CONSTRUÇÃO DO MODELO E DA ANÁLISE.

Como relatado anteriormente, construiu-se um modelo de simulação que representasse as operações dos subsistemas e, a partir dos níveis de serviço a serem considerados, serão obtidas as respostas esperadas, sobre a capacidade do terminal.

É importante, portanto, que se detalhem as lógicas incorporadas pelo modelo, bem como os níveis de serviço esperados por quem utiliza os serviços do terminal portuário.

3.1. Modelo Conceitual: Características dos Subsistemas.

Em um modelo conceitual devem ser enumeradas todas as lógicas e premissas a serem incorporadas ao modelo computacional. Levando-se em consideração que o projeto considera o enfoque sistêmico, ou seja, uma análise particular dos subsistemas que compõem o terminal, as características de cada subsistema são enumeradas, a partir do qual construiu-se o modelo de simulação no software Arena®. Para este trabalho, apresenta-se um modelo conceitual detalhado das operações no terminal portuário abordado e apresentado na Seção 1.1, mas este modelo pode ser utilizado com poucas alterações para representar outros terminais, uma vez que o modelo de simulação construído busca ampliar sua capacidade de abrangência, ou seja, de representar diversos terminais através de uma lógica genérica para terminais portuários.

- Subsistema de Descarga: as principais características deste subsistema referem-se aos trens e às premissas da operação de desembarque, que resultam na operação de empilhamento de minério nos pátios. A carga a ser descarregada é gerada no modelo a partir das características dos navios a serem atendidos, e existe uma preocupação com a manutenção do balanço de massa.

- Capacidade dos vagões: 103,5 t, Tamanho do lote (vagões): 134, 1 lote/trem;

- Esses trens devem fazer uma manobra ferroviária de, em média, 28,8 minutos, respeitando uma distribuição triangular com desvio de 0,1.

- Subsistema de Armazenagem: a armazenagem de minério ocorre desde o momento em que os produtos são descarregados e empilhados no pátio de estocagem até o momento em que o navio atracado no berço solicita o carregamento destes produtos, ou seja, o subsistema ocorre desde o empilhamento até a recuperação das pilhas. Serão movimentados no terminal dois produtos diferentes: Pellet Feed (99% do total) e Sinter Feed (1%), e a capacidade dos pátios varia em função do produto por conta das diferentes densidades. A Figura 4 apresenta a capacidade dos seis pátios, dividido em pilhas operacionais, variando de acordo com o produto armazenado em suas balizas.

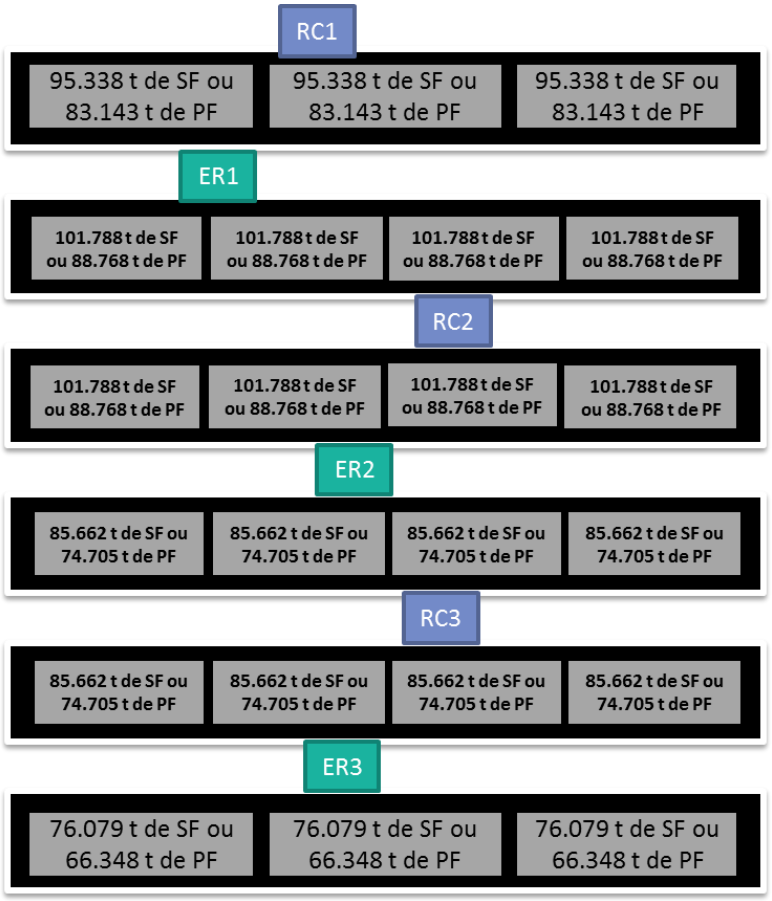


Figura 4 - Layout de pátio com capacidades por produto

No modelo, se uma pilha está ocupada com uma operação de descarga, ela é bloqueada para a operação de embarque e vice-versa. Sobre os equipamentos de pátio:

- As recuperadoras têm taxa nominal de 8.000 tph mas operam com taxa comercial de 4.000 tph, bem como as operações de recuperação das ER's, que podem operar como empilhadeiras e recuperadoras, mas operam prioritariamente como empilhadeira, e só recuperam nas oportunidades, ou seja, quando não houver demanda para empilhamento. Se uma ER estiver recuperando para um navio e surgir necessidade de empilhar, ela interrompe a recuperação instantaneamente;

- Os viradores de vagões operam com taxas comerciais de 3.620 tph;

- A taxa de empilhamento será consequência da taxa de produtividade dos viradores de vagão, uma vez que a capacidade nominal de empilhamento das ER's é maior que a nominal dos VV's;

- Subsistema de Embarque: as principais características deste subsistema consideram os berços de atracação dos navios, os carregadores de navio e a linha de embarque que direciona o minério recuperado dos pátios até o carregamento das embarcações. Suas principais características são:

- São dois CN's que operam nos berços interno e externo do terminal, sendo que um deles tem capacidade nominal de 16.000 tph e o menor deles, capacidade nominal de 12.500 tph;

- O CN menor opera somente no berço interno e o CN maior pode operar nos dois berços (preferencialmente no berço externo), com duas recuperadoras simultaneamente;

- Se houver navio no berço externo, ele carrega com o CN de 16.000 tph a partir de 2 recuperadoras, independentemente de haver, ou não, navio no berço interno (que nesse caso opera com CN menor e duas recuperadoras, limitando a taxa de embarque a 12.500 tph nominal);

- Enquanto houver navio apenas no berço interno, este pode operar com o CN de 16.000 tph e 2 recuperadoras, considerando um setup de 30 minutos após o término do embarque no berço interno e de 30 minutos antes do início do embarque no berço externo, devido ao giro do CN e movimentação nas linhas;

- É importante ressaltar que, durante os tempos de setup, o navio do berço interno continua operando com o CN de 12.500 tph, ou seja, não há interrupção do carregamento;

- A capacidade do sistema de embarque do CN maior é de 16.000 tph nominais, ou 8.000 tph de taxa comercial, podendo operar com duas recuperadoras;

- A capacidade do sistema de embarque do CN menor é de 12.500 tph, ou 6.250 tph de taxa comercial máxima deste equipamento;

- Sendo assim, o CN de 16.000 tph sempre terá prioridade na utilização de duas recuperadoras para carregamento;

- As taxas das empilhadeiras e dos carregadores de navios são consequencia das sequencias de operações de viradores e recuperadoras. Entretanto, no caso de o CN menor estar operando com duas recuperadoras, a taxa comercial de carregamento não deve ultrapassar os 6.250 tph devido à limitação da transportadora desse CN;

- O modelo considera um setup a cada vez que o CN de 16.000 tph gira e opera em outro berço;

- O embarque acontece preferencialmente com as RC´s, enquanto as ER's podem recuperar somente na oportunidade, ou seja, quando não houver a necessidade de utilizá-las no empilhamento, que são sua operação preferencial;

-Nunca um navio será carregado por dois CN's simultaneamente;

A Figura 5 apresenta os berços de atracação e os dois CN's instalados.

Por fim, definiu-se a características dos navios considerados nas simulações e de que forma as demandas (quantidade total de produtos) deverão ser distribuídas nas classes de navios:

- Small Cape (80.000 – 100.000 t): 0,8% da demanda total;

- Cape (140.000 – 185.000 t): 63,9% da demanda total;

- Large Cape (190.000 – 220.000 t): 2,1% da demanda total;

- Very Large Cape (230.000 – 350.000 t): 33,2% da demanda total.

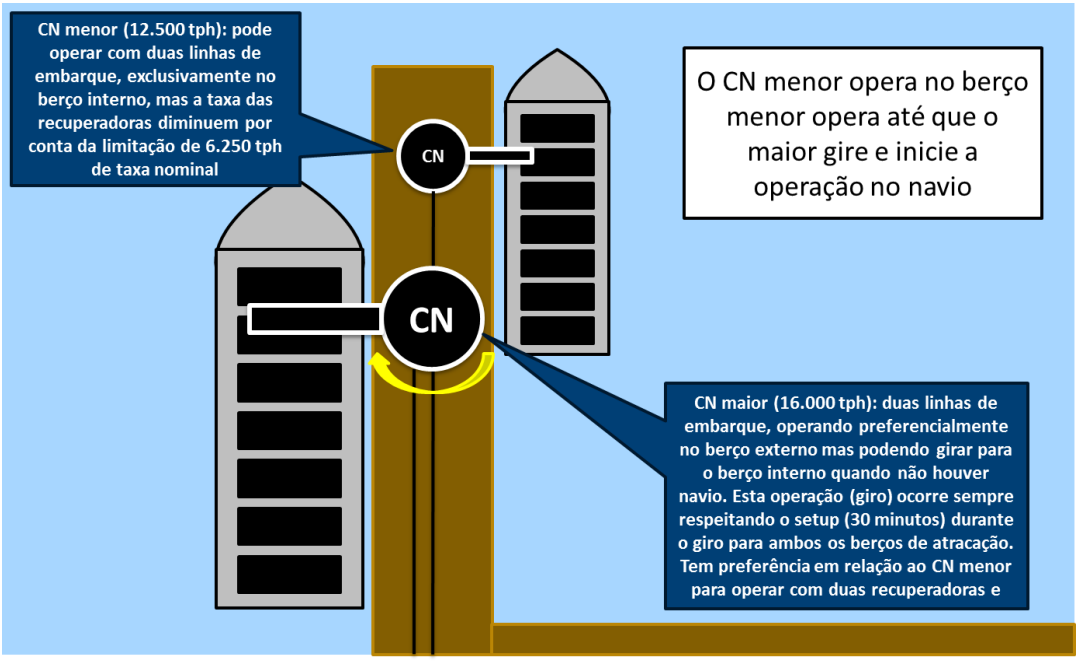


Figura 5 - Layout dos Berços de atracação após expansão e melhorias do terminal

3.2. Níveis de Serviço Considerados.

A empresa proprietária do terminal marítimo estabeleceu alguns níveis de serviço considerados limitantes para que o desempenho do terminal não caia e, dessa forma, não sejam gerados custos desnecessários devido ao pagamento de multas estipuladas em contrato com as companhias de navegação. Tais multas geralmente levam em consideração o tempo que os navios esperam em fila, o chamado demurrage, cobrado quando a espera é maior que a estipulada em contrato.

Considera-se o tempo médio que os navios aguardam em fila como um indicador que representa o nível de serviço do terminal.

Outro indicador que é verificado de perto pelos profissionais responsáveis pela operação do porto é a ocupação dos equipamentos instalados no terminal, relação entre o tempo em que os equipamentos estão em operação e as horas calendário do período cuja análise é realizada, geralmente as 8.760 horas de um ano. Para os berços de atracação, a ocupação é a relação entre o tempo total durante o período considerado em que o berço está indisponível para

atracação de um navio por já estar sendo utilizado por outra embarcação e inclui, ainda, o período em que os navios estão executando manobras de atracação e desatracação dos berços.

A ocupação dos equipamentos e do berço de atracação é muito importante porque, entre outras coisas, ocupações altas aumentam a possibilidade de tempos maiores de espera dos navios, além de comprometer o terminal em caso de necessidade de manutenção preventiva nos componentes de todos os subsistemas. Dessa forma, a ocupação dos equipamentos e dos berços de atracação é outro indicador que representa o nível de serviço do terminal.

Em suma, os dois principais indicadores que representam o nível de serviço do terminal portuário, portanto, são o tempo médio de espera em fila e a ocupação de equipamentos e dos berços de atracação, com valores pré-estipulados pelos responsáveis pela operação do terminal. Os valores a serem considerados são:

- Tempo médio de espera em fila: 240 horas ou 10 dias

- Ocupação de equipamentos e berços: 85%

A fila de 240 horas é considerada o tempo máximo aceitável para que as embarcações aguardem para iniciar a manobra de atracação por representar um tempo utilizado na maioria dos contratos feitos pelo terminal e representar custos aceitáveis de demurrage pago. Além disso, manter uma fila, por ora, pode ser interessante ao terminal, uma vez que isso diminui a ociosidade do sistema.

A ocupação dos recursos de 85% é considerada, pois, de acordo com a empresa que comanda a operação do terminal, possibilita que 5% do tempo seja utilizado com manutenção preventiva dos subsistemas e gerar um commitment de 90%, valor considerado o limite para que não haja riscos de paralização das operações, o que acarretaria em perda de eficiência e, consequentemente, aumento de filas no terminal.

4. VALIDAÇÃO DO MODELO.

Quando o modelo é construído, é preciso verificar se as lógicas e regras existentes foram implementadas de forma correta, ou seja, se o modelo representa corretamente o sistema objeto de estudo. Em outras palavras, a validação é obtida quando os resultados obtidos com o modelo são representativos e se aproximam dos valores reais da operação.

Neste trabalho, considera-se um erro absoluto de 10% entre os dados fornecidos pela empresa proprietária do terminal e os resultados do modelo de simulação. Para validação será considerada a operação realizada no ano de 2013, e os parâmetros obtidos junto a empresa referentes à operação deste ano são:

- Demanda Atendida (Mt/ano): quantidade total de minério embarcada nos navios;

- Tempo total de ocupação do Berço Interno (menor) (horas): tempo em que o Berço Interno está ocupado por uma embarcação (lembrando que este tempo inclui os intervalos de manobra);

- Ocupação total do Berço Interno (%): relação entre o tempo em que o Berço Interno está ocupado e as horas calendário de um ano (8.760 horas);

- Total carregado no Berço Interno (Mt/ano): quantidade total de minério embarcada nos navios no Berço Interno;

- Taxa comercial média de carregamento do Berço Interno (t/h): taxa de produtividade do Berço Interno, ou seja, a quantidade média de minério que é embarcada por hora nos navios;

- Tempo total de ocupação do Berço Externo (maior) (horas): tempo em que o Berço Externo está ocupado por uma embarcação (lembrando que este tempo inclui os intervalos de manobra);

- Ocupação total do Berço Externo (%): relação entre o tempo em que o Berço Externo está ocupado e as horas calendário de um ano (8.760 horas);

- Total carregado no Berço Externo (Mt/ano): quantidade total de minério embarcada nos navios no Berço Externo;

- Taxa comercial média de carregamento do Berço Externo (t/h): taxa de produtividade do Berço Interno, ou seja, a quantidade média de minério que é embarcada por hora nos navios;

- Tempo médio de espera em fila (h): tempo médio que os navios aguardaram para iniciar a operação de carregamento no terminal;

- Ocupação média dos berços (%): ocupação média dos dois berços de atracação.

De posse destes valores fornecidos pelo terminal, foi possível, portanto, iniciar o processo de validação do modelo. Para isso, algumas simulações foram executadas e os parâmetros de entrada, bem como as lógicas implementadas foram revistas, até que os resultados obtidos fossem próximos aos valores reais. Dessa forma, a Tabela 1 apresenta os resultados do cenário de validação, comparando-os com os dados reais fornecidos pelo terminal e com os erros absolutos de cada resultado.

Tabela 1 - Resultados obtidos na validação do modelo de simulação

Parâmetro	**DADOS**	**Modelo**	**ERRO ABS (%)**
Demanda Atendida (Mt/ano)	39,5	39,3	0,4%
Tempo total de ocupação do Berço Interno (menor) (horas)	7.218,19	7.125,70	1,3%
Ocupação total do Berço Interno (%)	82,4%	83,2%	1,0%
Total carregado no Berço Interno (Mt/ano)	10,3	10,2	0,7%
Tempo total operação no Berço Interno (h)	5.341,77	5.399,03	1,1%
Taxa comercial média de carregamento do Berço Interno (t/h)	1.932,3	1.875,7	2,9%
Tempo total de ocupação do Berço Externo (maior) (horas)	7.858,66	7.689,34	2,2%
Ocupação total do Berço Externo (%)	89,7%	87,6%	2,4%
Total carregado no Berço Externo (Mt/ano)	29,2	29,0	0,4%
Tempo total operação no Berço Externo (h)	6.384,95	6.035,69	5,5%
Taxa comercial média de carregamento do Berço Externo (t/h)	4.566,0	4.443,9	2,7%
Tempo médio de espera em fila (h)	156,36	170,83	9,3%
Ocupação média dos berços (%)	86,1%	85,4%	0,8%
Demanda total embarcada dos VV's para os navios (Mt/ano)	12,3	11,1	9,7%

Observa-se na Tabela 1 que o maior erro obtido foi de 9,7%, o que está dentro do limite de 10% estipulado como aceitável e, portanto, o modelo pode ser considerado validado.

5. RESULTADOS.

Configurado o cenário com as melhorias previstas, deve-se aumentar a demanda a ser movimentada pelo terminal gradativamente, até que um dos subsistemas apresente-se como gargalo, ou seja, apresente ocupação maior ou igual a 85% em algum dos seus recursos (equipamentos).

Simulando, portanto, o cenário de expansão, e partindo de um cenário com demanda movimentada de 40 milhões de toneladas por ano (Mtpa), variou-se esta demanda (de 4 em 4 Mtpa) e, a partir daí, foi constatado que dentre todas as ocupações de sistemas e equipamentos, a que crescia mais aceleradamente era a ocupação média dos berços de atracação, no subsistema de embarque. Obteve-se um cenário no qual a ocupação média dos berços de atracação alcançou o valor de 85% e se torna o nível de serviço que limita a capacidade do terminal de minério. A Figura 6 apresenta um gráfico que relaciona a ocupação média dos berços de atracação com a demanda anual movimentada no terminal.

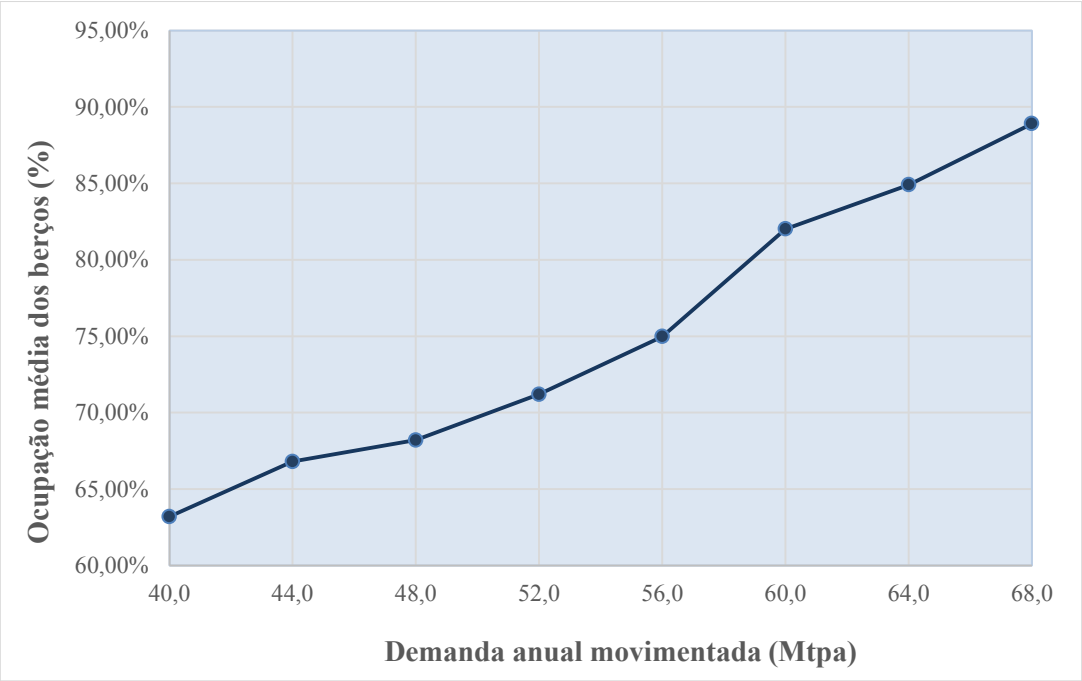


Figura 6 - Gráfico: Ocupação média dos berços (%) x Demanda anual movimentada (Mtpa)

Tabela 2 - Resultados obtidos na simulação do cenário de expansão

Demanda descarregada nos VVs (Mta)	64,1
Demanda embarcada nos navios (Mta)	64,0
Número de navios gerados	339,0
Tempo médio em fila dos navios (h)	75,8
Tempo total de atracação(h)	1.113,6
Tempo total de desatracação(h)	338,4
Taxa média da ocupação dos berços	84,9%
Taxa de ocupação do Berco Externo	85,8%
Taxa de ocupaçao do Berço Interno	84,0%
Taxa de carregamento do Berço Externo (tph)	5.496,6
Taxa de carregamento no Berço Interno (tph)	3.081,2
Número de navios Berço Externo	196,0
Número de navios Berço Interno	143,0
Taxa média de ocupaçao dos CNs	64,2%
Taxa de ocupação do CN maior	79,9%
Taxa de ocupaçao do CN menor	48,5%
Taxa média de carregamento do CN maior	6.939,6
Taxa média de carregamento do CN menor	3.626,9
Tempo de operação no Berço Externo (ICA - TCA) (h)	5.680,3
Tempo de operação no Berço Interno (ICA - TCA) (h)	5.566,5
Tempo de operação simultânea (onerando o Berço Interno) (h)	2.208,5
Demanda (Mta) total atendida pelo CN1	48,6
Demanda (Mta) total atendida pelo CN2	15,4
Demanda (Mta) atendida pelo Berço Externo	41,3
Demanda (Mta) atendida pelo Berço Interno	2,7
Quantidade de carga no CN maior com 1 recuperadora (Mta)	3,0
Quantidade de carga no CN menor com 1 recuperadora (Mta)	4,6
Quantidade de carga no CN maior com 2 recuperadoras (Mta)	45,6
Quantidade de carga no CN menor com 2 recuperadoras (Mta)	10,8
Taxa de ocupação do Virador 1	61,9%
Taxa de ocupação do Virador 2	61,9%
Taxa de ocupação do Virador 3	61,9%
% do tempo sem interferência entre os CN´s	39,7%
% do tempo com interferência entre os CN´s	60,3%
Giros do CN maior para o Berço Interno	128,3
Porcentagem do tempo que o CN1 ficou no Berço Interno	14,9%

A demanda máxima a ser movimentada no terminal para que o nível de serviço ocupação não seja prejudicado, de acordo com o conceito de capacidade associada a níveis de serviço é de 64,0 Mtpa, ou seja, com a expansão, a demanda movimentada subiu de 35 Mtpa para 64 Mtpa. Os resultados obtidos na simulação para movimentação destes 64 Mtpa estão apresentados na Tabela 2

Analisando os resultados da Tabela 2, observa-se que, dentre os níveis de serviço considerados (ocupações e tempo em fila), a ocupação média dos berços obtida foi de 84,9%, o único índice de desempenho que alcançou um valor próximo ao limite de 85%. Todos os outros recursos (equipamentos) ficaram abaixo deste valor e o tempo médio de espera em fila foi de 75,8 horas.

Como o berço de atracação é componente do subsistema de embarque, conclui-se através do enfoque sistêmico que este subsistema é o gargalo do terminal de minério estudado e a capacidade do terminal após a expansão é de 64 Mtpa.

6. CONCLUSÕES.

O trabalho tinha o objetivo de, por meio dos conceitos de enfoque sistêmico e capacidade associada a níveis de serviço, propor uma análise de resultados obtidos através de um modelo de simulação e, a partir daí, determinar a capacidade de movimentação de produtos em um terminal portuário.

O primeiro passo a ser tomado após a construção do modelo de simulação foi a validação do mesmo a partir de dados fornecidos pela empresa que detém a operação portuária no terminal em questão. Obtida a validação deste modelo, o mesmo pode ser considerado apto a fornecer resultados que possibilitem a determinação da capacidade máxima de exportação do terminal, analisando tais resultados em função dos níveis de serviço considerados para a operação.

Sendo assim, obteve-se a capacidade máxima do terminal com as melhorias: 64 milhões de toneladas por ano, e o gargalo identificado foi o subsistema de embarque de minério, uma vez que o nível de serviço que limitou o aumento da demanda foi a ocupação média dos berços de atracação, componente deste subsistema final.

O conceito de capacidade associada ao nível de serviço é, portanto, uma ferramenta muito importante e útil para a execução de projetos que considerem a implantação e ou melhorias e

expansão de terminais de transporte, como é o porto de minério estudado e, aliado ao enfoque sistêmico que considera os diferentes subsistemas que compõem um terminal, possibilitam que, além de se determinar a capacidade máxima de movimentação de produtos, seja possível determinar também qual deve ser o encaminhamento do projeto, uma vez que conhecendo-se o gargalo do sistema, pode-se buscar um acréscimo da capacidade através de alguma ação executada diretamente na restrição identificada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

CHWIF, L., MEDINA, A. C. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos – Teoria e Aplicações. 2ª ed., São Paulo: Editora do Autor, 2007.

GUALDA, N. D. F. Terminais de Transportes: Contribuição ao Planejamento e ao Dimensionamento Operacional. Tese de Livre Docência, EPUSP, 1995.

ALTERNATIVAS PARA AUMENTO DE CAPACIDADE DE UM TERMINAL PORTUÁRIO DE MINÉRIO DE FERRO COM ALTA TAXA DE OCUPAÇÃO

Milanez Zampirolli, Joyce [1]; Botter, Rui Carlos [2]; Medina. Afonso Celso [3]

[1]Universidade de São Paulo. Rua Professor Mello Moraes 2231, Sala A-15
São Paulo, SP, Brasil
[2]Universidade de São Paulo. Rua Professor Mello Moraes 2231, Sala A-15
São Paulo, SP, Brasil
[3]Universidade de São Paulo. Rua Professor Mello Moraes 2231, Sala A-15
São Paulo, SP, Brasil

RESUMO.

O crescimento e expansão das cidades chamadas de cidades-porto junto a necessidade de expansão e melhorias dos terminais portuários por elas abrigados, geraram ao longo dos anos restrições físicas que forçaram os portos a pensar e criar soluções logísticas que culminassem em aumento de capacidade. Esse aumento de capacidade é altamente restringido quando citamos expansões físicas, pois as cidades "engoliram" os portos impedindo tal crescimento.

Hoje, pensar no aumento de capacidade em um terminal portuário com alta taxa de ocupação é rever todo o processo produtivo do sistema em estudo em busca de alternativas que permitam essa expansão.

Pensar e recriar conceitos que envolvam melhoria em todo o sistema é ter um olhar inovador para o processo e oferecer soluções que permitam aumento de capacidade produtiva utilizando os recursos já existentes.

Assim é proposta deste trabalho um modelo de simulação de eventos discretos que possibilite testar cenários para o aumento da capacidade de um determinado Terminal Portuário sem que para isso haja a necessidade de grandes interferências na estrutura física, mas sim no tipo de produto movimentado no sistema e de mudanças nas atuais variáveis ao qual está inserido.

Palavras-chave: Terminal Portuário. Simulação. Aumento de capacidade. Portos com alta taxa de ocupação.

1. INTRODUÇÃO.

Sabe-se que atualmente o crescimento da economia mundial está diretamente relacionado com o crescimento do setor portuário, visto que grande parte das mercadorias que circulam pelo mundo são transportada por navios e movimentada por portos (JULIÁ, 2010).

No Brasil, cerca de 90% das mercadorias são exportadas através do sistema portuário, tornando a modernização e expansão desse setor de grande relevância para a economia brasileira (JULIÁ, 2010). O Brasil exporta cerca de 45% de todo o Minério de Ferro produzido em seu território para a China segundo dados do IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração (2014), não sendo isento dos impactos advindo da desaceleração da economia no âmbito global.

Apesar do cenário de recessão e queda do preço do Minério de Ferro, as grandes empresas globais investem fortemente no aumento da capacidade instalada de seus complexos produtores, reduzindo drasticamente os custos de produção para financiar tais investimentos (ABCEM, 2014).

Por meio da utilização de técnicas de simulação de eventos discretos será estudado ao longo desse trabalho o impacto, em termos de volume embarcado, sobre a alteração do mix de produtos praticados atualmente em um terminal portuário por um único produto. Também é proposta deste estudo analisar modificações nos equipamentos de pátio como repotenciamento de máquinas, troca por equipamentos mais eficientes, realocação de material nos pátios de destino e um estudo de quebras dos equipamentos com a finalidade de ampliar as oportunidades de ganhos de capacidade em um terminal com alta taxa de ocupação.

Esta pesquisa visa utilizar um modelo de simulação de eventos discretos bem detalhado, o qual permita a autora realizar modificações nas variáveis que irão compor este sistema e estudar o impacto das mesmas em termos de capacidade.

O objetivo geral deste estudo é pesquisar e analisar cenários previamente estruturados e verificar se a utilização de um ‘produto único’ é suficiente para aumentar a capacidade de embarque de minério de ferro em um terminal portuário específico situado no estado do

Espírito Santo. Como objetivos específicos se apresentam: pesquisar e estudar o funcionamento de um sistema portuário real; utilizar a metodologia de simulação para testar diferentes cenários a fim de se entender o comportamento dos recursos e avaliar os impactos de modificações no sistema em estudo e por fim visualizar o comportamento dos recursos limitantes e instigar possíveis soluções.

O presente trabalho visa estudar e pesquisar o sistema portuário, não sendo alvo deste os demais sistemas que integram a Cadeia de Suprimentos do Minério de Ferro.

2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO DE MINÉRIO DE FERRO.

A expansão e o crescimento mundial, liderado principalmente por países asiáticos, levaram a exploração e produção do Minério de Ferro a um crescimento acentuado, dado que esse minério é um dos principais componentes do metal mais utilizado no mundo: o aço (IBRAM, 2012).

Sabe-se que o Minério de Ferro é um elemento abundante na crosta terrestre, porém as jazidas deste mineral são concentradas apenas em alguns países (BNDES). O Brasil é considerado um dos três maiores produtores de Minério de Ferro do mundo, competindo com a China e a Austrália (IBRAM, 2012).

Quando o teor de Minério de Ferro é levado em consideração, o Brasil assume lugar de destaque por possuir minérios com concentração superior se comparados aos demais países produtores. Pode-se encontrar aqui a Hermatita (Pará) que possui 60% de ferro em sua composição e o Itabirito (Minas Gerais) que possui 50% de ferro. Tais características tornam o minério brasileiro competitivo por possuir características favoráveis tanto em termos de volume e qualidade (IBRAM, 2014).

Diante desta configuração geológica, a Figura 1 apresenta a relevância das exportações de minério para a economia brasileira.

É possível observar na figura acima que os minérios representam 12,6% do total exportado pelo Brasil, o que torna a indústria e comercialização desse commoditie essencial para economia brasileira.

Inserido no termo 'minérios' encontramos o Minério de Ferro que compõe cerca de 80% dessa estatística conforme dados obtidos pelo IBRAM (2012).

Principais Produtos Exportados

Principales Productos Exportados / Main Products Exported

US$ Milhões / *US$ Millones / US$ Million* **– 2014**

	Valor *Value*	Δ % 2014/13	Part % *% Share*
1 – Complexo soja / *Soja y derivados / Soybeans & prods*	31.408	1,4	14,0
2 – Minérios / *Minerios / Ores*	28.402	-19,0	12,6
3 – Petróleo e combustíveis / *Petroleo y combustibles / Oil and fuel*	25.175	12,4	11,2
4 – Material de transporte / *Transport material*	20.374	-35,5	9,1
5 – Carnes / *Meats*	16.891	3,8	7,5
6 – Químicos / *Chemicals*	15.051	2,8	6,7
7 – Produtos metalúrgicos / *Productos metalúrgicos / Metallurgic products*	14.423	8,8	6,4
8 – Açúcar e etanol / *Azúcar y etanol / Sugar & ethanol*	10.357	-24,5	4,6
9 – Máqs. e equipamentos / *Máqs. y aparatos / Machines & equipments*	8.671	-3,4	3,9
10 – Papel e celulose / *Papel y celulosa / Paper & pulp*	7.218	0,9	3,2
11 – Café / *Coffee*	6.616	26,1	2,9
12 – Calçados e couro / *Calzados y cuero/Footwear & leather*	4.287	10,8	1,9
13 – Equipamentos elétricos / *Aparatos eléctricos / Electrical equipment*	3.965	-7,5	1,8
14 – Metais e Pedras Preciosos / *Metales preciosos y piedras / Precious metals and stones*	2.817	-12,1	1,3
15 – Têxteis / *Textiles*	2.536	7,1	1,1

Figura 1: Rankeamento dos principais produtos exportados. Fonte: MDIC, 2014

Para suprir a demanda mundial, o Brasil conta com uma gama de empresas siderúrgicas que atendem o mercado interno e externo, tanto com a exportação do Minério de Ferro 'in natura' quanto beneficiado em pelotas. A Vale é a líder do mercado transoceânico na exportação desse commoditie brasileiro com projeção de crescimento de suas exportações para 2016. Já a China, é a maior cliente desse mercado (IBRAM 2012).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

O uso da técnica de simulação é bem difundido em trabalhos e artigos acadêmicos quando se trata do estudo da Cadeia de Suprimentos do minério de ferro ou mesmo de parte dela.

Assim, Silva e Menezes (2001) afirmam que a revisão literária permitirá um mapeamento dos trabalhos já publicados sobre o tema e/ou problema em estudo.

Duarte (2003) apresenta em sua tese de mestrado uma proposta de modelo de simulação de uma célula de manufatura em lotes com o objetivo de estudar e solucionar problemas de demanda futura, além de determinar o melhor layout dessa célula, determinar a influencia dos layouts estudados no lead time, contrapor os resultados simulados com os reais e por fim utilizar a ferramenta em apoio a tomada de decisões.

Franzese et al (2005) busca avaliar, através de simulação, o impacto sofrido pelas linhas ou pontos de carregamento/descarregamento em terminais dada uma mudança na infraestrutura. São apresentadas as ferramentas de simulação bem como a descrição do experimento feita em uma rede ferroviária real. O autor conclui seu trabalho afirmando que a ferramenta utilizada pode atender a maior parte das redes ferroviárias de cargas, mesmo com os aspectos individuais de cada empresa.

Cruz et al. (2011) desenvolveram um modelo de simulação utilizando o software Arena® com o objetivo de representar a taxa de desembarque de carvão no porto de Praia Mole, este pertencente a VALE no município de Vitória, Espírito Santo. O modelo mostrou-se uma ferramenta importante capaz de gerar informações relevantes sobre a operação. Foi possível verificar com as rodadas de simulação os impactos operacionais da aquisição de mais um equipamento ou sua parada e a variação do tamanho da fila dada modificações nos dados de distribuição da chegada de navios.

Castro Neto (2006) apresenta, em sua dissertação de mestrado, uma proposta de modelagem e simulação da cadeia produtiva de minério de ferro utilizando como base dados de uma empresa mineradora brasileira (Samarco S/A). O autor buscou desenvolver um modelo de simulação que representasse o sistema produtivo de minério de ferro que utiliza o modal aquático para distribuição de seus produtos avaliando o comportamento de variáveis como a seqüência da programação de produção, nível de estoque de segurança do sistema e mudanças na operação. O Objetivo ao final d estudo era obter a menor somatória de custos operacionais tais como os custos de manutenção de estoques, multas por sobreestadia e perdas de vendas.

Carneiro (2008) desenvolveu sua monografia de pós-graduação no circuito de minério TFPM no terminal portuário de Ponta da Madeira, o qual é de concessão da mineradora VALE. Através de simulação computacional a autora buscou avaliar os gargalos e a ociosidade desse sistema considerando para isso características operacionais e a infra-estrutura atual, além das modificações sugeridas nos cenários de estudo. Para a autora, a simulação desses cenários é

de suma importância pois permite avaliar, otimizar e planejar as melhorias antes mesmo de implementá-las.

Julia (2010) apresenta em sua tese os resultados do desenvolvimento de um modelo de simulação baseados nas características de uma empresa de mineração situada no Espírito Santo, a Samarco S/A.

O autor descreve como problema central em seu trabalho o aumento de capacidade de produção da empresa para 34 milhões de toneladas, sendo necessário para isso investimento em pátios de estocagem e área portuária. A análise foi realizada de forma integrada, visto que as operações no pátio de estocagem são complexas devido a possibilidade de alocação de múltiplos equipamentos, além de variações das taxas de embarque e estoques físicos. Estes podem sofrer influencia de fatores como disponibilidade de equipamentos, variação de produção, conflitos operacionais, atrasos na chegada de navios e na operação. Para isso o autor sugeriu uma combinação de modificações nos fatores de influência no pátio e no porto, utilizando a análise geral das principais variáveis de saída desse modelo para apresentar suas conclusões e resultados.

Meireles (2010) utiliza o método de simulação de Monte Carlos no software Arena® na modelagem da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) com o objetivo claro de responder perguntas do tipo What If? (o que ocorre se?) que métodos analíticos não são capazes de responder, tais como: O que ocorre quando se modifica o tamanho dos trens de minério, seu peso médio, se é inserido um ponto de carregamento intermediário na malha, limita-se o horário de funcionamento de um ponto de carregamento, entre outros.

Ignacio e Lima (2013) desenvolveram um modelo de simulação de um porto genérico utilizando o software Simul8, onde foi possível estudar o comportamento do estoque de minério de ferro e a utilização dos equipamentos neste processo. Os autores citam que as taxas de ocupação são medidas utilizadas por especialistas portuários para estabelecer metas operacionais. Assim, os autores utilizaram de tais taxas para mensurar as estatísticas de análise de capacidade portuária do modelo.

A revisão de trabalhos correlatos descritos acima teve por objetivo analisar a literatura existente buscando como os autores empregaram o uso de técnicas de simulação em sistemas produtivos.

Pode-se perceber que grande parte dos trabalhos descritos tem objetivos gerenciais, ou seja, eles avaliam o impacto de modificação em um sistema real em ambiente computacional, analisando e quantificando os impactos advindos dessas mudanças, seja em termos de custos, ociosidade ou aumento de capacidade.

No âmbito da cadeia de suprimentos de minério de ferro, foi possível verificar diversas aplicabilidades de técnicas de simulação, ora para quantificar ganhos ou perdas, ora para apontar gargalos e ociosidades no sistema.

4. METODOLOGIA.

A metodologia é a parte do trabalho ao qual se deve estudar, compreender e avaliar os vários métodos disponíveis para a realização de uma pesquisa acadêmica. É aqui que o autor, em um nível aplicado, examina, descreve e avalia métodos e técnicas de pesquisa para coletar e processar informações que tendem ao encaminhamento da solução.

A literatura apresenta diversas maneiras de conceituar as técnicas de simulação existentes. Mesmo assim, todos os autores convergem para o fato de que essa técnica é muito útil quando se fala em solucionar problemas complexos dentro das organizações.

Para Chwif e Medina a simulação é mais do que uma ferramenta de análise de problemas, ela proporciona maior compreensão sobre os sistemas servindo para a comunicação das partes envolvidas na operação como gerentes e analistas.

Os autores alegam que o campo de aplicação da simulação é muito amplo. Sua aplicação pode ser dividida em dois grandes setores: manufatura e serviços. Em serviços pode-se observar a aplicação de técnicas de simulação em aeroportos e portos, bancos, cadeias logísticas, call centers ou centrais de atendimentos, escritórios ou BPR, hospitais, parque de diversões, restaurantes e cadeias de fast-food e supermercados.

Para a melhor compreensão da utilidade das técnicas de simulação, é necessário primeiro a compreensão dos tipos de modelos do mundo real.

Chwif e Medina (2010) dividem os modelos em 3 tipos: Modelos simbólicos, Matemáticos ou de Simulação.

Os modelos simbólicos (icônicos ou diagramáticos) representam um sistema estático, como uma foto, um ícone ou mesmo um fluxograma. São muito utilizados em documentação de projetos ou ferramenta de comunicação.

Os modelos matemáticos (ou analíticos) podem ser representados por um conjunto de fórmulas matemáticas onde pode-se citar os modelos de Pesquisa Operacional ou Teoria de Filas. Esses modelos não possuem alto grau de complexidade, necessitando o desenvolvimento de hipóteses simplificadoras.

Já os modelos de simulação possuem maior complexidade dada sua característica dinâmica e sua natureza aleatória, podendo representar com mais fidelidade o comportamento dos sistemas reais em um ambiente digital.

Este trabalho contemplará a metodologia de simulação abordada por Chwif e Medina (2010). Para os autores, o desenvolvimento de um modelo de simulação deve conter três grandes etapas, conforme apresentado na Figura 2.

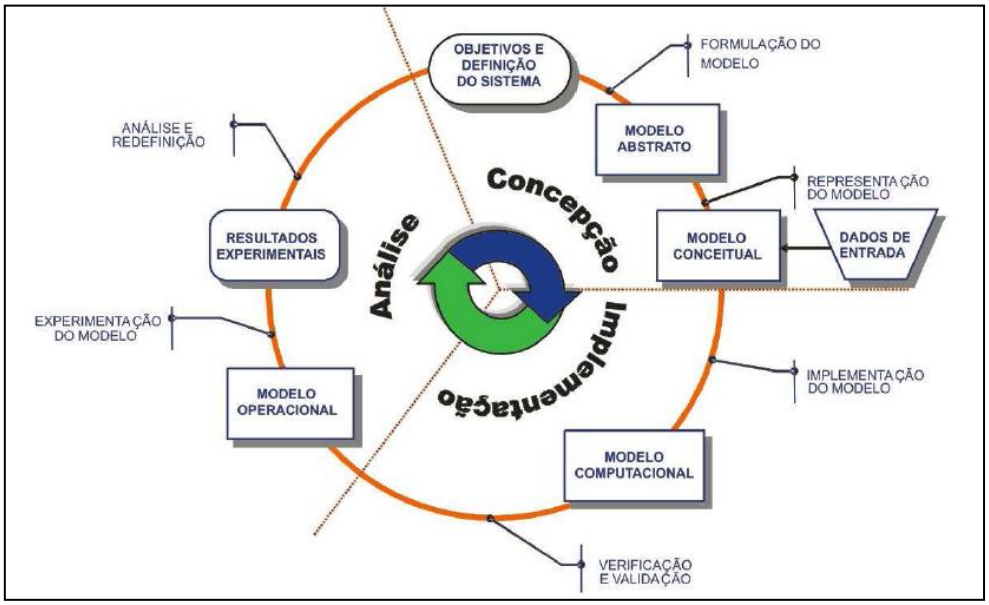


Figura 2 – Metodologia de Simulação. Fonte: Chwif e Mediana, 2010 (Adaptado)

Na figura acima pode-se perceber a divisão em etapas da metodologia de simulação adotada pelos autores.

Segundo Chwif e Medina (2010), na etapa de concepção ou formulação do modelo o analista deve, junto com especialistas, entender claramente o modelo a ser estudado e decidir com

clareza o escopo do modelo, as hipóteses e o nível de detalhamento. Feita a concepção, o analista deve representar o modelo desenvolvido em sua mente (modelo abstrato) através de alguma ferramenta de simulação em um modelo que outras pessoas envolvidas no projeto possam entender (modelo conceitual). Também é nesta etapa que os dados de entrada são coletados, lembrando que é de grande importância ter dados adequados alimentando o modelo.

Na próxima etapa, implementação do modelo, Chwif e Medina (2010) citam que o modelo conceitual deve ser convertido em modelo computacional através da utilização de alguma linguagem de programação. Para este estudo será utilizado o Arena® como modelo computacional a efetivar essa etapa.

Chwif e Medina (2010, p. 13) ainda afirmam que se faz necessária a comparação entre os modelos conceitual e computacional com o intuito de verificar o atendimento ao que foi estabelecido na fase de concepção. De acordo com Chwif e Medina (2010) "[...] Para a validação computacional, alguns resultados devem ser gerados, verificando se o modelo é uma representação precisa da realidade (dentro dos objetivos já estipulados)".

Já na terceira etapa análise dos resultados do modelo, Chwif e Medina (2010) citam que o modelo computacional está pronto para a realização dos experimentos dando origem ao modelo experimental ou modelo operacional. Nessa etapa são realizadas várias "rodadas" do modelo e os resultados são analisados e documentados. A partir dos resultados podem ser feitas conclusões e recomendações. Caso o resultado obtido não seja satisfatório, o modelo é modificado e se é reiniciado o ciclo.

5. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA.

Em 1962, foi dado inicio a construção do Terminal Portuário de Minério de Ferro de Tubarão pela chamada Companhia Vale do Rio Doce (atual VALE).

A partir de 1973, o Terminal Portuário de Minério de Ferro de Tubarão recebeu altos investimentos para atender a demanda mundial crescente por minério de ferro, revolucionando o mercado e incentivando empresas de transporte a investirem em navios com maior capacidade de carga.

Hoje, a Vale é a maior exportadora de Minério de Ferro no mercado transoceânico mundial, sendo o complexo de Tubarão capaz de receber navios de até 400.000 toneladas.

O Complexo Portuário de Tubarão abriga equipamentos de grande porte que auxiliam no escoamento e movimentação de cargas a granel como, por exemplo, o minério de ferro, pelotas, calcário, manganês, carvão, coque, soja, farelo de milho, milho, dentre outros.

Este projeto, contemplará exclusivamente o Terminal Portuário de Tubarão, TU, que abriga os píers P1S (píer 1 Sul), P1N (píer 1 Norte) e P2 (píer 2), conforme Figura 3, responsáveis pela exportação do Minério de Ferro, Pelotas e Manganês.



Figura 3: Píers P1S, P1N e P2. Fonte: Vale, 2015

O complexo de Tubarão em estudo é composto por oito usinas de pelotização, pátios de estocagem dos minérios provenientes das minas, pátios para os insumos que serão utilizados no processo de pelotização, área de descarga do minério (viradores) além dos píers de atracação de navios e equipamentos associados a esses processos (empilhadeiras, recuperadoras, empilhadeiras/recuperadoras, descarregadores de navios, carregadores de navios, entre outros).

Assim, temos o porto como a ponta final da cadeia de suprimentos do minério de ferro, responsável pelo escoamento do produto que sai das minas e é exportada no mercado

transoceânico. A Figura 6 a seguir contempla os principais elementos dessa cadeia de suprimentos.

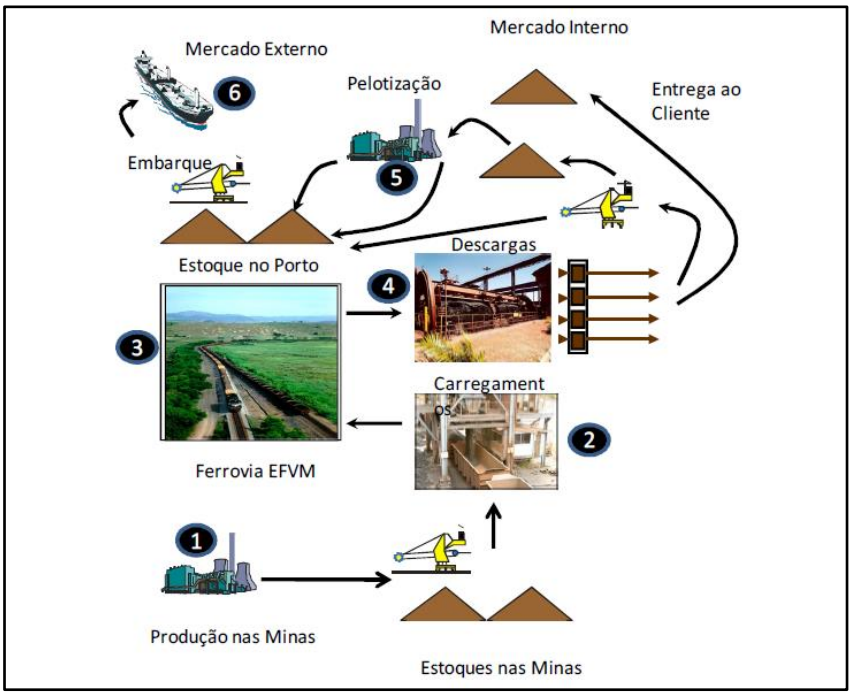


Figura 6: Cadeia de Suprimentos do Minério de Ferro no Sistema Sudeste. Fonte: Meireles, 2010

A instalação (1) representa a mineração, passando pelas etapas de extração do minério de ferro, movimentação, beneficiamento, estocagem e expedição para a ferrovia. A partir de onze pontos de carregamento de minério de ferro, a mina é conectada com a EFVM – Estrada de Ferro Vitória Minas para o transporte do Minério de Ferro.

Já a instalação (2) representa o terminal de carregamento do minério de ferro, sendo aqui o local onde os vagões são carregados através de silos ou pás mecânicas dependendo do porte do terminal.

A instalação de número (3) apresenta a EFVM, a qual é responsável pelo transporte do minério de ferro dos pontos de carregamento (2) até os mercados interno e externo. Ela também é responsável pelo transporte de vagões vazios para novo carregamento, ou no transporte de carvão para as siderúrgicas USIMINAS e AÇOMINAS, sendo assim nomeada carga de retorno. Os vagões utilizados neste transporte de carvão retornam para o carregamento de minério de ferro assim que vazios.

6. MODELAGEM DO PROBLEMA.

Nesta etapa, será desenvolvido o modelo conceitual a fim de representar o sistema em estudo. Primeiro deve-se construir o modelo abstrato, que está fortemente relacionado com os objetivos da simulação. Conforme Chwif e Medina (2010), abstrair significa identificar o que realmente é importante no sistema e trazer para o modelo.

A Figura 7 a seguir foi proposta pela autora com o objetivo de ajudar o leitor a visualizar, no âmbito real de um porto, o modelo conceitual proposto.

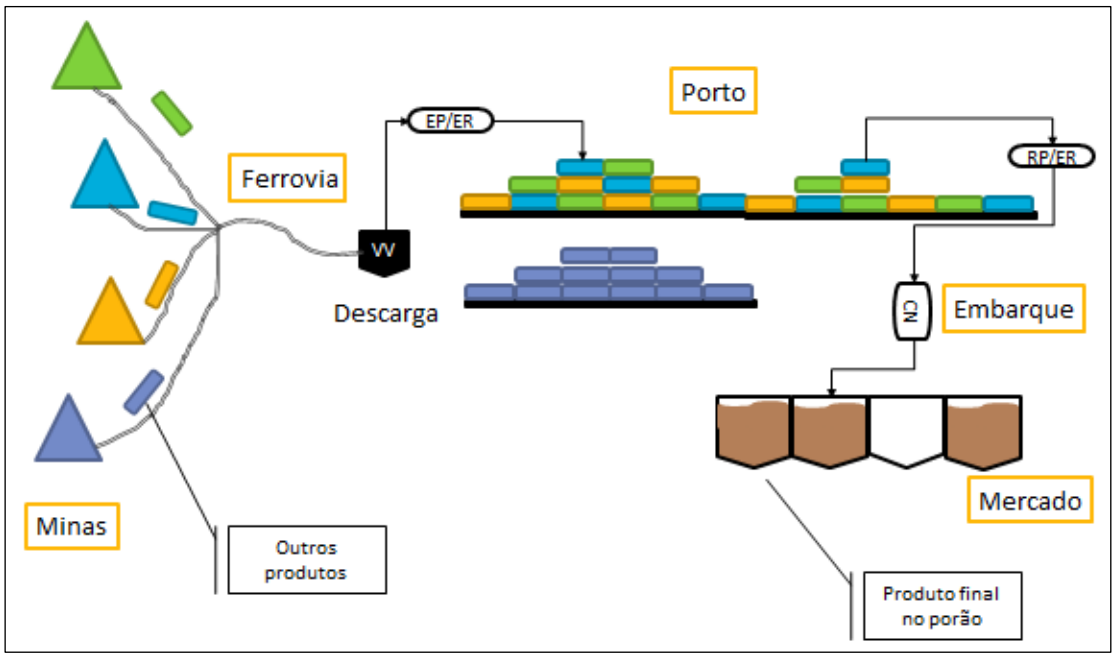


Figura 7 – Esquematização do modelo conceitual. Fonte: A autora

Dispostos dos modelos esquemáticos que compõem o Modelo Conceitual deste estudo, será apresentado a seguir o detalhamento de cada uma das etapas do sistema.

MODELO CONCEITUAL MINA

Para a modelagem dos produtos das minas será considerada a geração diária de cada produto de acordo com sua produção mensal. A massa total que deve ser gerada do produto será um dado imputado no modelo.

O modelo conceitual das minas utiliza as seguintes variáveis de entrada: Demanda anual de produção da mina que pode ser fracionada mês a mês; Curva de variabilidade dos produtos na

mina; Índice de sazonalidade dos produtos durante o ano; Tipos de produtos despachados pela mina; Capacidade dos pátios da mina; Tempo de retenção dos produtos na mina.

MODELO CONCEITUAL FERROVIA

Já a modelagem da ferrovia é constituída por uma quantidade de lotes predefinidos pelo usuário que circulam de acordo tempos de ciclo distribuídos aleatoriamente e informados pelo usuário na interface do modelo de simulação.

Os lotes ferroviários serão agrupados segundo número fornecido na interface e viajarão até o porto, sendo posicionados nos pátios de espera.

Os produtos terão o processo de geração de lotes iniciado pela data de chegada da embarcação, de modo que, todo o lote necessário para se carregar o navio estejam disponíveis nos pátios portuários até dois dias antes da chegada da embarcação. Note-se que esta é uma regra de geração de lotes, mas que o atendimento da embarcação em até dois dias da sua chegada só será possível se o sistema não apresentar filas substanciais.

O modelo conceitual utiliza as seguintes variáveis de entrada para a ferrovia: Número de lotes disponíveis no sistema para cada ponto de embarque; Tempo de ciclo da ferrovia; Taxa de carregamento dos trens; Número de pontos de carregamento de trens; Capacidade dos lotes; Tempo de carregamento dos lotes; Número de pátios de espera; Número de agrupamento de lotes por trem; Tempo de antecedência de chegada dos produtos no pátio do porto.

MODELO CONCEITUAL DESCARGA

Na descarga, os produtos serão destinados aos pátios indicados pelo usuário sempre procurando completar uma pilha antes de partir para uma nova.

Quando for iniciar uma pilha vazia, a regra procura distribuir o giro no pátio de modo sempre a preferir áreas no pátio menos utilizadas.

O modelo deverá considerar a capacidade estática de pátio disponível no porto e identificada para cada tipo de produto. O usuário do modelo deverá configurar cada tipo de pátio em função de sua capacidade estática (posição das balizas), bem como do tipo de produto recebido associando a um conjunto de equipamentos de empilhamento disponível.

MODELO CONCEITUAL PORTO

Para o porto, o usuário deve fornecer uma demanda mensal e o modelo construirá a chegada mensal de navios, respeitando os limites fornecidos (notar que isso não garante exatidão nem na carga mensal, nem na anual).

Cada navio gerado terá como atributos: Hora de chegada na barra; Produto; Carga(s) por produto(s); Número de porões por produto.

Todas as rotas possíveis entre os viradores e pátios, assim como, entre pátios e carregadores de navios serão modeladas como recursos com capacidade máxima fornecida na interface.

A cada rota também deverão ser fornecidos: a eficiência, disponibilidade intrínseca e as distribuições de paradas por quebras.

Ao chegar, o navio entra na fila de acesso ao berço de atracação. Contudo, à sua vez, o navio só é autorizado a atracar caso exista no pátio a sua carga pronta (em quantidade e no produto).

Se existe berço livre e a carga está disponível (em quantidade), o navio verifica, na ordem de preferência de berços, a disponibilidade de berço de atracação.

Se nenhum berço está disponível, ele aguarda na fila de navios. Caso contrário, ele é atribuído ao berço livre (mas ainda não é autorizado a manobrar em direção ao berço).

Satisfeitas as condições de acesso, ele navega até o berço atribuído, respeitando o respectivo tempo de navegação e atracação.

Vale a pena ressaltar aqui que a carga disponível para atracar é um critério de massa disponível apenas e não considera a disponibilidade de equipamentos, ou seja, essa condição não verifica se existem recuperadoras ou ER's (empilhadeiras/recuperadoras) disponíveis para operação.

Apenas quando o navio inicia a navegação rumo ao berço é que o seu tempo de espera em fila para de ser computado (adicionalmente, é computado também o tempo de espera em fila por acesso).

Quando um berço de atracação é liberado, ele verifica nas filas de navios se existe algum navio em espera para aquele berço. Em caso afirmativo o navio é transferido para o respectivo berço, passando por todo o processo de acesso.

Quando o navio atraca no berço ele aguarda um tempo de pré-operação daquele berço fornecido na interface.

Em seguida, o CN do berço procura distribuir o giro do pátio, de modo sempre a preferir as pilhas menos utilizadas até o momento.

PRINCIPAIS SAÍDAS DO MODELO

As saídas do modelo servirão para a autora entender o comportamento do sistema e gargalos e realizar suas conclusões finais do estudo. Além disso, em caráter imediato, serão indispensáveis na validação do modelo em estudo.

As principais saídas para o modelo proposto são: Demanda anual atendida; Demanda anual descarregada nos viradores; Número de navios atendidos; Capacidade do sistema e níveis de serviço (taxas de ocupação de berço, taxa bruta do CN, taxa de ocupação dos equipamentos (porto e mina), commitment); Fila média dos navios; Número médio de navios em fila; Número de trens em fila; Tempo médio em fila dos trens; Tempos parados durante a hora calendário disponível; Taxas efetiva resultante das operações; Carga total resultante dos equipamentos; Giro dos pátios;

7. CONCLUSÃO E PRÓXIMOS PASSOS.

Pode-se notar ao longo deste trabalho que a proposta central é desenvolver um modelo de simulação mais detalhado a fim de se analisar o comportamento do sistema real dado modificações em termos de tipo de produto, taxas dos equipamentos, alocação de material nos pátios e rotas de embarque.

Também foi notório na revisão bibliográfica que existem muitos trabalhos que tratam o problema de forma isolada, ora sob a ótica dos pátios, ora da ferrovia, entre outros. Não foi encontrado trabalho correlatando uma análise integrada detalhada como é proposta deste estudo.

Na continuação deste trabalho, será apresentada uma planilha eletrônica em Microsoft Excel® onde serão inseridos todos os dados de entrada que estão sendo obtidos através de entrevistas com gestores e responsáveis pelos processos envolvidos no terminal em estudo ou disponibilizados pelo orientador desta dissertação.

Ao final das rodadas a autora apresentará os resultados e comparações quantitativas e qualitativas das alternativas testadas para aumento da capacidade deste sistema portuário com alta taxa de ocupação sem que este discorra de altos volumes de investimentos.

8. BIBLIOGRAFIA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS (ABM). Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico. Disponível em:< http://www.abmbrasil.com.br/>. Acesso em: 05 fev. 2015.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria e aplicações. Terceira edição. São Paulo, 2010.

CARNEIRO, F. M. Simulação do Circuito de Minério do Terminal Ferroviário de Ponta da Madeira (TFPM). Monografia (Pós-Graduação). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

CRUZ, M.M.C; FARIAS, F.N; Souza, R.G; Vaz, R. G; SILVA, R. Estudo por simulação de granéis sólidos do porto de Tubarão. Enegep, 2001.

CASTRO N., L. R. Modelagem e Simulação da Cadeia Produtiva do minério de Ferro. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DUARTE, R. N. Simulação Computacional: análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças. 2003. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2003.

FRAZESE, L.A.G; FIORONI, M. M.; PEREIRA, N. Y. H.; MACHADO, M.N. Rail road Infrainstructure Simulator. Winter Simulation Conference, Orlando. p 2581-2584. Dezembro, 2005.

IGNÁCIO, A. V.; LIMA, B. M. Modelo Genérico de Simulação de Operações Portuárias: Estudo de Caso para Minério de Ferro. Enegep, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). Informações e Análises da economia mineral brasileira. Disponível em:< http://www.ibram.org.br>. Acesso em: 03 fev. 2014.

JULIÁ, A. F.. Desenvolvimento de um modelo de simulação para dimensionamento de um sistema integrado pátio-porto na cadeia do minério de ferro. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MEIRELES, R. P. L. Modelagem e Simulação da Malha Ferroviária em Circuito Fechado da Estrada de Ferro Vitória a Minas. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (MIDC). **Balança Comercial Brasileira – Dados Consolidados.** Disponível em:< http://www.mdic.gov.br>. Acesso em: 08 jan. 2015.

SILVA. E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia de pesquisa e elaboração de dissertação.** 3. Ed. Florianópolis: LED/UFSC, 2001.

10. MEDIOAMBIENTE

A GESTÃO DA ÁGUA DE LASTRO NO TERMINAL PORTUÁRIO DA ALUMAR EM SÃO LUÍS-MA

Chahini, C. R. R.[1]; Cutrim, S.S.[2]; Pereira, N.[3]; Botter, RC. [4]

[1]EMAP. Av. dos Portugueses, S/N, Bacanga, São Luís-MA, Brasil.
carloschahini@hotmail.com
[2]Universidade Federal do Maranhão. Av. dos Portugueses, S/N, Bacanga, São Luís-MA, Brasil. sergio.cutrim@ufma.br
[3]Universidade de São Paulo Av. Professor Mello Moraes, 2231, São Paulo – SP, Brasil.
newtonnaval@gmail.com
[4]Universidade de São Paulo. Av. Professor Mello Moraes, 2231, São Paulo – SP, Brasil.
rcbotter@usp.br

RESUMO.

Este estudo teve como objetivo investigar como é efetuado o controle e a gestão da água de lastro dos navios operados no Terminal de Uso Privado da Alumar, pertencente ao Complexo Portuário de São Luís do Maranhão. Além da pesquisa bibliográfica em artigos científicos, teses, dissertações, bem como nas legislações, normas e regulamentos a respeito do referido assunto, utilizaram-se entrevistas semiestruturadas com o Coordenador do Grupo de Vistoria, Inspeções e Perícias Técnicas da Capitania dos Portos do Maranhão, o Chefe da Agência Nacional de Vigilância Sanitária da ANVISA e o Superintendente do Terminal Portuário da Alumar. Os dados demonstraram que os controles efetuados atualmente atendem aos requisitos básicos das legislações. Isso não elimina os riscos de danos ambientais, caso algum navio deslastre sua água de lastro contaminada com algum sedimento ou microorganismo que venham a contaminar a área do referido terminal e, por conseguinte, a bacia hidrográfica do complexo portuário de São Luís - MA.

Palavras-chave: Água de Lastro, Bioinvasão, Meio Ambiente, Normam-20.

1. INTRODUÇÃO.

Da forma como são atualmente projetados e construídos, os navios necessitam equilibrar seus calados a fim de garantir a segurança da navegabilidade, basicamente sua estabilização e manobralidade, para isso utilizam a chamada Água de Lastro para preencher e deslastrar seus tanques nas operações de descarga e carregamento.

Com esta solução técnica de engenharia, os navios precisam preencher seus tanques de lastros quando efetuam a operação de descarga de produtos, captando água juntamente com todos os micro-organismos e sedimentos presentes no ecossistema marinho do porto de descarga. Após navegar para outro porto em busca de um novo carregamento, durante a operação de carregamento, aquela água presente em seus tanques de lastros precisa ser descartada à medida que a operação de carga acontece e com isso os sedimentos e micro-organismos nela existentes são despejados em um novo ecossistema marinho, caracterizando assim o que é conhecido como bioinvasão.

Diante dos riscos representados pela dispersão de espécies exóticas através dos navios utilizados no comércio internacional, a Organização Marítima Internacional – IMO, principal entidade internacional na regulação da navegação mundial, desde 1973 tem demonstrado preocupações com o problema causado pela água de lastro e, estabeleceu em 1997, através da Resolução de Assembleia da Organização Marítima Internacional (IMO) A.868(20), que os navios devem efetuar a troca da água de lastro no oceano a pelo menos 200 milhas da costa e 200 metros de profundidade (PEREIRA, 2012).

O interesse por este assunto ocorreu durante o Curso de Especialização em Gestão Portuária, promovido pela Universidade Federal do Maranhão – UFMA, presenciou palestras sobre o controle da água de lastro. Na ocasião, surgiu então o interesse em investigar como tem sido efetuado o controle e a gestão da água de lastro nos navios que operam no Complexo Portuário de São Luís – MA, especificamente no Terminal de Uso Privado do Consórcio Alumar, que opera em torno de 300 navios anuais entre carregamento de Alumina Calcinada à Granel (um de seus produtos acabados) e nas descargas de granéis líquidos e sólidos, referentes a matérias-primas básicas utilizadas em seu processo industrial.

A importância da água de lastro e sua ameaça é um tema atual. E, caso as ameaças não estejam sendo seguidos, especialmente os métodos adequados e seguros de controle, pode

acarretar riscos eminentes ao meio ambiente, à economia e à saúde pública, devido às possibilidades de contaminação por águas advindas de outros ambientes.

E por ser um tema ainda pouco explorado em pesquisas de cunho científico, principalmente em São Luís do Maranhão, questiona-se o seguinte: como tem sido efetuado o controle e a gestão da água de lastro dos navios operados no Terminal de Uso Privado da Alumar pertencente ao Complexo Portuário de São Luís do Maranhão?

Fundamentado na discussão teórica apresentada, testou-se a seguinte hipótese: o controle e a gestão da água de lastro dos navios operados no Terminal de Uso Privado da Alumar, pertencentes ao Complexo Portuário de São Luís do Maranhão, não estão sendo realizados adequadamente devido à ineficiência no controle, fiscalização e inspeção dos procedimentos estabelecidos pelas convenções internacionais e legislações brasileiras para a prevenção da poluição disseminada pela água de lastro.

2. OBJETIVOS.

O objetivo principal deste estudo foi investigar como estava sendo efetuado o controle e a gestão da água de lastro dos navios operados no Terminal de Uso Privado da Alumar pertencente ao Complexo Portuário de São Luís do Maranhão. E os objetivos secundários compreenderam: a) mapear a Gestão e os Controles hoje existentes da água de lastro dos navios operados; b) Identificar os Agentes Intervenientes no processo de gestão e controle de água de lastro em São Luís – MA, bem como suas responsabilidades; c) Analisar os problemas identificados na gestão e controle da água de lastro dos navios; d) Descrever possíveis sugestões dos participantes para melhorias no sistema de gestão e controle dos fatores críticos da água de lastro destes navios.

3. PROCESSO DA ÁGUA DE LASTRO.

O crescente desenvolvimento do comércio internacional de mercadorias, com a predominância do transporte marítimo, a frota mundial de embarcações já ultrapassa a marca de 100.000 mil unidades em operação, estes navios deslocam-se entre os milhares de portos em todo o globo terrestre, com isso estima-se que o volume de água movimentada entre os portos de descarga, quando efetuam o enchimento dos taques de lastros e os de carga, onde os mesmos são esvaziados (deslastre), pode chegar marca dos 10 bilhões de m^3 anuais.

O lastro tem por objetivo aumentar ou diminuir o calado do navio durante a navegação para garantir sua segurança dos navios durante as operações portuárias. O lastro é importante para facilitar a manobrabilidade e estabilidade dos navios durante a navegação quando estão descarregados. Além disso, o lastro é necessário para garantir o balanço do esforço estrutural no casco quando a carga é removida, controlar o trim e submergir o casco suficientemente para que o leme e o hélice operem eficientemente (PEREIRA; BRINATI; BOTTER, 2011, p.01).

O Brasil ainda não possui dados precisos sobre qual o volume de água de lastro em seus portos, mas segundo dados da Diretoria de Portos e Costas (DPC), a média anual de visitas aos portos brasileiros é de 40.000 navios. Pelo volume de carga exportada, é possível estimar em cerca de 40 milhões de toneladas de água deslastrada por ano. (SILVA ET AL, 2004).

Se por um lado, esta água é extremamente útil para tornar mais segura a navegação marítima, por outro lado, estima-se que de 5 a 10 mil espécies diferentes de micro-organismos, além de sedimentos, animais e plantas marinhas, são transportadas nos tanques de água de lastro de um ponto a outro do planeta representando sérias ameaças. Uma vez despejados em ambientes diferentes de seus habitats naturais, podem transformar-se em bioinvasores nocivos a estes novos ambientes, gerando impactos nocivos ao meio ambiente, riscos à saúde pública, e altas perdas econômicas à região invadida.

Inúmeros casos de bioinvasão foram registrados em várias partes do mundo, casos de espécies invasoras como o mexilhão zebra nos Estados Unidos, em 1986; O siri bidu de origem indo pacífica. Por exemplo, o Isognomon bicolor é uma espécie marinha de molusco de origem indo pacífica que se parece com uma ostra e se prende às rochas através de filamentos, como os mexilhões etc, correspondem às "espécies introduzidas em locais diferentes de sua origem e são conhecidas como espécies invasoras, alienígenas, exóticas, estrangeiras, não-nativas e não-indígenas" (MEDEIROS *apud* PEREIRA; BRINATI; BOTTER, 2011, p.04).

No Brasil, o caso mais conhecido com espécies marinhas invasoras, refere-se ao Mexilhão Dourado (Limnoperma fortunei), um pequeno molusco bivalve (que possui duas conchas) originário da China, que chegou à América do Sul nas águas de lastro dos navios mercantes. Invadiu a bacia Paraná-Paraguai pondo em risco os usos múltiplos dos recursos hídricos. Este pequeno molusco se fixa em qualquer substrato duro, tem hábito gregário e se reproduz rapidamente.

A ausência de predadores e parasitas que controlem sua população faz com que se alastre pelas bacias hidrográficas brasileiras. Em 1991 foi encontrado na foz do rio da Prata, e hoje está presente no Pantanal e avança pelas usinas hidrelétricas brasileiras na bacia do rio Paraná. Nas usinas hidrelétricas, o acúmulo de mexilhões pode afundar equipamentos flutuantes, prejudicar a operação de equipamentos submersos e obstruir tubulações. Os sistemas de refrigeração das turbinas ficam sujeitos a entupimentos. Quando isso ocorre a geração é interrompida, além disso, provoca invasão de tubulações de abastecimento de água, de drenagem pluvial e de captação para a agricultura irrigada; obstrução de sistemas de resfriamento de indústrias e usinas hidrelétricas; prejuízo do funcionamento de motores dos barcos; perda de tanques-rede.

Diante dos casos de bioinvasão já registrados, com o aumento significativo do comércio internacional através do modal marítimo, os riscos representados pela dispersão de espécies exóticas através dos navios utilizados no comércio internacional a Organização Marítima Internacional – IMO, principal entidade internacional na regulação da navegação mundial, desde 1973 demonstrou preocupações com o problema causado pela água de lastro e, como uma forma de mitigar estes riscos, estabeleceu em 1997 através da Resolução de Assembleia da Organização Marítima Internacional (IMO) A.868(20) procedimentos operacionais que os comandantes dos navios devem tomar durante as viagens entre os portos de descarga e os de carregamentos, enquanto não são descobertos métodos mais eficazes para resolver o problema da bioinvasão através da água de lastro.

A Convenção Internacional para o Controle e Gerenciamento da Água de Lastro e Sedimentos dos Navios de 2004 – CALS, 2004, foi assinada e ratificada pelo Brasil, respectivamente, em 2005 e 2010, pela NORMA DA AUTORIDADE MARÍTIMA PARA GERENCIAMENTO DA ÁGUA DE LASTRO DE NAVIOS - NORMAM-20/DPC, Órgão do Ministério da Marinha, válida para as embarcações que operarem em Águas Jurisdicionais Brasileiras – AJB. Esta norma definiu os planos e responsabilidades dos navios em relação ao controle e gerenciamento de sua água de lastro e sedimentos através de normas e procedimentos pela chamada Troca Oceânica, onde a água de lastro captada na área portuária é trocada em alto mar a pelo menos 200 milhas náuticas da costa e 200 metros de profundidade (PEREIRA, 2012), bem como, eventuais necessidades de implementação de sistemas de tratamento de suas águas de lastro.

A Troca Oceânica da água de lastro oferece, atualmente, uma forma de mitigar os riscos de transferência de espécies aquáticas por meio da água utilizada como lastro. Os três métodos para realizar a troca da água de lastro, no mar:

a) Método Sequencial – é o mais simples de troca oceânica, onde os tanques de lastro são esgotados e cheios novamente com água oceânica, conseguindo trocar aproximadamente 95% da água contida nos tanques de lastro, com isso não elimina totalmente o risco de contaminação com a água remanescente; (SILVA et al. – 2004);

b) Método do Fluxo Contínuo - os tanques de lastro são simultaneamente cheios e esgotados, por meio do bombeamento de água oceânica numa quantidade três vezes maior que o volume existente nos tanques de lastro; (TSOLAKI & DIAMADOPOULOS, 2010; NORMAM-20, 2005); e

c) Método de Diluição Brasileiro – concebido pela Petrobrás, onde o carregamento de Água de Lastro ocorre através do topo do tanque e, simultaneamente, a descarga da mesma pelo fundo do tanque, à mesma vazão, de tal forma que o nível de água no tanque de lastro seja controlado para ser mantido constante (MAURO et al., 2002).

Além destes métodos Pereira (2012) também cita o seguinte método de trocas oceânicas:

- Método do Transbordamento - onde os tanques de lastros são descarregados pela parte superior dos mesmos, visando uma melhor estabilidade da embarcação, mas não garantindo a eliminação de 100% das espécies e organismos existentes na água de lastro.

A NORMAM-20 estabelece que toda embarcação nacional ou estrangeira deve possuir um Plano de Gerenciamento de Água de Lastro com o propósito de fornecer procedimentos seguros e eficazes para este fim, devidamente aprovados por uma Sociedade Classificadora de Navios ou pela Administração ou organização reconhecida pelo país de bandeira, no caso de navios estrangeiros.

Por determinação da regulação da NORMAM-20, todos os navios cargueiros operados nos portos brasileiros devem encaminhar à Capitania dos Portos, o Formulário sobre Água de Lastro. Estes formulários são conhecidos na área marítima como “Form Bravo” devidamente preenchido no prazo máximo de 2 horas após a atracação ou fundeio da embarcação, segundo a revisão da NORMAM 20/2014. Uma via deste formulário deverá ser mantida a bordo por um período de até dois anos para atendimento à Inspeção Naval.

No Form Bravo são registrados todos os dados relativos à troca da água de lastro, tais como número de tanques de lastros, capacidade total, total de água de lastro a bordo, dados sobre a origem, troca e descarga da água de lastro foram realizadas, se o navio dispõe de sistema de tratamento de água de lastro, se existem a bordo o Plano de Gerenciamento de Água de Lastro, Convenção Internacional e Resolução da IMO A868(20), se foram implementadas.

A responsabilidade pelo preenchimento do referido formulário é do Capitão da embarcação, dando veracidade ao conteúdo das informações prestadas, e este também é responsabilizado, no caso de constatada qualquer irregularidade.

A fiscalização efetuada pelo órgão fiscalizador é atestar a veracidade das informações constantes do Form Bravo, se estão em conformidade com o Livro de Registro de Água de Lastro, documento obrigatório para embarcações, atestando se a água coletada foi realmente efetuada na localização informada no referido livro. Deve também efetuar a coleta de amostra da água de lastro, para a medição da salinidade da água dos tanques de lastros, pois a salinidade da água oceânica é maior que as águas captadas em regiões litorâneas.

Mensalmente os Form Bravo são analisados e encaminhados ao Instituto de Estudo do Mar Almirante Paulo Moreira em Arraial do Cabo, RJ, para reanalise. Os portos também possuem responsabilidades sobre a gestão e controle da água de lastro, segundo as diretrizes da IMO, os quais devem possuir seu Plano de Gestão de Água de Lastro do Porto, detalhando as exigências e ações a serem cumpridas pelos navios que atracarem em suas instalações e devem constar dados sobre o porto, levantamento de dados biológicos básicos da área portuária e avaliação de risco da água de lastro (ONG ÁGUA DE LASTRO BRASIL, 2009, pag.61).

4. MATERIAIS E MÉTODOS.

Desenvolveu-se uma pesquisa exploratória, descritiva pois, de acordo com Gil (2008), esse tipo de pesquisa é apropriado nos casos pouco conhecidos e/ou pouco explorados, bem como possibilita descrever o fenômeno pesquisado.

A pesquisa foi realizada no Terminal de Uso Privado do Consórcio Alumar, localizado na Rodovia BR 135, Km 18. Pedrinhas. São Luís/MA; na sede do Instituto de Desenvolvimento do Poder do Mar – IDEPOM, localizado na Rua da Saavedra, 183, São Luís/MA; na Agência

Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA – PVPAF - ITAQUI. Localizada na Avenida dos Portugueses, s/n, Porto do Itaqui, São Luís/MA.

O Terminal Portuário da Alumar recebe atualmente cerca de 300 navios anuais, movimentando em torno de 13.000.000 ton de granéis sólidos e líquidos, sendo 10.200.000 ton na descarga de Bauxita Úmida, Carvão Mineral, Soda Cáustica e Óleo Combustível, matérias-primas utilizadas no processo produtivo da Refinaria onde a Alumina Calcinada é produzida; Coque de Petróleo e Piche em Bastão, utilizados no processo produtivo do Alumínio Primário na Redução (Smelter). Além disso, efetua o carregamento de cerca de 2.800.000 ton da Alumina Calcinada excedente que não é transformada em Alumínio em seu Smelter.

Participaram deste estudo o Coordenador do Grupo de Vistoria, Inspeções e Perícias Técnicas CP-08, da Capitania dos Portos do Maranhão, entidade pública local designada pela Diretoria de Portos e Costa – DPC, órgão do Ministério da Marinha, responsável pela principal norma a respeito da água de lastro. O Chefe da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA – PVPAF – ITAQUI, representantes das autoridades públicas de controle Marítimo/Sanitárias e o Superintendente do Terminal Portuário da Alumar, responsável pelo Gerenciamento do Terminal.

Utilizaram-se entrevistas semiestruturadas, realizadas através de dois roteiros. O primeiro roteiro contendo seis perguntas que foram aplicadas junto ao Coordenador da Capitania dos Portos, realizada na sede do Instituto de Desenvolvimento do Poder do Mar - IDEPOM e ao Chefe da ANVISA do Porto de Itaqui, nas dependências do referido órgão. O segundo roteiro contendo cinco perguntas aplicadas junto ao Superintendente do Terminal Portuário da Alumar, no escritório operacional do referido Terminal.

5. RESULTADOS.

Esta seção está dividida em três partes, a primeira apresenta o modelo de gestão da água de lastro no Terminal estudado. A segunda apresenta o resultado das entrevistas efetuadas com os órgãos governamentais envolvidos e a terceira uma análise de exemplos de formulários de navios operados no carregamento de Alumina no Terminal da Alumar.

5.1. Gestão da Água de Lastro na ALUMAR.

No Terminal Portuário da Alumar a Gestão e Controle da Água de Lastro dos cerca de 80 navios, que carregam cerca de 2.800.000 ton de Alumina Calcinada à Granel anualmente, é efetuada de forma a cumprir as normas e procedimentos das autoridades nacionais e da Organização Marítima Internacional - IMO, requeridos para mitigar os riscos ambientais com os deslastres dos navios. Não existe uma norma ou procedimento interno formal específico para a gestão da mesma. Contudo, efetuam-se verificações nos tanques de lastros dos referidos navios, e testes de pH em amostras extraídas dos referidos tanques.

Adota-se como prática comum, cercar os navios com barreiras de contenções, mais adequada como ferramenta de minimização do risco de derramamento de óleo dos mesmos, mas praticamente ineficaz no controle de riscos de contaminação por sedimentos e espécies exóticas na área do terminal. A Capitania dos Portos do Maranhão é quem efetua os controles, conforme previsto na NORMAM-20.

5.2. Resultados das entrevistas.

De forma a entender como é efetivamente realizado o controle da água de lastro dos navios operados no Terminal da Alumar, foram realizadas entrevistas com a Capitania dos Portos e ANVISA, entidades Governamentais Federais responsáveis pela Fiscalização, segundo a legislação, por este controle, bem como com o Superintendente do Terminal.

Nas entrevistas junto à Capitania e ANVISA ao serem questionados sobre quais os controles existentes aplicados nos deslastres dos navios operados no Terminal de Uso Privativo - TUP da Alumar, o Comandante Carlos Alberto Santos Ramos, Oficial de Marinha, Inspetor Naval, Coordenador do Grupo de Vistoria, Inspeções e Perícias Técnicas da Capitania dos Portos do Maranhão informou que a fiscalização em São Luís/MA é efetuada pelo seu Grupo de Vistoria e Inspeções, que conta atualmente com 7 vistoriadores. Mas em um futuro próximo deverá contar com 9 integrantes.

Segundo o Comandante 100% dos navios operados no Complexo Portuário de São Luís, enviam os Form Bravo através dos Agentes Marítimos. Estes formulários são analisados e mensalmente encaminhados ao Instituto de Estudo do Mar Almirante Paulo Moreira em Arraial do Cabo, RJ, para reanalise.

O Chefe da ANVISA, no Porto de Itaqui, de acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 72, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2009 da ANVISA, atualizada pela RDC 10 de 09.02.2012, desobriga as embarcações de encaminhar o formulário de controle de água de lastro, para o referido órgão para a obtenção da "Livre Prática". O mesmo deixou de ser controlado na ANVISA e, desde então, o referido formulário tem sido controlado pela Capitania dos Portos.

Em relação à existência de um programa de fiscalização "in loco" no TUP Alumar a fim de assegurar a correta execução dos controles dos deslastres dos navios operados no referido terminal, o Coordenador do Grupo de Vistoria da Capitania dos Portos informou que no Maranhão as Inspeções Navais são efetuadas em 60% dos navios operados e que efetuam os deslastres nos portos do Complexo Portuário de São Luís. Para o porto da Alumar ele estima que 30% dos navios efetuam as operações de carregamentos, no Porto de Itaqui são 40% e no Terminal da Vale, 100%.

Nestas inspeções são checados os dados informados no Form Bravo, verificado o Plano de Gerenciamento da Água de Lastro, conforme exigido nas regulamentações da IMO e NORMAN-20. Também efetuam o teste da salinidade e da densidade da água de lastro existente nos tanques dos navios vistoriados, para certificação de que a água foi efetivamente captada em alto mar. Neste teste é utilizado o aparelho chamado Refratômetro.

Segundo o Coordenador, a alta salinidade da água encontrada nos taques de lastros, atesta que a mesma foi captada em alto mar, caso a salinidade seja baixa, aponta que a mesma foi captada próximo à costa, onde a água doce exerce influência, caracterizando assim uma irregularidade.

O Chefe da ANVISA informou que o referido órgão não efetua nenhuma fiscalização a respeito da água de lastro nos Portos do Maranhão.

Quando se perguntou de que forma os formulários entregues pelos navios operados no TUP Alumar são fiscalizados/analisados e quais os principais pontos são avaliados de forma a garantir a correta observância das regulações sobre a água de lastro, o Coordenador da Capitânia dos Portos informou que são analisadas as informações constantes no referido formulário, principalmente se foram efetuadas as trocas oceânicas, quais os volumes carregados com água de lastro e as coordenadas do local da troca oceânica checadas.

Em relação à existência de algum tipo de controle estatístico efetuado por esta Autoridade dos formulários, entregues pelos navios operados no TUP Alumar, o Coordenador informou que são compilados os dados em relatórios estatísticos. Por outro lado, o Chefe da ANVISA informou que o referido órgão não efetua nenhuma fiscalização a respeito da água de lastro nos Portos do Maranhão.

Em relação aos formulários, se podiam ser disponibilizados para análise das informações prestadas nos referidos documentos, o Coordenador da Capitania dos Portos informou que os mesmos são encaminhados mensalmente ao Instituto de Estudo do Mar Almirante Paulo Moreira – EAPM, localizado em Arrail do Cabo/RJ, diretamente subordinado à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha. O referido órgão tem, entre suas atribuições, de planejar e executar as atividades de pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico nas áreas de Oceanografia, Meteorologia, Hidrografia, Geologia e Geofísica Marinhas, Instrumentação Oceanográfica, Acústica Submarina e de Engenharia Costeira e Oceânica e que não são mantidas cópias nos arquivos locais.

A seguir, apresentam-se os resultados da entrevista realizada como o Superintendente do Terminal Portuário da Alumar, Domingos Reis.

Com relação à responsabilidade da Administração do Porto nas operações de deslastres dos navios carregados no Terminal da Alumar, o Superintendente confirmou a responsabilidade do Porto pela operação de deslastres dos navios operados na Alumar que efetuam carregamentos de Alumina Calcinada à Granel. Os tanques de água de lastro são verificados e uma amostra representativa é coletada para verificação do pH. Este serviço é efetuado pela empresa contratada GMS Serviços Marítimos Gerais Ltda, que presta serviços portuários diversos ao Terminal da Alumar e possui certificação emitida pelo Lloyd's Agency, seguradora de riscos dos Armadores.

Sobre a existência de normas internas e treinamento formal endereçados aos funcionários e contratados envolvidos na operação portuária, com relação as normas de controle dos deslastres de navios. O Superintendente informou que não existem normas internas formais e que os procedimentos seguidos são aqueles estabelecidos pelas normas e regulamentos sobre o controle da água de lastro. Os treinamentos são efetuados pelos funcionários da empresa contratada para este fim, os funcionários do porto não exercem nenhuma atividade neste controle.

Sobre os controles institucionais dos deslastres efetuados no TUP Alumar, o Superintendente informou que são efetuados pela empresa contratada, pela checagem das informações dos formulários Form Bravo, verificação dos tanques de lastros e com a coleta de amostras para verificação do pH da referida água de lastro. Este exame é efetuado pelo método rápido comparativo de fitas pH-Fix 0-14 da Macherey-Nagel, analisando-se o padrão de cores verificados/revelados, quando a fita é imersa em proveta de 25ml.

Sobre a existência de algum tipo de Sistema de Controle, instalação ou dispositivo para os deslastres de navios operados o Superintendente informou que somente possui a barreiras de contenção ao redor dos navios operados, mas concorda que o mesmo não é suficiente para conter qualquer contaminação por água de lastro.

A respeito do Terminal ter sofrido algum tipo de fiscalização por parte das autoridades governamentais em relação à água de lastro, o Superintendente confirmou não ter recebido nenhuma fiscalização sobre o gerenciamento dos controles de deslastres dos navios operados no referido terminal.

5.3. Coleta de Formulários.

Tendo em vista não termos tido acesso aos formulários junto a Capitania dos Portos do Maranhão, obtivemos, através dos Agentes Marítimos que atenderam navios operados no carregamento de Alumina no terminal da Alumar, dois exemplos de Ballast Water Reporting Form, ou Form Bravo (Anexos 1 e 2). Nestes formulários é possível verificar as seguintes informações: quantidade e capacidade dos tanques de lastros; quantidade de água de lastro a bordo e quantidade de tanques com a mesma; se o Navio possui e se está implementado o Plano de Gerenciamento da Água de Lastro; porto onde a água foi captada; volume de água por tanque; bem como a salinidade da mesma. Local com a informação das coordenadas geográficas de onde começou e onde terminou a Troca Oceânica, volume de água, percentual da troca, profundidade e o método empregado na troca e, finalmente, os dados da descarga da água de lastro no porto de carregamento, com data, volume e salinidade da água.

Com base nestas informações é possível identificar se o navio fez a captura e a troca da água em locais indicados pela IMO. Além disso, é possível observar as variáveis físico químicas da água, comparando as informações contidas nos formulários com as do local indicado. Entretanto, não é incomum verificar não conformidade nestas informações contidas nestes

formulários, conforme já reportado na literatura. Deste modo, os formulários servem como um indicado de onde foi realizada a operação do lastro, mas não chega a ser 100% confiável. O método mais confiável é realizar a verificação da salinidade da água dentro do tanque do navio.

6. CONCLUSÕES.

Concluímos com este estudo que a troca oceânica é um método, atualmente, mais aceito como uma forma efetiva de controle dos riscos de invasão de sedimentos e micro-organismos através da água de lastro. Porém, não é uma garantia de que a ameaça de bioinvasão com a proliferação de espécies exóticas ao meio ambiente costeiro de São Luís esteja inteiramente descartada, deixando latente os riscos de contaminação. Assim os regulamentos da IMO e a NORMAM-20/DPC estabelecem os requisitos para que a troca oceânica seja devidamente observada pelos envolvidos nas movimentações da água de lastro através dos navios.

Ressalta-se que o controle efetuado atualmente não atende os requisitos básicos das legislações. Basicamente, o porto deveria monitorar a salinidade da água de lastro, ao invés de monitorar o pH. Deste modo, este tipo de verificação não elimina os riscos de danos ambientais, caso algum navio deslastre sua água de lastro contaminada com algum sedimento ou micro-organismo que venham a contaminar a área do referido terminal e também a bacia hidrográfica do complexo portuário de São Luís/ MA.

O cumprimento dos métodos existentes para mitigarem do risco representado pela contaminação da água de lastro no Terminal da Alumar, é um dever de todos os envolvidos no processo. Na atual conjuntura, estão em sua maioria a cargo da responsabilidade e da conscientização ambiental dos armadores e da tripulação dos navios. Esses são os primeiros que devem estabelecer o Plano de Gerenciamento de Água de Lastro de suas embarcações e devem propiciar os meios para o seu cumprimento. Além disso, cabe também a responsabilidade final na efetiva observância da troca oceânica, conforme requerido nos regulamentos da IMO e da NORMAM-20, bem como, na veracidade das informações constantes no Form Bravo.

Ficou claro também, que a responsabilidade comercial do Armador e tripulação dos navios exerce um impacto positivo na observância dos controles da água de lastro, uma vez que qualquer irregularidade observada com a água de lastro ou seus controles, de acordo com a

legislação, estariam expondo o navio a pesadas multas que podem variar de R$ 5.000,00 (cinco mil reais), e o máximo de R$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais). Além do risco de ter sua operação de carregamento paralisada, ou mesmo cancelada, que certamente trariam sérios prejuízos ao Armador, há o problema dos altos custos das manobras de atracação e desatracação no Complexo Portuário de São Luís. Além de expor a reputação do armador perante o embarcador que poderiam exercer seu direito de rejeitar reatracar o navio ou mesmo futuros navios nomeados pelo mesmo Armador.

No entanto, o que pode se observar no momento é que a NORMAM 20/2014 apresenta certa fragilidade na implementação de tal aplicação de sanção ao navio, uma vez que os formulários podem ser entregues até 2 horas após a atracação dos navios. Nosso questionamento é: existe tempo hábil para realizar a verificação das informações contidas nos formulários dos navios?

Do ponto de vista do Terminal Portuário, ficou evidenciado que os controles e ações hoje exercidos poderiam ser mais bem evidenciados, procedimentos internos formais poderiam ser implementados, treinamentos teóricos e práticos com vistas a conscientização ambiental para todos os envolvidos nas operações portuárias do Terminal, com o objetivo de melhor identificar e agir em casos de qualquer situação de risco ou irregularidade observada em um deslastre de navio em operação.

A busca por Melhores Práticas (Benchmarking) em operações portuárias em outros portos no Brasil ou no mundo, com relação a responsabilidade do Porto, provavelmente melhoraria a implementação desta tecnologia no Terminal da Alumar.

Do lado das Autoridades fiscalizadoras, verificou-se que somente a Capitania dos Portos exerce o controle e fiscalização da água de lastro em suas vistorias de navios em operação de carregamento no Terminal da Alumar. Estas vistorias que não são efetuadas em 100% dos navios deslastrados no referido Terminal. Além disso, os Forms Bravo são analisados e encaminhados mensalmente para o Instituto de Estudo do Mar Almirante Paulo Moreira em Arraial do Cabo, RJ, para reanalise. Contudo, nenhum dos órgãos acima mencionados disponibilizam ou divulgam qualquer resultado de análise qualitativa ou nenhum dado estatístico sobre o assunto, que possibilitariam maiores aprofundamentos nas pesquisas para desenvolvimento de análises de pesquisadores.

Verificações regulares no meio ambiente marinho na área do Terminal deveriam ser implementadas visando o constante monitoramento de algum tipo de contaminação por sedimentos e/ou micro-organismos estranhos à região. Espera-se que este estudo permita maior visibilidade à esta questão de natureza ambiental, extremamente importante, não apenas para o Maranhão, mas para todo o mundo e de forma geral.

REFERÊNCIAS.

A ÁGUA de lastro e seus riscos ambientais. **Cartilha de conhecimentos básicos**, São Paulo: Água de Lastro Brasil, p. 9-11, 2009.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **BRASIL – ÁGUA DE LASTRO**, 2002.

Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento de Antonina (ADEMADAN).

IMO – International Maritime Organization. **Ballast Water Management**.

IMO – International Maritime Organization. Resolution A.868(20). **Guidelines for the control and management of Ships' Ballast Water to minimize the transfer of harmful aquatic organisms and pathogens.**

Itaipu Binacional **Programa Cultivando Água Boa**. Dosponpivel em : http://www.cultivandoaguaboa.com.br/o-programa/sobre-o-programa. Acessado em Acessado em 13/01/2014.

MARINHA DO BRASIL. **NORMAN-20/DPC. Revisão 1. Norma da Autoridade Marítima para o Grenciamento da Água de Lastro de Navios**.

North Sea Ballast Water Opportunity (NSBWO).
Organização ONG Água de Lastro Brasil. **A Água de Lastro e os seus riscos ambientais.** São Paulo: Associação Água de Lastro Brasil. 2009.

PEREIRA, N.N. **Alternativas de tratamento de água de lastro em portos exportadores de minério de ferro**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. ed rev. – São Paulo, 2012, 349 p.

PEREIRA, N.N.; BRINATI, H.L., BOTTER, R.C. **Uma abordagem sobre água de lastro.** Departamento de Engenharia Naval e Oceânica – EPUSP, 2011.

RECOMENDACIONES PARA EL CONTROL Y PROTECCIÓN BIOLÓGICA EN LAS INSTALACIONES DE VARADA Y PUESTA A FLOTE

González Suárez, Roberto Luís[1]

[1]Director UEB Oficina Centro, Registro Cubano de Buques.
Calle 37 No 1206, Cienfuegos, CUBA, CP: 55100. Telefax: (53) (43) 513905.
director.rcbcfg@enet.cu

RESUMEN.

El presente trabajo da continuidad a una primera investigación realizada por este propio autor sobre el tema, Conociendo el impacto ambiental negativo que genera la limpieza mecánica realizada a los cascos de los buques en Varaderos y Diques de los Astilleros, que demostraron que esta limpieza mecánica sin control ni medidas de seguridad biológicas, pueden introducir en nuestras aguas especies invasivas y cualquier otro tipo de contaminación mediante la introducción de algas, moluscos y crustáceos vivos o muertos de forma involuntaria o con ese propósito, surgiendo la necesidad de establecer regulaciones y prácticas que controlen y minimicen este impacto.

1. INTRODUCCION (Descripción del Problema y Solución).

Las preocupaciones sobre el medio ambiente invaden cada día más la vida diaria de todos los ciudadanos de este planeta, cada vez se escucha y con mas frecuencia, como en el mundo contamina la atmósfera con la desmedida actividad industrial del mundo desarrollado, se talan indiscriminadamente los bosques, se contaminan los ríos y los mares y desaparecen especies que ni siquiera se llegan a conocer, poniendo en peligro de extinción la vida de la propia especie humana.

Es por ello que Organizaciones de todo tipo están cada vez más interesadas en alcanzar y demostrar un sólido desempeño ambiental mediante el control de los impactos de sus actividades, productos y servicios sobre el medio ambiente, acorde con su política y objetivos ambientales. Lo hacen en el contexto de una legislación cada vez más exigente, del desarrollo de políticas económicas y otras medidas para fomentar la protección ambiental, y de un

aumento de la preocupación expresada por las partes interesadas por los temas ambientales, incluido el desarrollo sostenible, desarrollando sistemas de gestión ambiental basados en las normas ISO 14000.

Por tal razón, y siendo de conocimiento de todos que las actividades antrópicas de mantenimientos y reparaciones de los cascos de los buques que se realizan en la zona costera, en las instalaciones de varada y puesta a flote, generan desechos, y conociéndose el impacto de cada una de éstas operaciones, es por ello que se define como el **Problema Científico "El destino final de los desechos generados por la limpieza mecánica de los cascos de los buques"** centrando la investigación en como proponer la mitigación o solución del problema**,** abordado en esta investigación la realizada en la bahía de Cienfuegos, consecuentemente, con el objeto de estudio, las limpiezas mecánicas realizadas a los cascos de los buques, se asumió como **hipótesis** que: **"**una vez demostrado el impacto negativo generado por esta operación en la zona costera donde se encuentran enclavadas las instalaciones de varada y puesta a flote, demostrará lo meritorio que será formular, desde una perspectiva de Manejo Integrado de Zona Costera (MIZC), una propuesta de modificación de algunas regulaciones y practicas aplicadas a las mismas y del aprovechamiento de estos desechos en otras actividades, de modo que estas últimas sean coherentes con la legislación ambiental y las políticas de desarrollo sostenible del país".

En tal sentido, se trazó como **objetivo general**: "Demostrado el impacto que pueden ocasionar las limpiezas mecánicas realizadas a los cascos de los buques y en correspondencia, proponer la modificación de algunas regulaciones y practicas aplicables en las instalaciones de varada y puesta a flote; para la preservación ambiental de la zona costera". Lo cual se desarrolló a través de los siguientes **objetivos específicos**:

- Demostrar el impacto ambiental que puede ocasionar las limpiezas mecánicas realizadas a los cascos de los buques.
- Analizar los documentos programáticos y la legislación vigente en materia de protección ambiental que resultan aplicables en Cuba a las instalaciones de varada y puesta a flote.

- Elaborar una propuesta concreta de modificación de esas regulaciones y prácticas que satisfaga todo el análisis anterior, para ser sometida a la consideración de las autoridades en materia de protección ambiental.

- Probar la factibilidad del uso de estos desechos procesados en otras actividades, como la alimentación en el cultivo intensivo de peces, logrando el destino final de los mismos.

Para la realización de este estudio se aplicaron los métodos generales de investigación deductivo-inductivos, combinándose con los de análisis lógico, descriptivo, y de síntesis. Se aplicó además, y se combinaron el uso de varias técnicas, como son la entrevista, el estudio comparado, el análisis de documentos, la recolección de información y la observación con el levantamiento o recopilación de evidencia fotográfica.

El tema abordado tiene un carácter novedoso en Cuba, desconociendo este autor de otras investigaciones de este tipo, al no ser la realizada por el mismo autor en el 2008, resultados de la cual no se socializaron y ahora meritan actualizarse. Si bien el resto de las organizaciones relacionadas con el tema han venido perfeccionando la dimensión ambiental de sus servicios, el enfoque que, desde la perspectiva MIZC posee la presente investigación, resulta muy nuevo, de ahí la importancia de este trabajo para poder armonizar las regulaciones dentro de los planes de manejo integral de la zona costera.

2. DESARROLLO.

Como objetivo final se pretende que demostrando el impacto negativo de esta operación de limpieza mecánica de los cascos de los buques, solicitar una Propuesta de Modificaciones a las Regulaciones, y practicas en armonía con las legislaciones y reglamentaciones ambientales vigentes, y creando las evidencias de su cumplimiento, para ello se ha tenido en cuenta la experiencia y el conocimiento de este servicio que se brinda en las Zonas Costeras Cubana, logrando así un objetivo más amplio como es la Educación Ambiental.

PRIMERO. Para este trabajo se utilizarán los siguientes conceptos*:*

Manejo Integral de la Zona Costera: "Es un proceso integrado de formulación de estrategias y adopción de decisiones, en que participen todos los sectores interesados, para fomentar la compatibilidad y el equilibrio entre los distintos usos de los recursos costeros"

(Agenda 21, Declaración de Río, 1992).

Zonas Costeras: Franja marítimo terrestre de ancho variable donde se produce la interacción de la tierra, el mar y la atmósfera, mediante procesos naturales. En la misma se desarrollan formas exclusivas de ecosistemas frágiles y se manifiestan relaciones económicas, sociales y culturales.

Sus límites son:

Interior: 20 metros a partir de la franja de vegetación natural, en las playas de 40 metros y en la costa acantilada por las olas mayores o mareas más altas.

Exterior: Profundidades 100-200 metros según la línea base.

(DECRETO-LEY No 212, Cuba, 2000).

Organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos: Son los organismos y agentes cuya introducción en el mar, incluidos los estuarios, o en el curso de agua dulce pueda ocasionar riesgo para el medio ambiente, la salud de los seres humanos, los bienes o los recursos, deteriorar la diversidad biológica o entorpecer otros usos legítimos de la zona.

(Convenio de Agua de Lastre, Organización Marítima Internacional (OMI), 2004).

Desechos Peligrosos: Aquellos provenientes de cualquier actividad y en cualquier estado físico que, por la magnitud o modalidad de sus características corrosivas, toxicas, venenosas, explosivas, inflamables, biológicamente perniciosas, infecciosas, irritante o cualquier otra, representan un peligro para la salud humana y el medio ambiente.

(Ley No 81, Cuba, 1997).

SEGUNDO. Selección de Métodos y Técnicas de Investigación.

Técnica de entrevistas.

Se realizaron entrevistas a especialistas del Centro Provincial de Higiene y Epidemiología del Ministerio de Salud (MINSAP), del Laboratorio Costero, de la Unidad de Supervisión Medioambiental ambos pertenecientes al Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), al igual que a compañeros y especialistas de Astilleros ASTISUR y

Empresa Pesquera EPICIEN ambas del Ministerio de la Industria Alimenticia (MINAL), Astilleros de Cienfuegos del Ministerio de las Fuerzas Armadas (MINFAR), de la Empresa Nacional de Astilleros del Ministerio del Transporte (MITRANS), y compañeros que atienden la actividad de inteligencia y delitos contra la economía del Ministerio del Interior (MININT), todos de la provincia de Cienfuegos, Cuba.

Pudiéndose corroborar:

- En primer lugar, que dentro del grupo de los moluscos y algas que se adhieren a los cascos de los buques y que son desprendidos durante la limpieza mecánica, existen especies extremadamente resistentes a los cambios de temperatura y salinidad (Organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos), que una vez desprendidas vivas de los cascos pueden adaptarse al nuevo medio, siendo entonces una manifestación de una especie invasivas que puede hasta desplazar otras especies de nuestro ecosistema, o sirviendo de alimento a otras, además de ser transmisores de enfermedades que afecten nuestra fauna autóctona. [1], [2]

- En segundo lugar, que anualmente existe una cantidad de embarcaciones procedentes de otras áreas geográficas que hacen uso del puerto de Cienfuegos con el objetivo de asumir una reparación y/o mantenimiento de su obra viva, donde la limpieza mecánica de sus cascos forma parte de estas operaciones, sin que exista regulación, ni entidad

[1] Los moluscos de las familias Mytilidae Perna viridis (Linné, 1758) y Dreissenidae Mytilopsis sallei (Récluz, 1849); fueron introducidos en la bahía de Cienfuegos en la primera mitad de esta década. Estos bivalvos que viven fijados por un visus a diferentes sustratos, son filtradores, alimentándose de microorganismos y partículas en suspensión, con lo que pueden traer consigo patógenos que afecten a nuestra fauna autóctona. Se presume que estas dos especies pudieron llegar fijadas en los cascos o en el agua de lastre de las embarcaciones que llegan al puerto.

- Fernández Garcés y Rolán, 2005. Primera cita de Perna viridis (Linné,1758) (Bivalvia Mytillidae) en aguas de Cuba.

- Fernández Garcés y Rolán, 2006. Primera cita de Mytilopsis sallei (Bivalvia, Dreissenidae) en aguas cubanas. NOTICIARIO SEM. 45: 50-51, 2006.

[2] Los barcos y en especial sus cascos constituyen vectores de gran importancia a nivel mundial para la transmisión de especies ¨no nativas¨. Varias especies de macroalgas han sido transportadas por esta vía, causando problemas ecológicos en las áreas donde son introducidas. En muchas ocasiones, asociadas a estas macroalgas aparecen ciertas microalgas que pueden ser tóxicas, causando problemas mayores para la salud humana, las pesquerías, acuicultura y turismo de las zonas costeras (Lein, 1999; Rosenthal et. al., 2000).

responsable por recoger y controlar esos desechos biológicos que son desprendidos de sus cascos, del que pueden formar parte algunas de esas especies y quedan abandonadas o muertas en la rivera de los varaderos escurriéndose a la bahía durante la limpieza de estas áreas, provocando contaminación.

- Que es posible y probable que especies exóticas adheridas a los cascos de los buques, (Organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos), puedan ser usadas para la introducción voluntaria de enfermedades patógenas a nuestras aguas y que sean luego transmitidas por las especies de nuestro ecosistema, formando parte de la guerra biológica que es desarrollada contra nuestro país.

- Por último que estos desechos procesados (molido y cocidos) son un alimento rico en calcio, proteínas y fibra para la alimentación en el cultivo intensivo de peces.

Por lo que se realizó un estudio de toda la legislación aplicable a la Zona Costera Cubana.

Método de estudio comparado.

Se analizó la legislación ambiental de relevancia; en este caso, el contenido de la Ley 81 (del Medio ambiente) y del Decreto-Ley 212 (de la Zona Costera), identificando aquellos artículos que son de aplicación a esos servicios que se brindan en los Astilleros.

De igual forma, se analizaron los objetivos de los principales documentos programáticos en materia ambiental, que fueron identificados como aplicables a tales servicios. En este caso, se tomó en cuenta específicamente la "Estrategia Ambiental Nacional". Al evaluar estos documentos se analizó la correspondencia que existe entre el contenido de los mismos y la legislación ambiental previamente identificada

Por último, se analizaron las regulaciones aplicadas para la Certificación de las Instalaciones de Varadas en la zona costera cubana (Resolución 216/2009) "Reglamento para la Seguridad de la explotación de las Instalaciones Portuarias y las Obras Hidrotécnicas" del MITRANS. Al abordar estos documentos, se examinaron los pasos que se siguen en cada uno de los respectivos procedimientos; así como los requisitos exigidos para otorgar las correspondientes certificaciones. Se hizo especial énfasis en los documentos que se exigen, los cuales deben ser previamente emitidos por otras instituciones y que son demostrativos; así como en los

elementos que se verifican mediante las inspecciones y chequeos que se hacen a las obras hidrotécnicas, para otorgar la certificación.

Luego de identificar por separado los elementos de relevancia en cada uno de los instrumentos legales, documentos programáticos, y reglamentaciones técnicas estudiadas, se hizo un estudio comparado de todos ellos

Análisis de Documentos.

Se realizó un análisis de documentos; específicamente de dos entidades: Consignataria Mambisa y Capitanía del Puerto, ambas del Puerto de Cienfuegos.

La Empresa Consignataria Mambisa opera, entre otras funciones, como agente de buques. A partir de la información documental brindada por esta entidad, se pudo conocer la cantidad de buques, que visitaron el puerto con el objetivo de realizar reparaciones y/o mantenimiento de su obra viva procedente de otras Zonas Geográficas (otros puertos cubanos y del extranjero).

La Capitanía del Puerto es la institución que funge como autoridad del Ministerio del Interior en el puerto y, a partir de la información documental obtenida de la misma, se pudo conocer la cantidad de permisos otorgados para la realización de reparaciones a embarcaciones en los varaderos de varias entidades de la bahía de Cienfuegos, información ésta que luego se relaciona con el impacto ambiental que provoca la forma en que se realizan tales reparaciones.

Técnica de observación.

Durante las visitas a las instalaciones de varada y puesta a flote para la realización de entrevistas y la búsqueda de información para su análisis, relacionado con la operación de limpieza mecánica de los cascos de los buques, primera operación a realizar cuando es reflotada una embarcación con el objetivo de desprender todas las adhesiones o incrustaciones en su casco, el que luego es sometido a otras operaciones, que no fueron objeto de esta investigación en este momento, empleándose la técnica de la observación, con la aplicación de recolección de evidencias fotográficas. Demostrándose que por cada embarcación que estas instalaciones son capaces de varar de entre mediano y pequeño porte (Esloras 10,00 a 24,00 m) son generado entre 1 y 2 m² de estos desechos como promedio.

Recolección de datos.

En cuanto a las Instalaciones de Varada y Puesta a Flote, en la bahía de Cienfuegos existen actualmente 12 instalaciones relacionadas fundamentalmente con la construcción y reparación naval, de ellas 4 son objeto de la investigación por encontrarse en capacidad o haber realizado alguna vez la operación de limpieza mecánica a los cascos de embarcaciones provenientes de otras Zonas Geográficas como parte de una reparación y/o mantenimiento. A todas les es aplicable la Resolución 216/2009 del MITRANS y por ello la emisión de la correspondiente "Certificación de Seguridad de las Obras Hidrotécnicas", emitido por Registro Cubano de Buques (RCB), a tenor de la aplicación de lo dispuesto actualmente en el "Manual de Aprobación de la Seguridad de Obras Ingenieras" (MASOI).

TERCERO. Resultados y Propuestas.

Se analizan y discuten los resultados obtenidos a través de la aplicación de los métodos de investigación descritos anteriormente en la zona costera de la bahía de Cienfuegos.

Sobre la base de la discusión de tales resultados se realizan propuestas de modificación de regulatorias y prácticas para esta actividad como vía de solución de las deficiencias detectadas, al amparo del articulo 88, inciso c),o) y el articulo 102 de la Ley No 81 y la Resolución 216/2009.

Incorporar en el MASOI en el Capítulo 2.2, Sección 2, apartado 2.3.1. dentro de la documentación inicial solicitada al cliente en el contrato ó en el 2.3.3.5 Documentación Complementaria:

- La Evaluación del Impacto Ambiental, en los casos en que proceda.(Articulo 15.1 Decreto-Ley 212).
- Licencia Ambiental para la actividad a realizar, o que ya realizan según el caso.(Articulo 24 Ley No 81).
- Procedimiento para el tratamiento y análisis de los desechos resultante de las operaciones de las limpiezas mecánicas realizada a los cascos de los buques, tanto los procedentes del extranjero y otras áreas geográficas que así lo ameriten, que los mismos posean el visto bueno del Centro Provincial de Higiene y Epidemiología y de

la Unidad de Supervisión Medioambiental del territorio. (Articulo 88, inciso o) de la Ley No 81).

Incluir dentro del MASOI Generalidades 1.1 (verificar la existencia) **en su apartado 2.2.3** Licencia Ambiental y procedimiento para los desechos según proceda y en el **2.2.4** dentro de los estudios especializados la Evaluación de Impacto ambiental del uso y los procedimientos para mitigar estos.

Agregar en la Lista de chequeo de la Inspección Diagnóstico (LIDV) que forma parte del MASOI como Anexo 1 y dentro de la descripción de la instalación, al igual que en la Lista de Chequeo de Seguimiento y Eventual de los medios de varada (LIAV) del Anexo 13. Todos ellos establecidos en el Decreto-Ley 212.

- Acceso y Zona de protección.
- Disposición final de los Desechos Sólidos y Líquidos de las actividades a realizar o de servicios que brindan a terceros.
- Procedimiento para el tratamiento de los desechos resultante de las operaciones de las limpiezas mecánicas realizada a los cascos de los buques procedentes del extranjero.
- Tratamiento de los residuales u otro tipo de vertimiento.
- Contaminación Atmosférica.
- Contaminación Sonora.
- Equipos especiales de protección de las condiciones ambientales sin riesgos para la salud o la vida de los trabajadores.

Estos últimos objetivos fundamentales en la educación ambiental de nuestros clientes.

Se propone como destino final a estos desechos después de procesados y analizados su empleo en la alimentación del cultivo intensivo de peces. Los que pueden ser empleado directamente o mesclado con los piensos, por ser ricos en calcio, proteínas y fibras

3. EFECTO ECONÓMICO.

La metodología aplicada en esta investigación no incluyó cálculo del efecto económico por sustitución de importaciones del empleo de estos desechos como alimento en el cultivo intensivo de peces, por ser cantidades no significativas en valores producto del tamaño de la muestra (4 Astilleros), pero el efecto económico de este trabajo puede demostrarse por su aplicabilidad, vista ésta en la minimización del impacto de estas operaciones de limpieza mecánica de los cascos de los buques y su repercusión que puede tener en la Economía Ambiental y el efecto social que puede conocerse con la utilización de varios métodos tales como:

- Valorizando el capital natural afectado por algunos de los métodos conocidos (Excedente del consumidor, Variación Compensatoria, Variación Equivalente, Excedente Compensatorio, Excedente Equivalente, etc.)

- Calculando el costo del Saneamiento para las diferentes situaciones de contaminación generadas por esta actividad en la zona costera.

- Por el efecto social, que no es otro que pronunciarse por una política ambiental consecuente dentro de los servicios que brinda el RCB, proteger el medio ambiente y contribuir a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible del país, beneficiando con ello a la sociedad en general.

- El ahorro en la importación de pienso para la alimentación del cultivo intensivo de peces, después de generalizada esta práctica.

La consecuente generalización de las modificaciones propuestas a las regulaciones establecidas y descritas anteriormente reportarán beneficios para la sociedad:

- Cumplir con la Legislación Ambiental Nacional.

- Previene la Contaminación del Medio.

- Ayuda a la Educación Ambiental.

- Conservación de Ecosistema.

- Puede Valorarse el Impacto de esta Actividad.

- Ahorros al presupuesto.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

Sobre la base de todo lo aquí abordado, se arriba a las siguientes conclusiones:

1. Demostrado el impacto ambiental negativo que generan las operaciones de limpieza mecánica que se realiza en el casco de los buques en las áreas donde están enclavadas las instalaciones de varada y puesta a flote que son certificadas.

2. Existen regulaciones, tanto en la Ley 81, Decreto-Ley 212 que resultan de perfecta aplicación a esta actividad en la zona costera, que aprovechando la posibilidad legal que brinda la Resolución 216/2009 del MITRANS "Certificación de la Seguridad de las Obras Hidrotécnicas", convierte al RCB en un filtro y actor clave dentro de las políticas y los planes de Manejo Integral de la Zona Costera en Cuba.

3. Se lograron formular propuestas concretas de modificaciones, adiciones a las regulaciones y nuevas prácticas que resultan coherentes con las intenciones de perfeccionamiento de la dimensión ambiental de estos servicios.

4. Se propone un destino final a estos desechos que sustituyen importaciones en la alimentación del cultivo intensivo de peces.

RECOMENDACIONES.

En correspondencia con las anteriores conclusiones, y dada la importancia que se le confiere al tema aquí tratado, se recomienda:

1. Elevar la propuesta de modificación del MASOI en los apartados anteriormente señalados al Consejo Técnico del RCB para su implementación inmediata por el peligro que esto representa para nuestro ecosistema y que en el desarrollo de la investigación quedó demostrado.

2. Informar de los resultados de esta investigación a las entidades interesadas en el cultivo intensivo de peces del MINAL.

3. Socializar la información contenida en los resultados de la investigación, como medio de educación ambiental.

La implementación correcta de lo dispuesto en las disposiciones medioambientales vigentes en nuestro país aplicado a este servicio, demostrará un sólido desempeño ambiental y el más estricto control del impacto de sus actividades sobre el medio ambiente, convirtiéndolo en un Servicio más Limpio.

5. BIBLIOGRAFIA.

Fernández Garcés y Rolán, (2006). Primera cita de *Mytilopsis sallei* (Bivalvia, Dreissenidae) en aguas cubanas. NOTICIARIO SEM. 45: 50-51, 2006

(2005). Primera cita de *Perna viridis* (Linné,1758) (Bivalvia Mytillidae) en aguas de Cuba

Castellanos, M. E. (2002). El MIZC y el enfoque CTS en la gestión del conocimiento. Un estudio de caso. Universidad de Cienfuegos. Tesis de Maestría

(2004b). Curso sobre "Temas Actuales en el MIZC" (notas de clases). Maestría en Manejo Integrado de Zonas Costeras; Facultad de Humanidades, Universidad de Cienfuegos.

Cicin-Sain B.; R. W. Knecht (1998). Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts and Practices; Island Press, Washington D.C.-Covelo, California, USA: pp.15, 23-25, and 32-36.

González, R. L. (2006) Tesis de MIZC "Propuesta de Perfeccionamiento de algunas Regulaciones del Registro Cubano de Buques para la Protección Ambiental de la Zona Costera". Facultad de Humanidades, Universidad de Cienfuegos.

Lein, T.E (1999): A newly immigrated red algae (Dasysiphonia, Dasyaceae, Rhodophyta) to the Norwegian coast, Sarsia 84: 85-88.

Martín, W.F., López Bastida, E., Miranda Vera, C.E., Díaz González, D. (2001). Metodología de la Investigación: Maestría en Manejo Integrado de Zonas Costeras. Universidad de Cienfuegos.

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente, Cuba (1997). Estrategia Ambiental Nacional; http://www.medioambiente.cu/estrategia_ambiental.asp; acceso: 22-12-2014.

Ministerio de Transporte, Cuba (2014). Estrategia Ambiental del Ministerio de Transporte. http://www.medioambiente.cu/estrategias_sectoriales.asp; acceso: 22-12-2014.

Rosenthal, A., S.Gollasch y M. Voigh (eds) (2000): Final Reporto f the European Union Concerted Action

Testing Monitoring Systems for Risk Assessment of Harmful Introductions by Ships to European Waters, Contract No-MAS3- CT 97-0111, 72 pp (plus various appendices)

Norma Cubana NC- ISO 14001 (2004) "Sistema de Gestión Ambiental. Requisitos con orientación para su uso".

Legislación internacional consultada:

Organización Marítima Internacional (1996). Iniciativa del Gran Caribe para los Desechos Generados por los Buques (WCISW), Estrategia y Plan de Acción para la Reducción en la Fuente de los Desechos Generados por los Buques, su Reciclaje y Recuperación.

(2004). Convenio Internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques, OMI 2004.

Legislación nacional consultada:

Leyes:

Asamblea Nacional del Poder Popular, Cuba (1997). Ley 81 "Ley del Medio Ambiente". Gaceta Oficial de la República de Cuba, Edición Extraordinaria No. 7, de 11 de julio de 1997, La Habana, Cuba.

Decretos-Leyes:

Consejo de Estado, Cuba (2000). Decreto-Ley 212 "Gestión de la Zona Costera". Gaceta Oficial de la República de Cuba, Edición Ordinaria No. 68, de 14 de agosto de 2000, La Habana, Cuba.

Resoluciones:

CITMA (1999). Resolución 77/99 " Reglamento del proceso de evaluación de impacto ambiental". Gaceta Oficial de la República de Cuba, Edición Ordinaria No.6, de 6 de agosto de 1999.

MITRANS (1996). Resolución 216/2009 "Reglamento para la Seguridad de la explotación de las Instalaciones Portuarias y las Obras Hidrotécnicas". MITRANS.

Reglas, Procedimientos y Manuales del RCB:

Registro Cubano de Buques (2011). Manual para la Certificación de la Seguridad de Obras Hidrotécnicas (MASOI). RCB 14-10-2011.

Sitios Web visitados:

http://www.imo.org

http://www.medioambiente.cu

http://www.un.org

http://www.unctad.org

http://www.ucf.edu.cu

http://www.gacetaoficial.cu

http://www.ttransporte.cu

ANEXOS.

Relación de especialistas y expertos que fueron entrevistados:

No	Nombres y Apellidos	Entidad a la que pertenece	Cargo
01	Dra. Rosario Gutiérrez	Centro Prov. Higiene y Epidemio.	Especialista
02	Dr. Jorge Portel del Sol	Control Sanitario Internacional	Director Cienfuegos
03	Dr. Augusto Comas González	Laboratorio Costero de Cfgos	Especialista Micro-Algas
04	Lic. Raúl Fernández Garcés	Laboratorio Costero de Cfgos	Biólogo Marino
05	MsC. Ángel Moreira González	Laboratorio Costero de Cfgos	Especialista Macro-Algas
06	MsC. Maria Elena Castellanos	Laboratorio Costero de Cfgos	Especialista MIZC
07	MsC. Alain Muñoz Caravaca	Laboratorio Costero de Cfgos	Director
08	MsC. Rodolfo Ripoll Salcines	ONBC – Universidad de Cfgos	Prof. Derecho Marítimo
09	MsC. Iván Figueroa Reyes	Unidad de Supervisión de CITMA	Especialista Ppal de EIA
10	Ing. Reinaldo Acosta Miliam	Unidad de Supervisión de CITMA	Director
11	Ing. Wilfredo Pescoso	ASTISUR	Respons. de la Calidad
12	Ing. Alain Cobelo	Astilleros de Cienfuegos	Respons. de la Calidad
13	Ing. Miguel Silveira	Emp. Nacional de Astilleros	Director
14	My. Antonio Valladares Barberis	MININT	1er Of. Act. Econ. de la C.I.
15	MsC. Tamara Rivero Sánchez	EPICIEN	Directora del Laboratorio

Conclusiones:

Todos los entrevistados encuentran el tema interesante y novedoso, reflexionando sobre el impacto que ha tenido en la Bahía de Cienfuegos este tipo de contaminación y proliferación de nuevas especies, hasta ahora sin control por la ausencia de regulaciones y prácticas, aprobando la idea de establecer un procedimiento para el control y destino final de los desechos generados de las limpiezas mecánicas realizadas a los cascos de los buques provenientes del extranjero y de otras áreas, que pudiera estar estructurado de la siguiente forma:

- Aviso al Control Sanitario Internacional del Puerto.
- Aviso a la Unidad Supervisora del CITMA con el veredicto del Control Sanitario Internacional.
- Análisis e identificación de especies y agentes patógenos. (en caso que lo requiera) y su comunicación a los órganos del MININT.
- Definición y Aprobación del lugar de depósito provisional hasta su recogida.

- Contrato con la entidad responsable por la recogida, traslado y proceso de esos desechos.

- Registros.

Este procedimiento deberá tener el visto bueno de los dos primeros.

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS PRODUZIDO A PARTIR DE RESÍDUOS E ESGOTO EM NAVIOS DE PASSAGEIROS

da Silva Lima, Herald Murilo[1]; Galardo Quintanilha, Leonardo[2]; Luz, Edelson[3]; Hugo, Victor[4]

Centro de Instrução Almirante Braz de Aguiar. Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante. Curso de Máquinas. Rodovia Arthur Bernardes nº 245, Pratinha - Belém -PA - CEP: 66816-900 Tel: (91) 3216-7004

[1]herald_murilo@hotmail.com; [2]leonardogalardo@hotmail.com; [3]edelson_81@hotmail.com; [4]hugochaves97@hotmail.com

RESUMO.

A sociedade está em constante busca por fontes alternativas de energia, este trabalho faz um estudo do biogás produzido a partir da degradação de matéria orgânica através de um processo chamado biodigestão anaeróbica, o biogás é uma mistura gasosa composta majoritariamente por metano (CH4). Este composto possui propriedades que contribuem para o efeito estufa e aquecimento global cerca de 20 vezes mais do que o gás carbônico (CO2), mas em contrapartida apresenta considerável potencial energético, uma vez que são várias suas aplicações como, por exemplo, gás de cozinha, geração de energia elétrica e iluminação. A produção de biogás tem como matéria-prima resíduos orgânicos, como resíduos de atividades agrícolas e pecuárias, lodo de esgoto, dejetos, resíduos sólidos urbanos, entre outros. Portanto, a utilização de métodos de produção e armazenamento desse gás seria vantajosa na minimização de impactos ambientais e na redução de custos com eletricidade e combustíveis fósseis. Tendo esse contexto atrelado a enorme produção de resíduos e esgoto em navios de passageiros, este artigo tem por finalidade analisar a viabilidade energética e ambiental de diferentes processos para produção do gás a bordo dessas embarcações no intuito de prover iluminação do navio e geração de eletricidade.

Palavras chave: Aproveitamento Energético, Biogás.

1. INTRODUÇÃO.

O presente trabalho visa a produção de energia por meio de biogás através da analise técnica obtida a partir do esgoto produzido à bordo e de resíduos sólidos resultantes dos restos de alimentos da cozinha do navio. O biogás é formado pela mistura gasosa composta principalmente de gás metano (CH4) e dióxido de carbono (CO2) e foi descoberto em 1667 por Shirley. A mistura ocorre em qualquer lugar submerso em que o oxigênio não consiga transpassar, como em aterros sanitários, usinas de biogás, intestinos de animais ou em pântanos. Um século mais tarde, Alessandro Volta, descobriu a presença de metano no gás produzido em pântanos. Já no século XIX, Ulysse Gayon, aluno de Louis Pasteur, efetuou a fermentação anaeróbica de uma mistura de estrume e água, a 35°C, alcançando 100 litros de gás por m³ de matéria. Em 1884, Louis Pasteur percebeu que a fermentação podia estabelecer uma fonte de energia para iluminação pública e aquecimento, devido ao aparecimento do metano, o que foi feito pela primeira vez em 1857, na Índia.

No momento presente, esse processo vem se desenvolvendo como forma de tratamento de resíduos em muitos países. Com a crise do petróleo vários países procuraram formas alternativas e com isso a recuperação de energia gerada pelos processos anaeróbicos teve grande força. Todavia, como relata NOGUEIRA(1986), as soluções para os problemas de desenvolvimento devem ser apropriadas às necessidades, às capacidades e recursos humanos, aos recursos financeiros e à cultura. Dessa maneira, este artigo tem por objetivo de avaliar a viabilidade da implantação de um sistema de produção de biogás a bordo de navio de passageiros, tomando como modelo o Oasis of the Seas, além de utilizar-se da realização de um experimento onde é simulado um biodigestor de modo a descrever o processo de forma mais efetiva. A matéria orgânica utilizada, por questões de conveniência, foi esterco bovino, uma vez que trata-se do mesmo processo empregado para dejetos humanos, havendo diferença apenas na quantidade de gás produzido.

A princípio, a expressão biogás era associada a uma variedade de nomes, tais como: gás de aterro, gás dos pântanos, gás da fermentação, gás de digestor, entre outros. Hoje, a expressão é definida como o gás gerado a partir da degradação anaeróbia da matéria orgânica.

Na Inglaterra, em 1895, uma estação de tratamento de efluentes municipal relatou pela primeira vez, em documento, a coleta de biogás através de um processo de digestão anaeróbia. Porém, o primeiro estudo com uso de estrume e outros materiais para proveito de uma

pequena planta foi realizado na Índia, em 1941. A partir daí, o processo anaeróbio progrediu e estendeu-se aos tratamentos de resíduos agrícolas, industriais e municipais (Ross et al, 1996).

Mais tarde o homem passou a desenvolver e fazer uso do processo fermentativo para tratamento de esgoto doméstico na intenção de destruir a matéria orgânica, nesse processo, o gás produzido era designado para a iluminação.

Posteriormente, na Índia e na China, no início do século XX, deu-se início ao desenvolvimento de digestores para produção de gás metano a partir de esterco de animais, principalmente, bovinos.

A digestão anaeróbia só passou a ser pesquisada com caráter especificamente científico a partir de 1960, como consequência, houveram grandes progressos relacionados ao entendimento dos princípios do processo e também de projetos de digestores e equipamentos auxiliares.

De acordo com CHAMBERS E POTTER (2002), o uso da digestão anaeróbia na América do Norte está presente, predominantemente, na estabilização do lodo do esgoto urbano e no tratamento anaeróbio de efluentes industriais e agropecuários. Ao longo do processo da digestão anaeróbia, a energia química existente na composição orgânica é amplamente conservada, principalmente, como metano.

É complexo definir a composição do biogás, tendo em vista que a composição do mesmo depende do material orgânico utilizado e do tipo de tratamento anaeróbio que sofre. Apesar disso, em linhas gerais, o biogás é uma mistura gasosa composta principalmente por:

Metano (CH_4):50 – 70% do volume de gás produzido.

Dióxido de carbono (gás carbônico, CO_2): 25 – 50% do volume de gás produzido.

E traços de outros gases:

Hidrogênio (H_2): 0 – 1% do volume

Gás sulfídrico (H_2S): 0 – 3% do volume

Oxigênio (O_2): 0 – 2% do volume

Amoníaco (NH3): 0 – 1% do volume

Nitrogênio (N2): 0 – 7% do volume

2. MATERIAIS E MÉTODOS.

O biogás é produzido quando um aglomerado bacteriano, presente na matéria orgânica e composto por várias espécies de microrganismos, é colocado em contato com a glicerina bruta em equipamentos biodigestores. O biogás gerado é o metano, que pode ser utilizado como combustível para a produção de energia elétrica. A partir de bactérias existentes nos dejetos, o processo de biodigestão faz com que a biomassa seja fermentada, em diferentes etapas, para a obtenção do biogás.

A reação química ocorre na ausência do oxigênio, uma vez que as bactérias empregadas são anaeróbias. As bactérias metanogênicas irão ter na glicerina sua fonte de carbono e através de processos metabólicos produzirão metano.

A população dentro de um biodigestor se organiza como uma comunidade de organismos convivendo em mútua interdependência. Do mesmo modo que ocorre no estômago de um ruminante. Por consequência, a alimentação deste sistema biológico pode se basear nos conhecimentos sobre a alimentação de ruminantes.

Sequência ocorrida na decomposição de substratos e formação do biogás:

Quebra de polímeros através da atuação de enzimas produzidas por bactérias fermentativas em complexos em produtos solúveis como: ácidos graxos de cadeia curta, hidrogênio e dióxido de carbono.

Devido a ausência de oxigênio, populações associadas de bactérias anaeróbicas obrigatórias são formadas e os ácidos graxos de cadeia mais longa que a do ácido acético são metabolizados em acetato pelas bactérias acetogênicas, produtoras obrigatórias de hidrogênio. Os principais produtos encontrados após essa etapa são o hidrogênio, o dióxido de carbono e o acetato.

Conversão do hidrogênio e do dióxido de carbono em acetato, pelas bactérias acetogênicas ou conversão do hidrogênio em metano e dióxido de carbono pelas

metanogênicas oxidadoras. O acetato, por sua vez, pode ser convertido em metano pelas bactérias metanogênicas aceticlásticas.

A fase metanogênica, é responsável pela transformação dos produtos metabólicos da fase acidogênica (metanol, ácido fórmico, hidrogênio, ácido acético) e da fase acetogênica (ácido acético, hidrogênio), em metano e dióxido de carbono. Como ambas as substâncias são voláteis, evaporam do sistema e assim não podem causar inibição do processo devido a sua acumulação. Percebe-se que enquanto houver alimentação não ocorrerá inibição no processo de biodigestão

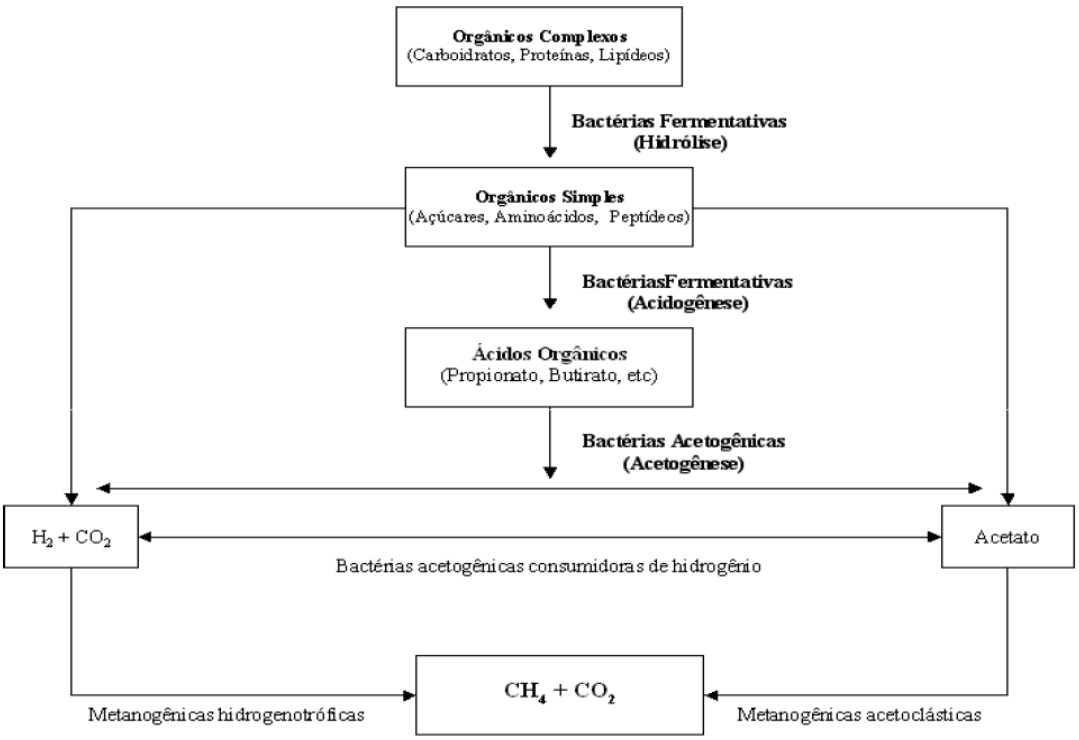


Figura 1 – Representação esquemática do processo anaeróbio (Fonte: TORRES, A.)

Para estabilidade do processo os grupos envolvidos de bactérias devem estar em equilíbrio e com condições ambientais adequadas. Uma perturbação como a inibição da hidrolise e acidificação leva à escassez de substrato para as bactérias acetogênicas e metanogênicas. Uma perturbação da fase acetogênica causa a acumulação de ácidos orgânicos, fazendo o pH baixar e resultando em um efeito negativo na atividade das bactérias metanogênicas, que, por sua vez, traz como conseqüência o aumento da pressão parcial de hidrogênio e o enriquecimento do substrato com acetato, o que impossibilita o metabolismo das bactérias acetogênicas.

Para a produção de metano é necessário manter condições adequadas de nutrição para o bom funcionamento do metabolismo das bactérias anaeróbias presentes no estrume. Suas principais exigências metabólicas são: carbono, como fonte de energia; compostos nitrogenados, que fornecem o nitrogênio e sais minerais, como o fosfato e o potássio, temperatura entre 20 e 45 ºC, e um pH próximo de neutro. O material a ser fermentado deve possuir em torno de 90 a 95 % de umidade em relação ao peso. Excesso ou ausência de água é prejudicial. O teor da água varia de acordo com as matérias-primas destinadas à fermentação. Esterco de bovino (que possui em média 84% de umidade) precisa ser diluído em 100% de seu peso em água.

MATERIAIS

Serão feitos dois experimentos, um usando a glicerina líquida, pura com pureza de 99% e o outro a residual, como fonte de carbono. Será empregada uma porcentagem de 20% em massa.

Uréia como fonte de nitrogênio. A concentração empregada é de 3,5 g/L.

Fosfato de potássio monobásico e fosfato de potássio dibásico, como fonte de fosfato. São importantes no experimento também, por serem tamponantes e assim regulam o pH. Sua concentrações são 10 g/L de fosfato monobásico e 2 g/L de fosfato dibásico.

O esterco bovino, além de ser fonte de vários nutrientes, fornecerá o inoculo para produção de metano. Uma porcentagem de 20% em massa é usada.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O experimento realizado foi para 400mL de mistura reacional (400g)

1. Pesou-se 1,4g de uréia, 0,8g de fosfato de potássio dibásico e 4g de fosfato de potássio monobásico. Teve-se muito cuidado ao pesar a uréia, pois se colocado mais que o necessário de uréia, ela inibe o crescimento dos microrganismos.

2. A glicerina pura e a residual e o estrume foram pesados em balança semi-analítica. Foi pesado 80g de cada, já que cada um devia representar 20% do peso.

3. Para o experimento com a glicerina pura, todos os materiais exceto o esterco foram dissolvidos em 280 mL de água destilada, e para o experimento com a glicerina residual eles foram dissolvidos em 240 mL de água destilada. Durante a dissolução teve-se o cuidado de mexer bem, pois a glicerina é antisséptica, se não dissolvida direito, mataria as bactérias.

4. Transferiu-se o estrume para um erlenmeyer de 500mL, dissolvendo-o, aos poucos, em cerca de 40mL de água para o experimento com a glicerina pura e em 80mL para o experimento com a glicerina residual.

5. Transferiu-se a primeira solução para o erlenmeyer contendo estrume.

6. Em seguida, encaixou-se uma rolha que estava conectada a uma mangueira, onde havia acoplado à outra extremidade uma bolsa de borracha, para recolhimento do gás liberado.

7. Utilizando uma fita isolante os pontos de conexão foram vedados para evitar saída do gás.

8. Oerlenmeyer foi colocado em banho-maria, à temperatura de cerca de 35ºC.

9. Após 2 dias voltou-se ao laboratório para análise da evolução do processo. Porém nenhum gás havia sido produzido. Repetiu-se o experimento mais uma vez, seguindo as mesmas quantidades, e mais uma vez o experimento não funcionou. Por fim, fez-se o experimento para uma mistura reacional de 10 L que funcionou perfeitamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos 10 kg de esterco bovino, conseguiu-se obter 15 Kg de metano que é o principal componente do biogás. O medidor da figura 2 marcou a presença de 60 % de metano na mistura.



Figura 2: Analisador de gás

Foram realizados 3 experimentos no total, onde 2 falharam, porque existem alguns fatores que podem prejudicar o processo, como o envelhecimento do estrume e principalmente a presença de enxofre e BrS que formam H2S que inibe a atuação das bactérias metanogênicas acetotroficas que utilizam o acetato para produzir o metano, assim como as metanogênicas hidrogênotróficas utilizam o CO2 com H2 para a formação do metano.

O metano é um gás incolor, inodoro e quando entra em contato com o ar se torna altamente explosivo, queimando com chama azul lilás, sem deixar fuligem e com um mínimo de poluição.

Na figura 3 observa-se um recipiente de 20 litros contendo os 10 kg de esterco usado e produzindo o biogás.



Figura 3: Protótipo de biodigestor

3. PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DO ESGOTO E DO RESTO DE ALIMENTOS DA COZINHA DO NAVIO.

Como foi dito anteriormente uma das alternativas utilizadas para o tratamento de resíduos é o processo de biodigestão anaeróbica que consiste em reduzir o potencial de contaminação, produzir biogás e permitir o uso dos dejetos como biofertilizante (GASPAR, 2003; BURANI et al, 2005; COSTA, 2006).

Para adequação da produção de biogás às instalações de bordo propõe-se a adaptação e utilização do tanque séptico do navio como biodigestor, um recipiente fechado no qual a biomassa é fermentada anaerobicamente. Como ilustrado na figura a seguir:

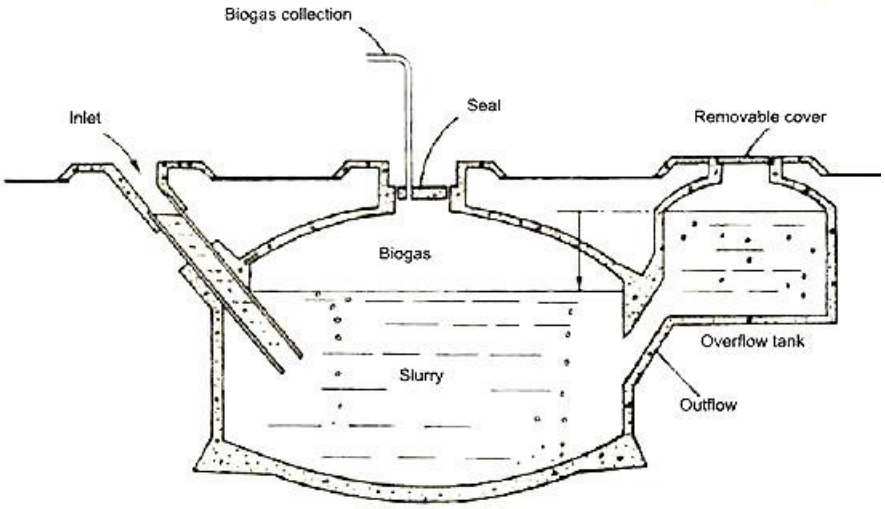


Figura 4: Representação de um biodigestor (imagem domínio público)

O uso do biogás resultante do esgoto e dejetos sanitários como insumo para produção de energia ou para a substituição do combustível utilizados na caldeira representa grande beneficio socioambiental, visto que vai diminuir consideravelmente a emissão de poluentes, como o metano, gás de grande impacto no efeito estufa e que, em media, corresponde a 50% do volume do biogás.

4. QUANTIDADE DE ESGOTO PRODUZIDO.

Para estimar a quantidade de esgoto produzido a bordo foi utilizado o valor de referência adotado pelas concessionárias de águas e esgotos do Brasil, de produção de 0,18 m3 de esgoto produzido por dia por pessoa. Dessa forma, sendo 5 450 passageiros, a estimativa é que sejam produzidos 981 m^3 de esgoto diariamente a bordo do navio de cruzeiros Oasis of the Seas.

Usando a relação de conversibilidade proposta por COELHO et al (2006), de 0,07361 m^3 de biogás a cada m^3 de esgoto tratado, o equivalente em oferta desses 981 m^3 é de 72,21 m^3 de biogás.

Significa dizer, também, que 76 pessoas produzem esgoto suficiente para gerar 1m^3 de biogás por dia.

5. QUANTIDADE DE LIXO ORGÂNICO PRODUZIDO.

Um Estudo sobre o desperdício de alimentos realizado pela EMBRAPA aponta que cerca de 35% de todas as hortaliças produzidas pelo Brasil são perdidas (EMBRAPA, 2007:13-14).

Tomando esses valores como referência, supondo um aproveitamento de 65% na produção de legumes, frutas e vegetais e 85 % para os demais alimentos, para que em cada refeição no Rio de Janeiro se consumam os 250,2 g de frutas, legumes e verduras, é necessário produzir 385 g desses alimentos. Já para os demais tipos, que representam 346,9 g por refeição, é necessário que se produza 408,13 g.

Estima-se também que o desperdício de alimentos nos restaurantes fique em 15% e nas cozinhas residenciais em 20% (EMBRAPA, 2007:9).

Multiplicando-se a quantidade de alimento desperdiçada por refeição pelo percentual de desperdício que acontece nos restaurantes (10%), obtém-se que são desperdiçados 13,47 g de frutas, legumes e verduras por refeição dentro da cozinha industrial. Para os demais alimentos, esse valor é de 6,12 g.

Multiplicando esses 19,6 g de alimento desperdiçado a cada refeição pelas 16350 refeições diárias produzidas pela cozinha (3 refeições para 5450 pessoas), conclui-se que a cozinha joga fora, todos os dias, 320,46 kg de alimento.

Segundo VIJAYARAGHAVAN, SHARIFF & MOHD (2003), o lixo orgânico em grandes cidades é composto de 30% de sólidos (os outros 70% são água). Desses, 70% são voláteis, ou seja, podem ser usados diretamente para a produção de biogás, sendo o restante sais minerais não-utilizáveis para a produção de gás (VIJAYARAGHAVAN, SHARIFF & MOHD, 2003:1). Os autores afirmam também que assumindo uma eficiência do biodigestor em 50%, produz-se 0,72 m³ por kg de sólidos voláteis consumidos (VIJAYARAGHAVAN, SHARIFF & MOHD, 2003:1). Embora a produção de biogás dependa do tipo de resíduo utilizado, pelas as referências bibliográficas citadas. pode-se concluir que para produzir 1 m³ de biogás é necessário consumir cerca de 13,23 kg de lixo orgânico.

Convertendo os valores obtidos para seus equivalentes em biogás, são produzidos cerca de 24 m³ de biogás pelo lixo orgânico proveniente da cozinha.

6. EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA DO BIOGÁS EM RELAÇÃO A OUTROS ENERGÉTICOS.

A equivalência energética do biogás em relação a outros energéticos é determinada levando em conta o poder calorífico e a eficiência média de combustão. A Tabela 1, abaixo, mostra a relação entre biogás e outros energéticos, em termos de equivalência energética, segundo três fontes consultadas.

ENERGÉTICO	NOGUEIRA (1986)	MOTTA (1986)	FERRAZ & MARRIEL (1980)
Gasolina (L)	0,61	0,70	0,61
Querosene (L)	0,62	-	0,58
Óleo Diesel (L)	0,55	-	0,55
GLP (kg)	1,43	0,40	0,45
Álcool (L)	0,80	-	-
Carvão Mineral (kg)	0,74	-	-
Lenha (kg)	3,50	-	-
Eletricidade (kWh)	-	1,25	1,43

Tabela 1: Equivalência energética entre um m³ de biogás e outros energéticos

Com base nesses dados pode-se estimar uma economia de 53 L/dia de óleo diesel a partir da produção diária de 96 m³ de biogás.

7. CONCLUSÃO.

As estimativas do potencial brasileiro de produção de biogás produzido a partir de resíduos e esgoto em navios de passageiros mostram a importância relativa que o biogás poderia ocupar na matriz energética de bordo. Os dados indicam também grande competitividade com vários energéticos, particularmente os de origem fóssil, cujas importações têm um peso relativo considerável na balança comercial.

Lembrando-se, ainda, que a queima de combustíveis fósseis provoca graves impactos ao meio ambiente e que o tratamento do lixo e esgoto reduz sua carga orgânica poluente e produz um energético competitivo com esses combustíveis, conclui-se que se trata de uma alternativa economicamente viável e duplamente benéfica ao meio ambiente.

8. REFERÊNCIAS.

ALVES, J. W. S., LUCON, O. S. Geração de Energia Elétrica com Gás de Lixo. Ambiente Técnico, CETESB/ASEC, v.1., n.2, p.1-3, 2001.

AMARAL, F. L. M. Biodigestão Anaeróbia dos Resíduos Sólidos Urbanos: Um Panorama Tecnológico Atual. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT: São Paulo, 2004.

TORRES, A.; PEDROSA, J. F. Fundamentos de Implantação de Biodigestores em propriedades Rurais, 2012.

BARRERA, Paulo. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. São Paulo: Ícone, 1993.

BIOMASS ENERGY INSTITUTE. Biogás production from animal manure. Manitoba, 1978.

COELHO, S. T., VELÁZQUEZ, S. M. S. G., PECORA, V., ABREU, F. C. Geração de Energia Elétrica A Partir Do Biogás Proveniente Do Tratamento De Esgoto. XI Congresso Brasileiro de Energia (CBE), 2006.

COSTA, D. F. Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás do Tratamento de Esgoto. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2006.

EMBRAPA. O Papel dos Bancos de Alimentos na Redução do Desperdício de Alimentos. Disponível em ww.ctaa.embrapa.br. Estudo Técnico, 2007.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Nutrition Country Profiles – Brazil. Disponível em www.fao.org. Roma, 2000.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas, 1999.

LACERDA, D. P., SILVA, E. R. P., NAVARRO, L. L. L., OLIVEIRA, N. N. P., CAULLIRAUX, H. M. Algumas caracterizações dos aspectos metodológicos na área de Operações: Uma análise a partir de periódicos nacionais e internacionais. Anais do ENANPAD 2007. Rio de Janeiro, 2007a.

LUCAS JÚNIOR, J. Estudo comparativo de biodigestores modelos indiano e chinês. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1987.

MANZINI, E. Sustainability: Systemic Change and Social Learning Process. INDACO, Politecnico de Milano, 2007.

VIJAYARAGHAVAN, K., SHARIFF, A. R. M., MOHD, A. M. M. S. Conversão do lixo urbano em energia por meio da digestão anaeróbia. Revista Agricultura Urbana, n. 10, 2003.

MOTTA, F. S. Produza sua Energia - Biodigestores Anaeróbios. Editora S.A, Recife (PE). 144p, 1986.

NOGUEIRA, L. A. H. Biodigestão a Alternativa Energética. Editora Nobel, São Paulo. 93p, 1986.

11. OIL & GAS/OFFSHORE

DISEÑO/ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UNA PLATAFORMA SEMISUMERGIBLE DE PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS PARA AGUAS PROFUNDAS EN EL GOLFO DE MÉXICO

Salazar Pascual, N.A.[1]

[1]Universidad Veracruzana.Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana Calz. A. Ruiz Cortines # 455, Fracc. Costa Verde, C. P. 94294, Boca del Río, Veracruz, México.
nicksalazarnaval@hotmail.com

RESUMEN.

*El presente documento tiene como objetivo describir la metodología para efectuar el diseño y análisis estructural preliminar de una plataforma semisumergible de producción de hidrocarburos para operar en el Golfo de México. El proyecto fue direccionado hacia el diseño y análisis del casco de flotación, iniciando con la determinación de los parámetros del sitio de operación de la plataforma: ubicación de operación, tirante de agua, capacidad de producción, y parámetros de oleaje (**datos hipotéticos)**, y la determinación del grupo de documentos normativos a utilizar, posteriormente se efectuó una comparación (regresión lineal) con plataformas similares que están operando en el Golfo de México y condiciones afines de sitio para definir sus dimensiones principales, creando la geometría del sistema flotante, ésta geometría se modeló en software de elemento finito con aplicación naval, se consideró los pesos de las instalaciones sobre su cubierta (topsides), risers y sistemas de amarre, esto con la finalidad de ser considerado como una carga aplicada al sistema. Consecutivamente se realizó el análisis estructural del sistema en modalidad desacoplado durante su fase de operación en sitio, aplicando las cargas correspondientes para este análisis preliminar. Éste análisis estructural preliminar se efectúo utilizando el método de elemento finito atreves de software, obteniendo los esfuerzos Von Mises de la interacción del fluido (oleaje) de las secciones críticas de la estructura de la plataforma: unión pontón-columna y pontón, una revisión de los esfuerzos últimos de los elementos estructurales se llevó acabo de acuerdo a los parámetros permitidos del estándar "Offshore Standard DNV-OS-C101, July 2014 (Ch.2 Sec.1 Design principles – Page 17)". Los resultados obtenidos de esfuerzos (localizándose el máximo en la unión pontón-columna de 224.61 MPa) tienen*

magnitudes por debajo de los esfuerzos permisibles de fluencia (valor de 308.70 MPa), por lo anterior se concluye que las secciones críticas de la estructura de la plataforma cumplen con el estándar DNV-OS-C101.

1. INTRODUCCIÓN.

La idea de este trabajo surge por el interés nacional en el desarrollo energético de México y la generación de hidrocarburos con especial atención en aguas profundas del Golfo de México, así mismo dar un enfoque de la Ingeniería Naval hacia la industria costa afuera. Los cambios que se están generando por la reforma energética del Gobierno de México, crearán una demanda de técnicos altamente especializados; por otro lado la Secretaría de Energía desde el 2012 se encuentra desarrollando la fase exploratoria de las cuencas del Golfo de México, en donde se ha estimado un recurso prospectivo de 29.5 mil millones de barriles de crudo equivalente, que representa casi el 60% del total del país.

Las plataformas semisumergibles son unidades flotantes utilizadas en la industria del petróleo para proporcionar apoyo a las actividades de producción en aguas profundas, están compuestas de una estructura con una o varias cubiertas, apoyada en flotadores sumergidos. Una unidad flotante sufre movimientos debido a la acción de las olas, corrientes y vientos, lo que puede damnificar los equipos de producción, risers y líneas de exportación de crudo. Por ello, es imprescindible que la estructura de la plataforma soporte estas cargas de una forma adecuada y segura.

2. OBJETIVOS.

1. Efectuar una comparación con plataformas similares para definir la geometría básica del sistema flotante.
2. Describir los criterios y la metodología para elaborar el análisis y diseño estructural preliminar de una plataforma tipo semisumergible de producción de hidrocarburos para operar en aguas profundas del Golfo de México.

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

Metodología utilizada para el diseño y análisis estructural preliminar de la plataforma semisumergible.

La metodología general que se utilizó para este proyecto se muestra en la siguiente figura:

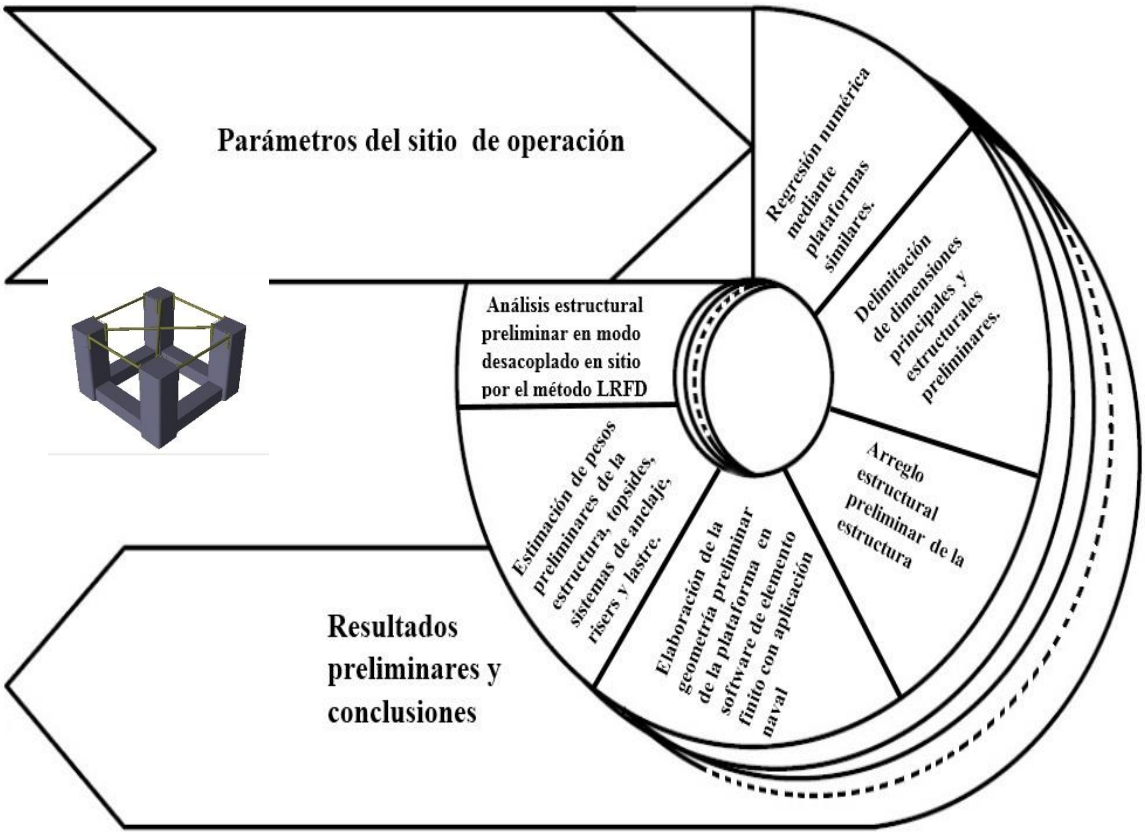


Figura 1. Metodología utilizada para el diseño y análisis estructural preliminar de la plataforma semisumergible.

Parámetros del sitio, producción y estándares normativos

En la Tabla 1 se muestran los parámetros principales del sitio los cuales son datos hipotéticos, también conocidos como requerimientos del armador para el análisis estructural preliminar.

Tabla 1. Parámetros del sitio

Parámetro	Cantidad	Unidad
Localización		Golfo de México
Tirante de agua	1500	metros
Producción de aceite	115	MBOPD

Para este análisis y diseño estructural preliminar se utilizó el estándar costa afuera DNV-OS-C101, July 2014 "*Design of Offshore Steel Structures, General (LRFD Method)*" de la casa clasificadora DNV.

Regresión lineal con plataformas similares|

Se efectuó una examinación de plataformas similares que se encuentran operando en el Golfo de México y condiciones afines de sitio. En la siguiente tabla se muestra la base de datos de plataformas similares:

Tabla 2. Base de datos de plataformas semisumergibles

PLATAFORMAS SEMISUMERGIBLES QUE SE ENCUENTRAN EN EL GOLFO DE MÉXICO

Nombre	INDEPENDENCE HUB	ATLANTIS	JACK/ST. MALO	BLIND FAITH	NA KIKA	THUNDER HORSE	THUNDER HAWK	Delta House FPS
Tirante de agua (m)	2,415	2,156	2,134	1,980	1,933	1,849	1,845	1,379
Tirante de agua (ft)	7,920	7,072	7000	6,494	6,340	6,065	6,050	4,524
Reservas (MMBOE)	2.5 TCF	635		110	300	1,500	75	
Producción (MBOPD)	167	200	170	60	110	250	60	100
Total de pozos	16	22	7	5	12	25	4	4
Clasificado por	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS
Eslora (m)	70.7136	128.592			81.2	163.552	70.528	70.528
Manga (m)	70.7136	118.56			56.0832	125.552	70.528	70.528
Puntal (m)	48.768	89.376			142.0368	110.0328	51.68	51.68
Calado máximo de operación (m)	32.004	25.908	25.5		27.432	30.1752	32.004	32.004
Desplazamiento (t)	46160	89000	56000	40000	64000	130000	42000	42000
Peso en rosca (m)		43734						
Peso muerto (t)	19300	35500				120000	13800	13800
Número de pontones	4	4		4	4		4	4
Eslora del pontón ppal (m)	42.9768	89.6112		66.4464		109.728	42.672	42.672
Manga pontón ppal (m)	11.5824	19.812		13.4112	12.4968		11.5824	11.5824
Puntal Pontón Ppal (m)	7.9248	10.0584		6.7056	10.668		7.9248	7.9248
Número de columnas	4	4		4	4	4	4	4
Eslora columna (m)	14.0208	19.812			17.0688		14.0208	14.0208
Ancho columna (m)	14.0208	19.812		6.7056	17.0688		14.0208	14.0208
Puntal columna (m)	40.8432	33.2232		45.72	43.2816		43.8912	43.8912
Dimensiones de cubierta (ft)	140x220x36	43000ft^2			335x289		140x180'	140x180'
Número de risers	17	6+8		5	26	18	11	20
Número de lineas de amarre	12	12		8	16	16	12	12
Primer año de produción	2007	2007	2014	2008	2003	2008	2009	2015

Fuente: *2011 Worldwide Survey of Semi-FPSs and FPUs Offshore magazine*

Delimitación de dimensiones principales y estructurales preliminares de acuerdo a plataformas similares.

Las dimensiones principales preliminares de la geometría de la plataforma semisumergible se obtuvieron a través de regresiones lineales con respecto a la base de datos mostrada en la Tabla 2. Las dimensiones principales de la plataforma se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Dimensiones principales de la plataforma semisumergible

Parámetro	Cantidad	Unidad
Eslora	81.2	m
Manga	81.2	m
Puntal	63.96	m
Numero de pontones	4	m
Eslora del pontón	46.8	m
Manga del pontón	12.4	m
Puntal del pontón	10.54	m
Número de columnas	4	m
Eslora de la columna	17.2	m
Manga de la columna	17.2	m
Puntal de la columna	53.96	m
Dimensiones del topside	70x70x10	m
Air gap en aguas tranquilas	33.96	m

Arreglo estructural preliminar de la plataform

El material para la estructura preliminar del casco de flotación de la plataforma fue seleccionado con base en los criterios establecidos en el estándar DNV-OS-C101 "Design of Offshore Steel Structures, General (LRFD Method), así delimitamos el material utilizado para la estructura de la plataforma semisumergible y el cual es un acero de alta resistencia, un acero A36 (NV-36), el cual tiene un punto de fluencia en 355 Mpa.

Las propiedades del material que se utilizaron como datos de entrada en el software se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Propiedades del material NVA36

Propiedad	Cantidad	Unidad
Punto de fluencia	355	MPa
Densidad	7850	K_g/m^3
Módulo de Young	1.9994796E+05	MPa
Coeficiente de Poisson	0.3	

Cálculo de espesor mínimo de placa

El espesor de las placas generales que se utilizó en la unidad semisumergible, fue determinado por la fórmula del estándar DNV-OS-C101, July 2014, Ch.2 Sec.4 Ultimate limit states – Page 39, ver Fórmula 1.

$$t = \frac{14.3\, t_0}{\sqrt{f_{yd}}}\ (mm) \qquad (1)$$

Donde:

f_{yd} = Esfuerzo de cedencia de diseño f_y/y_M, f_y es el mínimo esfuerzo de cedencia (N/mm2)

t_0= 7 mm para elementos estructurales primarios, o 5 mm para elementos estructurales primarios

y_M= Factor de material para el acero, para nuestro caso y_M es igual a 1.15

En base a esta fórmula y al límite de fluencia del material obtuvimos como parámetro delimitante un espesor mínimo de placas para la estructura en general de **5.697 mm**, los espesores preliminares fueron ajustados con respecto a plataformas similares. Para este análisis preliminar el espesor calculado fue para una estructura primaria, este parámetro fue considerado para toda la estructura.

La definición de las dimensiones y del escantillonado (ver Tabla 5) para el arreglo estructural preliminar de la plataforma semisumergible se llevó a cabo mediante la comparación de plataformas similares existentes.

Tabla 5. Características de elementos estructurales en el modelo de elemento finito

Elementos principales de los pontones		
Nombre de elemento	Características	Tipo de elemento
Placa del forro exterior	16 mm a 29 mm (espesor)	Elemento placa
Placa de mamparos	19 mm (espesor)	Elemento placa
Placa de cuadernas	20 mm (espesor)	Elemento placa
Refuerzos longitudinales	0.3x0.09x0.011x0.016 (m)	Elemento viga
Refuerzos transversales	0.25x0.09x0.012x0.016 (m)	Elemento viga
Atiesadores	0.35x0.1x0.012x0.017 (m)	Elemento viga
Elementos principales de las columnas		
Nombre de elemento	Características	Tipo de elemento
Placa del forro exterior	16 mm a 29 mm	Elemento placa
Placa de mamparos	23 mm	Elemento placa
Placa de cuadernas	19 mm	Elemento placa
Refuerzos longitudinales	0.75x0.013x0.3x0.026x0.15 (m)	Elemento viga
Refuerzos transversales	0.25x0.09x0.012x0.016 (m)	Elemento viga
Atiesadores	0.35x0.1x0.012x0.017 (m)	Elemento viga

Elaboración de la geometría preliminar de la plataforma en software de elemento finito con aplicación naval.

La geometría preliminar de la plataforma semisumergible se realizó en software de elemento finito con aplicación naval obteniendo el modelo preliminar como se muestra en las siguientes figuras:

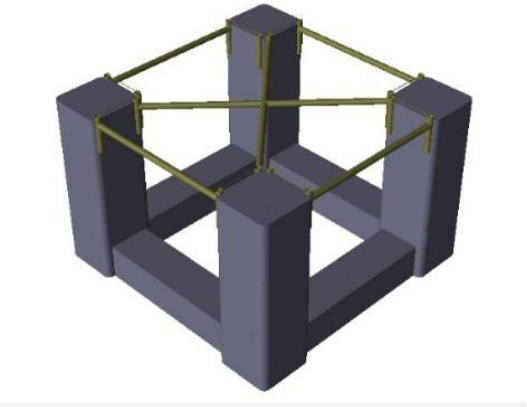


Figura 2. Perspectiva isométrica.

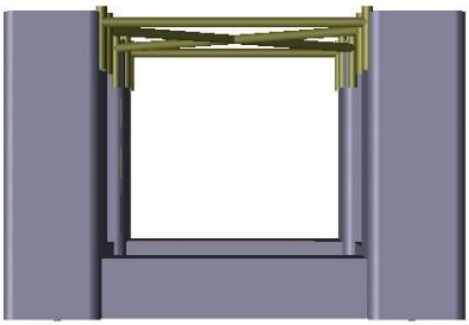


Figura 3. Vista de perfil.

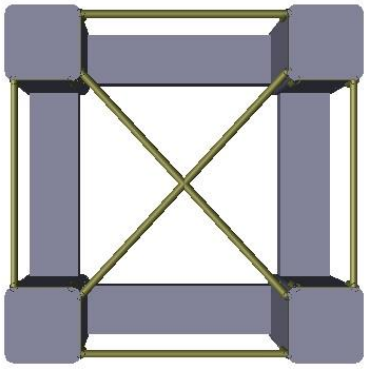


Figura 4. Vista de planta.

Estimación de pesos preliminares de la estructura, topsides, sistemas de anclaje, risers y lastre.

La estimación del peso preliminar de la estructura costa fuera se determinó realizando la geometría de todos los elementos principales estructurales (cuadernas, mamparos, refuerzos longitudinales y transversales, atiesadores y el forro del casco), en tres dimensiones, obteniendo los siguientes datos ver Figura 5.

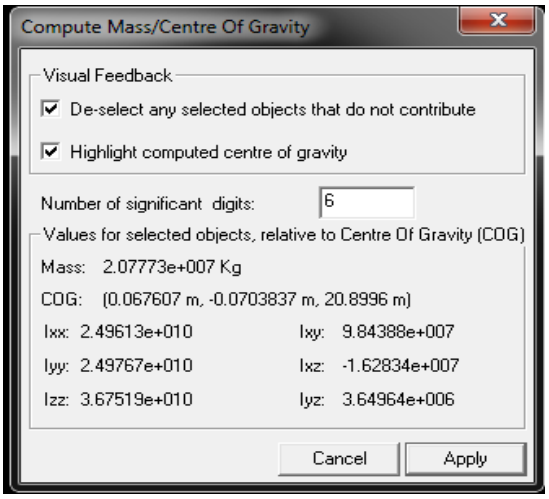


Figura 5. Peso de la estructura.

Equipos e instalaciones sobre cubierta (topsides).

Es importante mencionar que la plataforma ostentada en este trabajo está enfocada en el estudio y diseño estructural preliminar, por lo tanto las cargas variables y fijas están compuesta por módulos de procesamiento, exportación e importación de hidrocarburos, módulos de generación de energía, sistemas auxiliares, helipuerto y módulo de alojamiento las cuales sólo serán consideradas y evaluadas como una sola carga con un centro de gravedad especifico, así mismo el topside que definimos es de doble nivel de cubierta con medidas de 70 m de eslora, 70 m de manga y 10 metros de altura, todos estos datos fueron obtenidos basándonos en plataformas similares. Para crear el modelo preliminar del topside se consideraron los pesos de los siguientes elementos:

- Estructura del topside.
- Equipo de amarre.
- Módulo de alojamiento.
- Módulo de generación de energía.
- Quemador.
- Módulos de procesamiento.
- 2 grúas.
- Helipuerto.



Figura 6. Modelo representativo de las cargas del topside.

Los pesos del topside tomados en cuenta para el análisis estructural preliminar son aproximados, los cuales son mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6. Pesos preliminares (aprox.) del topside

Elemento	Peso (t)
Estructura del topside y habitacional	591.5
Equipo de amarre	798.3
Quemador	40.0
Módulos de generación de energía	3344.8
Misceláneos (norte y sur)	162.4
Módulos de proceso	5028.6
Módulo receptor este	1746.3
Módulo receptor oeste	2494.8
Grúas (Este y oeste)	60.0
Helipuerto	39.0
Total	14305.7

Estimación de pesos de risers y líneas de anclaje.

Es importante mencionar que las líneas de amarre y risers sólo fueron considerados como un peso sobre la estructura para el análisis estructural preliminar en fase desacoplado que se llevó acabo, estos pesos fueron definidos en comparación con plataformas similares (ver Tabla 7).

El sistema de anclaje y risers de la plataforma se consideró compuesto por 4 líneas de amarre por cada columna para un total de 16 líneas de amarre. La producción de los pozos se estimó que es enviada a la plataforma a través de 6 risers, y el aceite y gas producidos son exportados por 4 risers dando un total de 10 risers, esta configuración se estableció tomando en cuenta la configuración de plataformas similares que se encuentran operando en el Golfo de México.

Tabla 7. Pesos estimados de risers y líneas de anclaje

Elemento	Peso Unitario	Cantidad	Peso total	Unidad
Líneas de amarre	195	16	3120	t
Risers	210	10	2100	t
		TOTAL =	5220	t

Lastre.

EL contenido de los tanques y por lo tanto la fuerza y el peso que aplica en ellos es variable, dependiendo de la situación de carga en la que se encuentre la plataforma es como se distribuyen sus pesos, para este análisis estructural preliminar el peso del lastre, se fue ajustando hasta alcanzar el calado de operación preliminar que es de 30 m sobre la línea base.

La compartimentación para los mismos fue realizada basándonos en la distribución que tienen en otras plataformas existentes, la distribución de los tanques para el desarrollo del análisis es el que se muestra en la Figura 7.

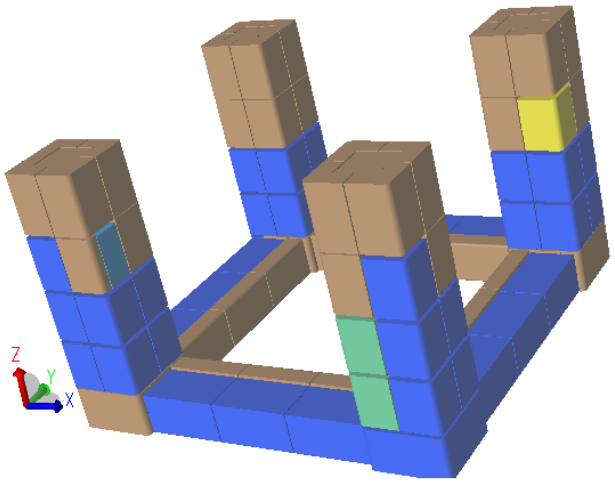


Figura 7. Distribución de tanques de la plataforma semisumergible.

En la Tabla 8 se muestra los pesos de la condición de carga considerada para este análisis estructural preliminar a un calado de 30 m medido desde la línea base de la plataforma semisumergible.

Tabla 8. Peso total de la plataforma

Elemento	***Peso (t)***
Peso en rosca	35083.05
Peso de risers y líneas de anclaje	5220.00
Contenido de tanques	20762.42
Total	61065.47
Desplazamiento requerido	61065.46

Análisis estructural preliminar en modo desacoplado en sitio por el método LRFD.

El análisis estructural preliminar de la plataforma semisumergible se llevó a cabo mediante el método del factor de diseño para carga y resistencia (por sus siglas en ingles LRFD, load and resistance factor design method), para un estado límite último (ULS) el cual corresponde a la resistencia ultima del sustento de cargas; un estado límite es una condición más allá del cual una estructura o una parte de una estructura supera un requisito de diseño especificado.

LRFD es un método para determinar el factor resistencia de seguridad estructural, obtenida aplicando factores de carga y resistencia a los valores característicos de las variables básicas representando a las cargas actuando sobre la estructura y a la resistencia de la estructura o materiales de la estructura. (Offshore Standard DNV-OS-C101, July 2014, Ch.2 Sec.1 Design principles – Page 17).

Estos factores de carga y resistencia son valores deterministas que representan las variaciones en carga y resistencia, y la probabilidad de que varias cargas puedan actuar simultáneamente con sus valores característicos.

El formato de diseño consiste en lo siguiente:

- El nivel de seguridad de un elemento estructural se considera satisfactorio si el efecto de las cargas de diseño (S_d) no excede la resistencia de diseño (R_d):

$$S_d \leq R_d \qquad (2)$$

Así la ecuación $S_d = R_d$ define un estado limite.

Para esto se obtiene S_d, que es el efecto más desfavorable derivado de las cargas de diseño que son obtenidas mediante el uso de ecuaciones, utilizados generalmente para detalles aislados, en nuestro caso se obtuvo mediante el software que utilizamos.

La resistencia de diseño se obtuvo de la siguiente manera:

$$R_d = \phi * R_k \qquad (3)$$

Donde R_k es la resistencia característica y ϕ es el factor de resistencia. El factor de resistencia es relacionado con el factor de material (y_M) a través de la siguiente relación:

$$\phi = 1/y_M \qquad (4)$$

Dónde: y_M es el factor del material y tiene un valor de 1.15 (factor del material para el acero dado en el estándar DNV-OS-C101, July 2014, Ch.2 Sec.4 Ultimate limit states – Page 39).

El valor de la resistencia de diseño (R_d) que obtuvimos se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9. Cálculo de resistencia de diseño

$R_d = \phi * R_k$		
Rk =	355	MPa
ϕ = 1/yM	0.87	
yM =	1.15	
Rd =	**308.7**	**MPa**

R_k se tomó del material seleccionado A36 (NV-36) con un punto de fluencia de 355 MPa.

Por lo tanto el esfuerzo de las cargas de diseño debe ser menor de 308.70 MPa, para que el nivel de seguridad de las estructura se considere satisfactorio.

Mallado

El método de los elementos finitos se basa en crear una malla entre elementos, de donde se obtiene la información de cada punto de unión llamado nodo, entre más nodos tiene el dominio es más precisa la geometría del mismo, pero al ser más preciso, el análisis realizado por medio del software requerirá más recursos y lo único que conllevan es un consumo excesivo de tiempo de cálculo y de espacio de almacenamiento por lo que se requiere un equipo de cómputo de gran capacidad, adicionalmente que no siempre un mallado más denso

produce resultados más reales. Por lo que a la hora que se realizó el análisis se fue simplificando en función del objetivo del mismo. La densidad del mallado para nuestro análisis estructural preliminar se definió una vez estudiada la geometría preliminar y el equipo de cómputo con el cual contamos.

La densidad del mallado para nuestro análisis estructural preliminar lo establecimos de un metro para toda la estructura, en la Figura 8 se muestra el mallado de la estructura de la plataforma semisumergible que obtuvimos en el software de elemento finito que utilizamos.

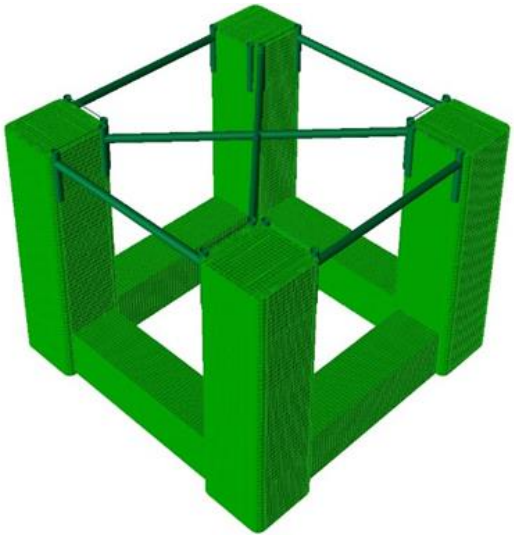


Figura 8. Mallado de la estructura

Cargas para el análisis estructural preliminar en modo desacoplado en sitio por el método LRFD.

La plataforma semisumergible está sometida a diversas cargas de distinto índole. De manera general podemos clasificarlas en tres tipos de cargas: permanentes, variables y ambientales, estas cargas son las que la estructura de la plataforma tendrá que soportar de manera segura, además de estar directamente relacionadas con el peso o desplazamiento de la unidad.

Para la categoría de cargas ambientales para este análisis preliminar sólo se tomaran en cuenta las **cargas de oleaje.**

Cargas Permanente.

Éste tipo de cargas se caracterizan porque mantienen su ubicación, dirección, distribución y peso constante con respecto a la plataforma, para este análisis preliminar fueron consideradas

las cargas como permanentes el peso en rosca de la plataforma semisumergible, así como el peso de los risers y líneas de anclaje, (ver Tabla 6, 7 , 8 y Figura 5).

Cargas Variables.

Las cargas variables también conocidas como "Payload" comprenden todas las cargas que no se encuentran en las cargas permanentes, por ejemplo las cargas por líquidos, sólidos variables, equipos externos, consumibles (alimentos, agua potable, combustibles, herramientas y aceites), entre otros. Se caracterizan por que varían su ubicación, dirección, distribución y/o peso. Estas cargas se tomaron en cuenta junto con el topside.

Las cargas de los tanques también es una carga variable, dependiendo de la situación en la que se encuentre la plataforma es como se distribuyen sus pesos.

Cargas por oleaje (cargas ambientales).

Las cargas ambientales son cargas dependientes del sitio en que se pretende ubicar la unidad y que pueden variar en magnitud, posición y dirección durante el periodo en que se considere.

Las condiciones ambientales conocidas también como condiciones metoceánicas, afectan directamente a la estructura de la plataforma. El fenómeno que se consideró para este análisis preliminar fue sólo **el oleaje,** esto es debido a que sólo es un análisis preliminar y por qué las cargas ejercidas por el oleaje son las de mayor magnitud. Las características del oleaje consideradas para el análisis preliminar con respecto a la zona del Golfo de México son datos hipotéticos los cuales son:

Altura de ola significante (Hs) ----------13.5

Periodo (s) ----------13.5

Ola máxima (m) ----------23.8

Para poder obtener las cargas de diseño S_d, se realizó un análisis de respuesta global para toda la estructura de la plataforma semisumergible, considerando una incidencia de oleaje a 45° porque es la que mayor consecuencia que sufre una plataforma semisumergible y también por ser un análisis preliminar. Además se tomó algunas indicaciones de las recomendación practica DNV-RP-C103, April 2012 Sec.4. Global Response Analysis – Page 19.

4. RESULTADOS.

Se realizó el diseño y análisis estructural preliminar de una plataforma semisumergible para producción de hidrocarburos para aguas profundas en el Golfo de México a través de un modelo de la plataforma semisumergible generada en un pre-procesador de información (software) para la realización de modelos creados por elementos finitos en base a plataformas similares.

Los resultados (efectos de las cargas de diseño S_d para un estado límite último) de la interacción del fluido (oleaje) con la estructura en la unión pontón-columna se muestran en las siguientes figuras:

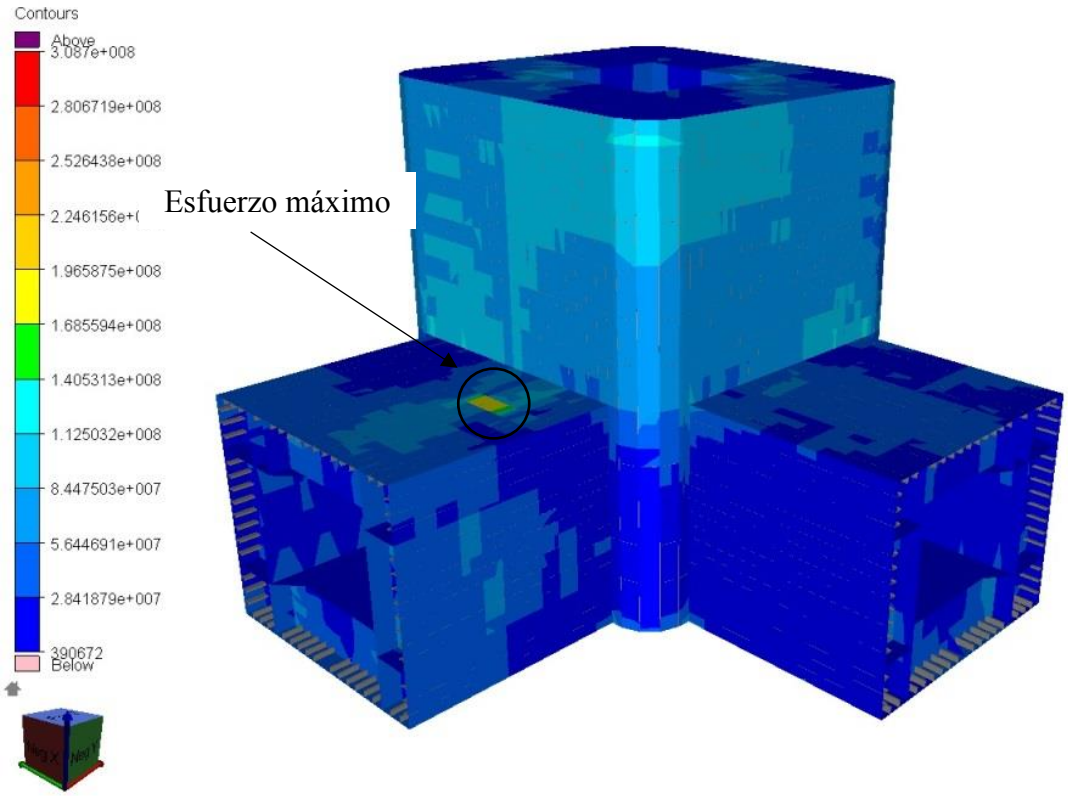


Figura 9. Esfuerzos Von Mises en la unión pontón-columna.

Como se muestra en las imágenes los máximos esfuerzos (S_d) desarrollados en la estructura en la unión pontón-columna de la plataforma semisumergible son de 224.61 MPa y en los pontones un esfuerzo máximo de 197.13 MPa, comparamos estos valores con la resistencia de

diseño (R_d) que es de 308.70 MPa y por lo tanto se cumple con $Sd \leq Rd$ (ver ecuación 2) como lo indica el estándar DNV-OS-C101.

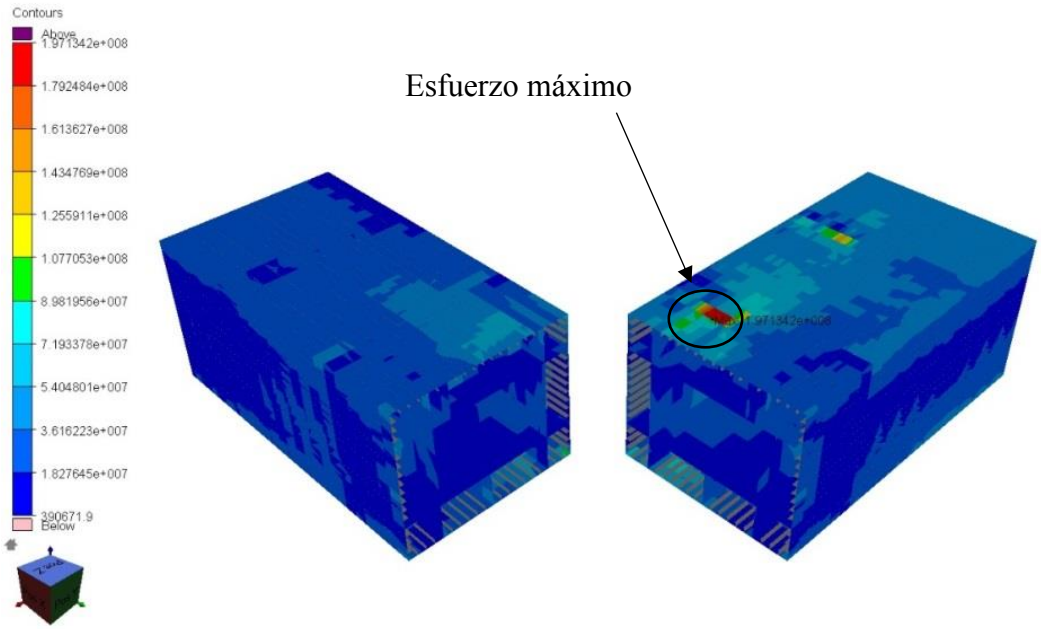


Figura10. Esfuerzos Von Mises en los pontones.

5. CONCLUSIONES.

Se describió la metodología para efectuar el diseño y análisis estructural preliminar de una plataforma semisumergible de producción de hidrocarburos para operar en el Golfo de México.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este análisis estructural preliminar S_d es menor que R_d (S_{dmax}=**224.61 Mpa y** R_d = **308.70 Mpa**), por ende de acuerdo al método LRFD la estructura de la unión pontón-columna y pontones es segura.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Sistemas flotantes para la producción de petróleo en aguas profundas mexicanas, Federico Barranco Cicilia, Doctor en Ingeniería con Especialidad en Estructuras Marinas, 26 de Enero de 2012.
2. DNV, Det Norske Veritas July 2014, DNV-OS-C101, July 2014 "*Design of Offshore Steel Structures, General (LRFD Method)*".

3. DNV, Det Norske Veritas, Recommended Practice DNV-RP-C103, April 2012.
4. Worldwide Survey of Semi-FPSs and FPUs, 2011, Offshore magazine disponible en: http://www.offshore-mag.com/content/dam/etc/medialib/platform-7/offshore/maps and_posters/1101SemiFloatVesselPoster.pdf.
5. www.offshore-technology.com/projects
6. https://rules.dnvgl.com/servicedocuments/dnv

SELEÇÃO DE UM CONCEITO DE PLATAFORMA OFFSHORE PARA ATUAÇÃO NA BACIA DE SANTOS, BASEADA NA FREQUÊNCIA NATURAL DE HEAVE

Neves, Cheyenne [1]; Pontin Tancredi, Thiago [2]
Universidade Federal de Santa Catarina
neves.cheyenne@gmail.com, thiago.tancredi@ufsc.br

RESUMO.

Uma importante etapa de seleção de um conceito de unidade flutuante é o estudo do comportamento da plataforma no mar. A resposta do sistema à passagem de ondas afeta a segurança dos passageiros, dos tripulantes, da carga e da própria unidade. Impacta também no conforto dos tripulantes e passageiros, no sistema de amarração e na integridade dos risers. Sendo assim, este trabalho tem por finalidade realizar análises para movimento de heave em plataformas SPAR, monocoluna, semissubmersível e FPSOs, utilizando formulações empíricas e semi-empíricas acrescidas de simulações computacionais. O objetivo do trabalho é apresentar uma metodologia de seleção para o projeto conceitual de uma unidade flutuante para a produção de petróleo na Bacia de Santos, utilizando como critério de escolha o distanciamento da frequência natural da plataforma em relação à frequência típica do mar encontrado na região considerada.

Palavras-chaves: Seakeeping, SPAR, Monocoluna, Semissubmersível, FPSOs, Bacia de Santos.

1. INTRODUÇÃO.

A descoberta de reservas de petróleo e gás nos mares (*offshore*) teve início no pós-guerra e ganhou destaque após os anos 1970, com a produção americana e a emergente produção do Mar do Norte.

Essas novas regiões produtoras se desenvolveram como uma nova alternativa estratégica para oferta de óleo e gás, tanto para os países consumidores quanto para as empresas de petróleo de países centrais (FINOCCHIO JUNIOR, 2009).

No início dos anos 1970 a produção *offshore* mundial representava pouco mais de 15%. Na década de 1990 essa produção já representava 26% e, mais recentemente (2009) cerca de 33% (FINOCCHIO JUNIOR, 2009).

A partir dos anos 1990, a exploração *offshore* pode ser dividida em duas categorias: a produção em águas rasas e águas profundas (unidades flutuantes), sendo esta caracterizada por uma lâmina d'água acima de 400 m.

No âmbito brasileiro, o período compreendido entre 1968 e 1975 pode ser considerado como o início da atividade *offshore* no país, devido à descoberta do primeiro poço *offshore* em 1968, no Campo de Guaricema (SE). (SILVEIRA, 2013). Em seguida, a atividade se estendeu para o sudeste com a primeira perfuração, em 1968, na Bacia de Campos, no campo de Garoupa (RJ).

A partir destas primeiras descobertas, deu-se origem ao desenvolvimento de novas tecnologias associadas à utilização de unidades flutuantes, uma vez que a profundidade média de seus poços era, na época, superior a 1.000 metros, chegando hoje a profundidades de até 3.000 metros de lâmina d'água.

Embora avanços significativos tenham sido feitos na tecnologia *sub-sea*, a exploração de tais reservas ainda requer a existência de uma unidade estacionária de produção. Dentre os conceitos de unidades flutuantes atualmente utilizados na exploração *offshore* destacam-se as plataformas semissubmersíveis, monocoluna, *tension leg platform* (TLP), SPARs e *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO).

Uma das etapas mais importantes do projeto de uma unidade estacionária de produção é a caracterização do comportamento no mar de uma embarcação, o qual se refere ao estudo de previsão dos movimentos, nos 6 graus de liberdade, decorrentes da ação das ondas do mar sobre a estrutura. Na literatura de língua inglesa, esse tópico é conhecido por *seakeeping* (CHAKRABARTI,2005).

Dentre os motivos pelos quais é desejável limitar os movimentos e acelerações de um sistema oceânico, pode-se destacar:

- Conforto e segurança da carga, dos passageiros e da tripulação;

- Integridade de *risers* e linhas de amarração.

Os *risers* podem ser considerados como uma parte crítica de um sistema de produção (ou perfuração) *offshore*, já que, estando continuamente sujeitos a severas condições ambientais e ações dinâmicas, podem ter sua integridade afetada pelo grande número de solicitações variáveis a que estão submetidos, gerando prejuízo por hora parada de produção, de possíveis impactos ambientais. A que se destacarem também os custos envolvidos no reparo deste tipo de estrutura, que requer mão de obra especializada e equipamentos sofisticados.

Objetivando avançar neste tema, o presente trabalho se propõe a apresentar um procedimento de seleção de um conceito de unidade flutuante para a produção de petróleo na Bacia de Santos, tal que o período de oscilação de *heave* esteja localizado o mais longe possível da frequência de pico do espectro de mar da região considerada no estudo, visando minimizar a ocorrência de movimentos verticais.

Objetivando avançar neste tema, o presente trabalho se propõe a apresentar um procedimento de seleção de um conceito de unidade flutuante para a produção de petróleo na Bacia de Santos, tal que o período de oscilação de *heave* esteja localizado o mais longe possível da frequência de pico do espectro de mar da região considerada no estudo, visando minimizar a ocorrência de movimentos verticais.

Abaixo, na Fig. (1), ilustra-se o gráfico que apresenta os períodos típicos de movimento vertical dos principais conceitos de plataformas em comparação com o espectro de mar das principais regiões de produção *offshore*.

Para tanto, serão seguidas as seguintes etapas:

I. Elencar os conceitos de plataforma existentes para análise comparativa, sendo eles: SPAR, monocoluna, semissubmersível, FPSOs e TLP. Dentre essas cinco, descartou-se a TLP para não envolver critérios de ancoragem que complicariam excessivamente a análise, fugindo ao escopo do presente trabalho;
II. Caracterização do mar atuante na região da Bacia de Santos;
III. Concepção dos quatro conceitos de plataforma. Esta etapa originou-se da estimativa do deslocamento, objetivando satisfazer um requisito de projeto exigido para uma

planta de processo destinada a extração de petróleo. Depois foram coletados dados de cada um dos conceitos de plataformas já em operação, desenvolvendo desta maneira um banco de dados que possibilite a extração de uma geometria típica dos quatro conceitos estudados;

IV. Estimativa da frequência natural de *heave*, por meio de abordagem analítica, utilizando, para este fim, fórmulas empíricas e semi-empíricas segundo Subrata (2005). Para verificação foram utilizados modelos numéricos através da ferramenta ANSYS;

V. Determinação dos períodos naturais de oscilação dos conceitos estudados e comparação desses períodos com o espectro de mar da Bacia de Santos (Fig. (1)).

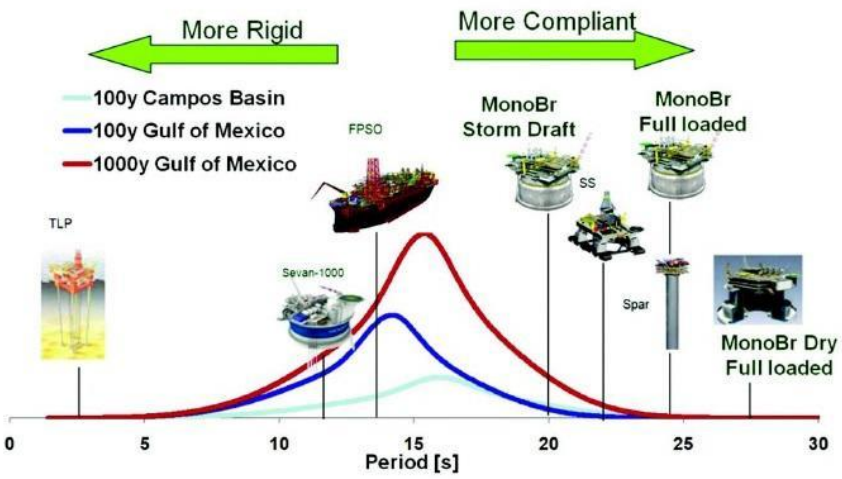


Figura 1: Comparação entre os períodos típicos de movimento vertical dos principais de plataforma e o espectro de mar das principais regiões de produção *offshore*. **Fonte -** Adaptado de Gonçalves et al. (2010).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

2.1. Conceitos de plataforma.

Neste trabalho serão abordados quatro conceitos de plataformas de produção de petróleo:

- **SPAR** - Consiste em um cilindro vertical de grande calado com aproximadamente 90% da sua estrutura abaixo da lâmina d'água;

- **Monocoluna** - É um conceito que tem como característica marcante a utilização de um casco com apenas uma coluna de grande diâmetro. Neste sentido, o conceito assemelha-se às plataformas do tipo SPAR, porém com calado menor (SÁ, 2006);

- **Semissubmersível** - São caracterizadas por possuírem pequena área de flutuação e pequeno deslocamento, se comparadas a navios. A inércia da área de flutuação é fornecida por colunas verticais, enquanto que seu deslocamento é garantido por colunas e flutuadores horizontais (*pontoons*) (CAMPOS, 2008);

- **FPSO –** São unidades estacionárias flutuantes que produzem, armazenam e escoam o petróleo. Surgiram devido à necessidade de exploração em águas profundas e a oferta de cascos decorrentes do término de vida útil de navios petroleiros.

2.2. Response Amplitude Operators.

Em sistemas navais e oceânicos, a estimativa dos efeitos provocados por um mar irregular se faz através das funções de transferência dos movimentos, também conhecidas como RAOs – *Response Amplitude Operators* (CHAKRABARTI, 2005).

Em linhas gerais, os RAOs de um sistema oceânico normalmente são obtidos a partir de modelos em escala reduzida, ensaiados em tanques de prova (método experimental), a partir de códigos numéricos (método numérico) e/ou de formulações empíricas, (método analítico).

2.2.1 Frequência natural.

A frequência natural, w_n, de um sistema dinâmico pode ser descrita como sendo a frequência na qual o sistema vibra livremente sem ação de forças excitadoras. Ela pode ser obtida experimentalmente ou através da Eq. (1), que relaciona rigidez (k) do sistema e a inércia do sistema. Esta, por sua vez, pode ser representada pela massa do sistema (m) mais a massa adicional (m_a), gerada pelo movimento do corpo em meio fluido.

A massa adicional pode ser descrita como a inércia adicional do sistema, gerada devido à massa de fluido deslocado ao mover um objeto sólido. Esta parcela torna-se significativa quando o gasto energético torna-se relevante, como será visto nos tópicos posteriores de desenvolvimento.

$$W_n = \sqrt{\frac{k}{m + m_a}} \qquad (1)$$

onde:

k - Rigidez do sistema dinâmico [N/m]; m - Massa [kg];

m_a - Massa adicional [kg]

2.2.2 Rigidez de um sistema dinâmico.

De forma simplificada, todos os sistemas hidrodinâmicos podem ser modelados por meio de um sistema massa-mola-amortecedor (forçado), isto porque esse tipo de abordagem reúne todos os componentes de um sistema dinâmico, sendo eles: inércia, força restauradora e amortecimento. Cada componente de um sistema hidrodinâmico pode ser descrito por meio de um desses três componentes, como por exemplo:

Tabela 1: Relação entre os componentes de um sistema hidrodinâmico e de um sistema dinâmico

Efeito	Modelo
Ondas do mar	Força excitadora
Ondas provocadas pelo movimento do sistema	Amortecimento potencial
Interação viscosa com o mar	Amortecimento viscoso
Massa da embarcação	Inércia
Restauração hidrostática	Força restauradora
Restauração do sistema de ancoragem e *risers*	Força restauradora
Massa adicional	Inércia

Desta forma, a rigidez de um sistema oscilatório pode ser descrita como sendo a força restauradora que surge ao deslocar o sistema em uma unidade de posição. A rigidez de heave pode ser representada pela Eq. (2).

$$k = \frac{F}{d} \qquad (2)$$

Considerando d uma unidade de medida em metro e F como sendo a força contrária ao movimento de oscilação em heave, pode-se reescrever a Eq. (2):

$$k = \frac{\Delta V.\rho.g}{d} \qquad (3)$$

onde:

ΔV - Variação do volume deslocado [m^3];

d - Deslocamento unitário [m].

Considerando que para um pequeno deslocamento d, a área de linha d'água, $A_{wl,}$ permanece constante, tem-se:

$$k = \frac{A_{wl}.d.\rho.g}{d} \qquad (4)$$

$$k = A_{wl}.\rho.g \qquad (5)$$

onde:

A_{wl} - Área de linha d'água [m^2].

Através da Eq. (5) pode-se entender que a rigidez de *heave* é diretamente proporcional à área de linha d'água. Sendo assim, é possível conceber a rigidez para o movimento de *heave* referente a cada um dos conceitos de plataforma envolvidos no escopo do presente trabalho, conforme apresentado na Tab. (2).

Tabela 2: Formulações da rigidez para cada um dos conceitos de plataformas.

	Área de linha d'água	**Rigidez**
SPAR	$A_{wl} = \frac{D_{col}^2.\pi}{4}$	$k = \frac{D_{col}^2.\pi}{4}.\rho.$
Monocoluna	$A_{wl} = \frac{D_{col}^2.\pi}{4}$	$k = \frac{D_{col}^2.\pi}{4}.\rho.$
Semissubmersível	$A_{wl} = D_{col}^2$	$k = D_{col}^2.\pi.\rho.g$
FPSO	$A_{wl} = C_{wp}.L.B$	$k = C_{wp}.L.B.\rho.$

onde:

D_{col} - Diâmetro da coluna [m];

C_{wp} - Coeficiente de linha d'água; L - Comprimento [m];

B - Boca [m].

2.2.3 Amortecimento.

O amortecimento representa a capacidade do sistema em dissipar energia, ele é responsável por atenuar a amplitude do movimento oscilatório, principalmente na região próxima a ressonância, onde as amplitudes do sistema são bastante elevadas.

Em projetos hidrodinâmicos a dois tipos principais de amortecimento, sendo estes o amortecimento potencial, proveniente da formação das ondas, e o amortecimento viscoso, proveniente da interação entre o meio fluido e a estrutura submersa.

A força de amortecimento viscoso tem como característica principal ser proporcional à velocidade relativa ao deslocamento da estrutura, sendo representada pela Eq. (6).

$$F_a = -c.\dot{x} \qquad (6)$$

onde:

c - Constante de amortecimento do sistema [N.s/m];

$\dot{x} = \frac{dx}{dt}$- é a velocidade da massa m na direção do movimento [m/s].

A constante de amortecimento c contida na Eq. (6) fornece uma indicação da relação entre a força de amortecimento e a velocidade relativa da estrutura. Porém, ela não proporciona uma visão da quantidade de amortecimento que atua sobre o sistema real, uma vez que uma força de amortecimento pode ser grande para um sistema e pequena para outro, dependendo fundamentalmente das massas envolvidas e da rigidez. Define-se, então o fator de amortecimento, ζ, que é uma quantidade adimensional e não depende da ordem de grandeza dos parâmetros do sistema, indicando expressamente o quanto o sistema está sendo amortecido. O fator de amortecimento é definido como a relação entre a constante de amortecimento do sistema e a constante de amortecimento crítica, conforme contido na Eq. (7). Sendo, a constante de amortecimento crítico definida através da Eq. (8).

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \qquad (7)$$

$$c_c = 2m\varpi_n \qquad (8)$$

onde:

c - Constante de amortecimento do sistema [N.s/m];

c_c - Constante de amortecimento crítico [N.s/m];

m - massa do sistema [kg];

w_n - frequência natural do sistema [rad/s]; Para >1, o sistema é superamortecido (não há oscilação);

Para =1, o sistema é criticamente amortecido (não há oscilação);

Para<1, o sistema é subamortecido.

2.2.4 Forças de excitação.

Segundo Chakrabarti (2005), as forças de excitação atuantes sobre uma estrutura submersa, sujeita ao efeito de ondas, podem ser classificadas em dois grupos:

1º ordem - Forças relacionadas à elevação da onda, de mesma frequência e proporcional a amplitude da onda (linear). Sendo estas: A força de Froude- Krylov, F_{fk}, que considera a pressão devido à ação da onda não perturbada, e a força de difração, que considera a modificação da pressão da onda devido à presença do corpo;

2º ordem - Forças pequenas, de baixa frequência e proporcional ao quadrado da amplitude da onda, sendo esta a força de Morison, que considera a parte viscosa da força.

Entretanto, quando a estrutura é grande o suficiente para que o fluxo permaneça essencialmente ligado à superfície, é possível mensurar o campo de pressão atuante na estrutura.

Por isso, as forças de Froude-Krylov, juntamente com as forças de difração, compõe a parcela predominante referente as forças de excitação atuante nos conceitos de plataformas abordados neste trabalho.

Força de Froude-Krylov Segundo Zolnerkevic (2012), a força de Froude-Krylov é definida como sendo a força induzida pelo campo de pressões gerado pelas ondas não perturbadas pelo corpo, admitindo que o corpo é suficientemente pequeno para não influenciar as ondas. Ela é a integração do campo de pressões atuante na estrutura, Eq. (9).

$$\vec{F}_{fk} = -\int\int_{S_w} p\vec{n}ds \qquad (9)$$

onde:

Ff k - Força de Froude-Krylov [N];

Sw - Área da superfície molhada do corpo [m^2];

p - Pressão da onda não perturbada [kPa];

n - Vetor normal ao corpo, apontando para a direção da água.

2.2.5 Forças reativas.

Segundo Zolnerkevic (2012), as forças reativas oriundas da passagem de ondas sobre a estrutura correspondem à restauração hidrostática, ao termo de massa adicional e ao termo de energia potencial, oriundo da geração de ondas decorrentes do movimento da estrutura.

Para o caso do movimento de *heave*, a força de restauração hidrostática equivale ao peso do volume deslocado pela própria estrutura.

2.2.6 Modelagem analítica.

Segundo Chakrabarti (2005), o deslocamento de uma estrutura oscilatória na direção da força de excitação pode ser descrito conforme a Eq. (10).

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_o cos(wt) \qquad (10)$$

onde:

Fo - Amplitude da força de excitação [N];

w - Frequência de excitação [rad/s];

m - Massa da estrutura [kg];

k - Constante linear da mola correspondente à rigidez da estrutura [N.m];

c - Coeficiente linear de amortecimento [N.s/m].

A solução da Eq. (10) fornece o deslocamento do sistema em função da frequência de excitação, ou seja, o RAO correspondente do sistema flutuante, representado pela Eq. (11).

$$RAO(w) = \frac{\frac{F_o}{k}}{\sqrt{(1-\frac{w^2}{w_n^2})^2 + (\frac{2\zeta w}{w_n})^2}} \qquad (11)$$

Onde: ζ - Coeficiente de amortecimento.

Na Fig. (2) representa-se a relação entre a amplitude de deslocamento, RAO(w)/[F_o/k], e a razão de frequências, w/w_n, de uma unidade flutuante.

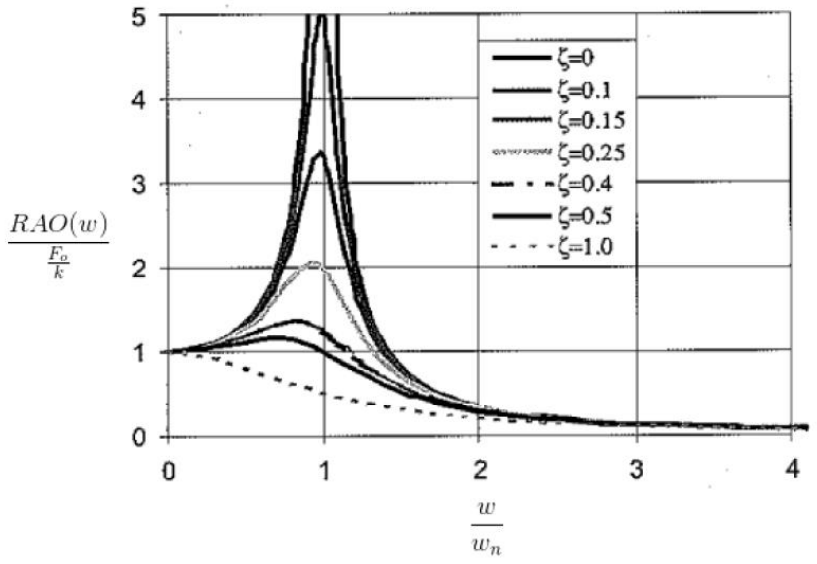


Figura 2: Representação da amplitude de deslocamento em função da razão de frequências.

Fonte - Adaptado de Chakrabarti (2005).

É de fundamental importância salientar alguns aspectos principais do gráfico contido na Fig. (2), sendo eles:

I. Intervalo de ressonância, no qual a frequência natural da estrutura coincide com a frequência de excitação. Neste ponto a amplitude de oscilação do sistema é máxima;

II. Quanto maior o coeficiente de amortecimento, ζ, menor a amplitude de movimento da estrutura e levemente deslocado à esquerda se encontra o intervalo de ressonância;

III. Todas as curvas partem de uma amplitude de deslocamentos equivalente a um, isto porque para pequenos valores de frequência, o tamanho da onda é muito maior que a estrutura, por isto a elevação da estrutura se torna a mesma da onda;

IV. Para ondas de alta frequência, a inércia do sistema impede que o corpo desenvolva movimentos que acompanhem a alta frequência das forças.

Outro aspecto importante que cabe ressaltar é o de que, como a plataforma possui seis graus de liberdade, ela terá seis gráficos de RAO para caracterizar a resposta do sistema a passagem de uma onda regular. Porém, o escopo deste trabalho dará ênfase ao RAO correspondente ao movimento de *heave*, o qual será utilizado como critério de seleção de um conceito de plataforma para atuação na Bacia de Santos.

2.2.7 Simulação computacional.

Segundo Chakrabarti (2005), quando se pretende calcular a resposta em ondas de sistemas oceânicos, normalmente é possível negligenciar efeitos devido à viscosidade do meio fluido. Sendo assim, a estratégia adotada para a modelagem do movimento hidrodinâmico de uma unidade flutuante é a decomposição deste movimento em duas componentes, difração e radiação.

É importante salientar que a estratégia de sobreposição só pode ser realizada devido à hipótese de linearidade, através da qual os carregamentos e respostas em um mar irregular podem ser obtidos pela combinação linear das suas respostas ao conjunto de ondas regulares.

Uma técnica computacional classicamente utilizada neste tipo de problema é o método dos painéis, que segundo Chakrabarti (2005), é utilizado para o cálculo do escoamento potencial

em torno de um corpo, onde o potencial de velocidades é representado por uma distribuição de singularidades (fontes-dipolos) sobre a superfície molhada do corpo. O método dos painéis divide a superfície do navio e do fluido ao redor em elementos discretos (painéis). Em cada elemento uma distribuição de fontes e sumidouros é definida, satisfazendo a equação de Laplace. Os resultados globais são obtidos resolvendo o problema de equilíbrio entre os diferentes painéis considerados, integrando o resultado ao longo de toda a superfície do corpo.

Neste trabalho o método dos painéis foi utilizado com o auxilio do solver AQWA contido na ferramenta ANSYS Workbench.

2.3. Espectro de mar.

2.3.1 Ondas regulares.

Uma onda regular pode ser descrita como aquela caracterizada por uma única frequência angular, w (rad/s).

Segundo Chakrabarti (2005), a elevação da superfície do mar, ξ, para uma onda regular, pode ser descrita em função da posição x e do instante de tempo t, Eq. (12).

$$\xi(x,t) = A.cos(kx - \varpi t + \varepsilon) \qquad (12)$$

onde:

A - Amplitude de uma onda regular [m];

λ - Comprimento de onda [m];

$k = 2\pi/\lambda = w^2/g$ - número de onda;

ε- representa a fase da onda para o instante de tempo t=0.

2.3.2 Espectro de energia: mar irregular.

Segundo Chakrabarti (2005), a ação do vento sobre a superfície do mar é o principal fenômeno físico responsável por induzir efeitos ondulatórios no ambiente marítimo.

Estas ondas podem ser representadas através da superposição de ondas regulares de diferentes amplitudes, frequências e direções de propagação.

Sendo assim, a variação no tempo da elevação da superfície do mar irregular pode ser aproximada pela Eq. (13), considerando x=0, que relaciona o mar irregular como sendo a soma das ondas regulares que o compõem.

$$\xi(t) = \sum_{j=1}^{\infty} A_j.cos(w_j t + \varepsilon_j) \qquad (13)$$

onde:

A_j - representa a amplitude de cada uma das componentes harmônicas j;

ε_j - fase das componentes harmônicas j.

Ainda segundo Chakrabarti (2005), a energia das ondas do mar, em torno de uma dada frequência w_n, é dada segundo a Eq. (14).

$$S_\xi(w_j) = \frac{1}{2}.A_j^2 \qquad (14)$$

2.3.3 Espectros de energia padrão

Um espectro padrão de energia é uma função matemática que aproxima o espectro de energia de mares obtidos empiricamente.

O espectro de mar padrão que melhor caracteriza o mar brasileiro é o de JONSWAP, cuja clássica formulação é mostrada na Eq. (15).

$$S_\xi(w) = \alpha g^2 w^{-5} exp{-1,25}(\frac{w}{w_p})^{-4} \gamma^{exp\frac{(w-w_p)^2}{2\tau^2 w_p^2}} \qquad (15)$$

onde:

w_p - Frequência de pico [rad/s];

γ - parâmetro de agudez, podendo variar de 1 a 7;

τ- parâmetro de forma do espectro, sendo τ=0; 07 para w ≤ wp e τ = 0; 09 para w > wp, considerando um vento predominante com velocidade de vento U_w agindo sobre uma pista de comprimento X_o;

$\alpha = 0{,}076X_o^{-0{,}22}$ ou $\alpha = 0{,}0081$ quando X_o for desconhecido.

Segundo Chakrabarti (2005), em 1979, Goda derivou uma expressão aproximada para o espectro de JONSWAP em função apenas da altura significativa e da frequência de pico, conforme Eq. (16) abaixo.

$$S_\xi(w) = \alpha^* H_s^2 \frac{w^{-5}}{w_p^{-4}} exp{-1,25}(\frac{w}{w_p})^{-4} \gamma^{exp\frac{(w-wp)^2}{2\tau^2 w_p^2}} \quad (16)$$

onde:

H_s - Altura significativa de onda [m];

w_p - Frequência de pico [rad/s].

$$\alpha^* = \frac{0,0624}{0,230 + 0,336\gamma - 0,185(1.9 + \gamma)^{-1}} \quad (17)$$

3.1. Modelagens SPAR.

O conceito de plataforma SPAR é caracterizado por uma geometria de forma cilíndrica, com 90% do seu comprimento submerso.

Inicialmente, optou-se por caracterizar a geometria através de um corpo cilíndrico sólido. Porém, percebeu-se que o deslocamento contido no banco de dados divergia consideravelmente do deslocamento obtido analiticamente.

Objetivando encontrar uma geometria que melhor caracterizasse a plataforma real, optou-se por utilizar um corpo cilindro oco de deslocamento correspondente ao deslocamento real.

A Fig. (3) representa a diferença percentual de deslocamento presente em uma geometria composta por um corpo cilíndrico sólido e, posteriormente, por um corpo cilíndrico oco de um mesmo modelo de plataforma SPAR analisado.

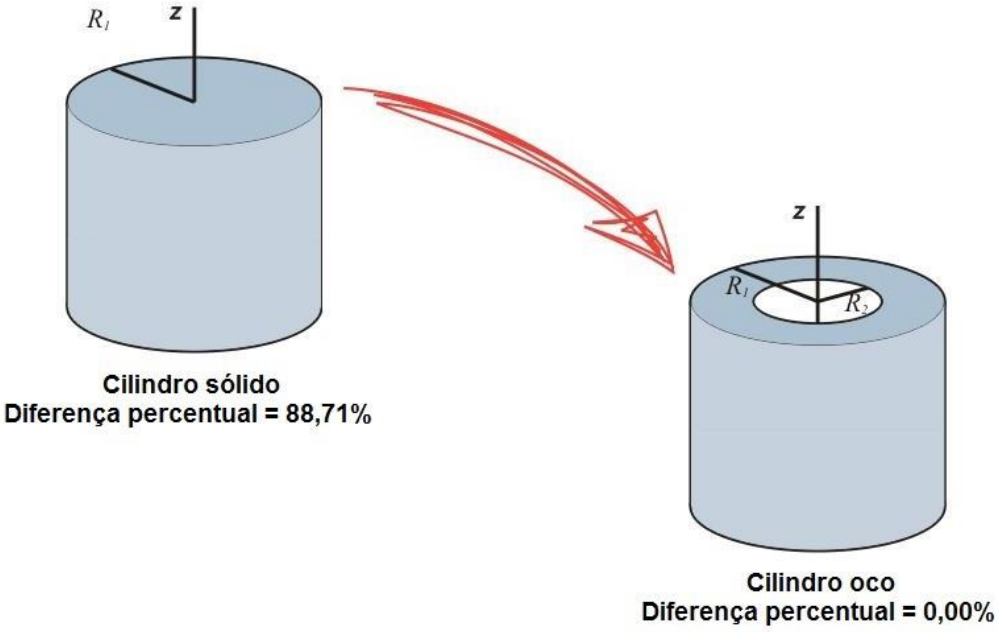


Figura 3: Geração da geometria característica de uma plataforma tipo SPAR

A partir da Fig. (3) é possível observar que, ao utilizar uma geometria composta por um cilindro sólido, a diferença percentual do deslocamento do modelo em relação à plataforma real é significativa, aproximadamente 89%. Já para uma geometria composta por um o cilindro oco, essa diferença percentual cai para 0%.

Utilizando o procedimento de obtenção dos parâmetros do corpo cilíndrico, descrito anteriormente, gerou-se as geometrias dos modelos de plataforma SPAR. E, em seguida, foram feitos os cálculos analíticos de estimativa da frequência natural para cada um dos modelos através de uma planilha no Excel, Tab. (3).

Tabela 3: Principais dados provenientes da planilha de cálculos analítico

Modelo	Calado, H [m]	Raio interno, [m]	Raio externo, [m]	Pontal, D [m]	Deslocamento total, da plataforma, Δ [t]	Rigidez, k [N/m]	Frequência natural, w_n [rad/s]
Constitution	153,5	14,32	15,20	17,05	12.891	$8,23 \times 10^5$	0,253
Diana	196,7	17,55	18,90	21,85	31.224	$1,56 \times 10^6$	0,223
Mag Dog Field	167,6	18,36	19,50	16,76	21.000	$1,36 \times 10^6$	0,255
Tahiti	154,8	18,62	19,90	17,2	23.500	$1,49 \times 10^6$	0,252

De posse da geometria, ajustaram-se os parâmetros de simulação no AQWA, utilizando, inicialmente, uma malha com *max element size* de 10m e *defeaturing tolerance* de 1m, aproximadamente 1500 elementos, para as plataformas Constitution,

Diana e Tahiti, e uma malha com *max element size* de 5m e *defeaturing tolerance* de 1m, aproximadamente 5000 elementos, para a Mag Dog Field (Fig. (4)).

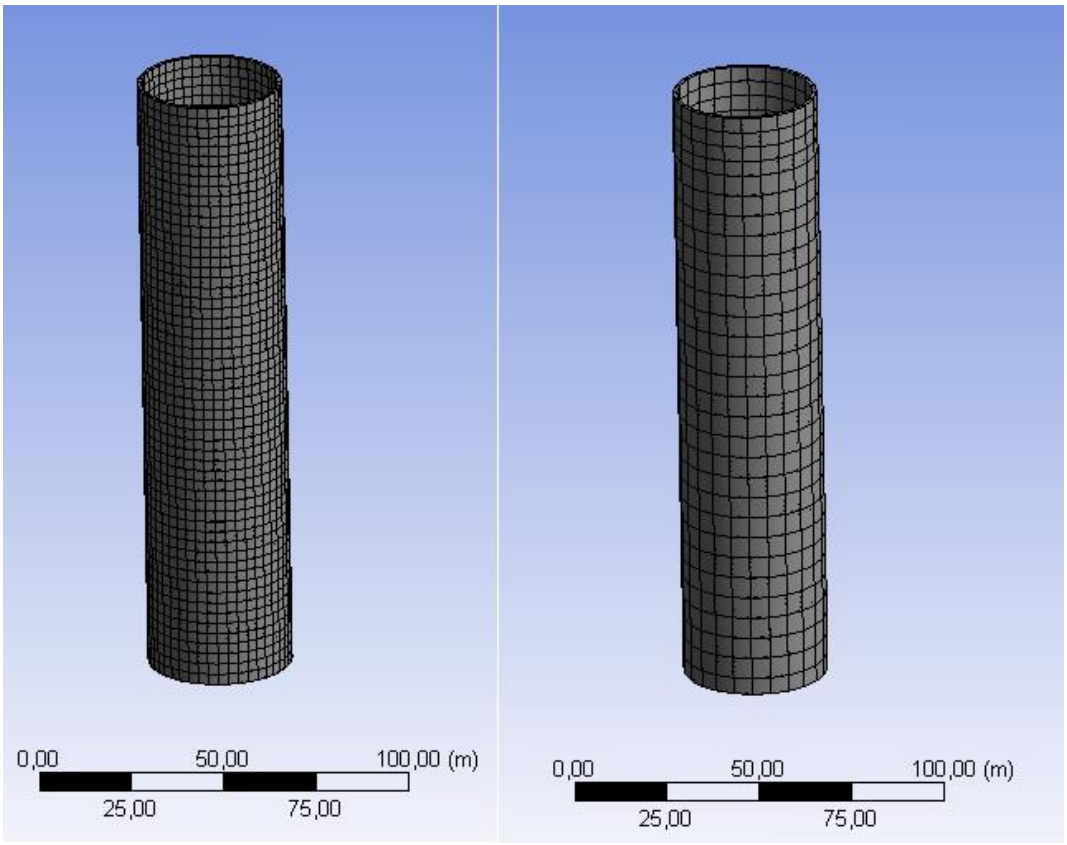


Figura 4: Representação de uma malha com 1500 à direita e 5000 elementos à esquerda.

Ajustada a malha, o passo seguinte foi ajustar o range de frequências. A abordagem escolhida para tal procedimento foi gerar um range capaz de rodear a frequência natural analítica partindo de um valor 10% menor até um valor 10 % maior.

Na Tab. (4) estão apresentados os resultados comparativos entre a frequência natural analítica e numérica para cada um dos modelos de plataforma SPAR e, na Fig. (5), as curvas de RAO das quatro análises.

Tabela 4: Resultados comparativos de frequência natural analítica X numérica

Modelo	Constitution	Diana
Massa adicional, M_a	125,7 t	265,2 t
Frequência natural teórica s/ ajuste de massa adicional (Wn_t)	0,253 rad/s	0,223 rad/s
Frequência natural teórica c/ ajuste de massa adicional (Wn_t)	0,251 rad/s	0,222 rad/s
Redução percentual (%)	0,8%	0,4%
Frequência natural numérica (Wn_{num})	0,248 rad/s	0,219 rad/s
Diferença percentual (%)	1,20%	1,35%

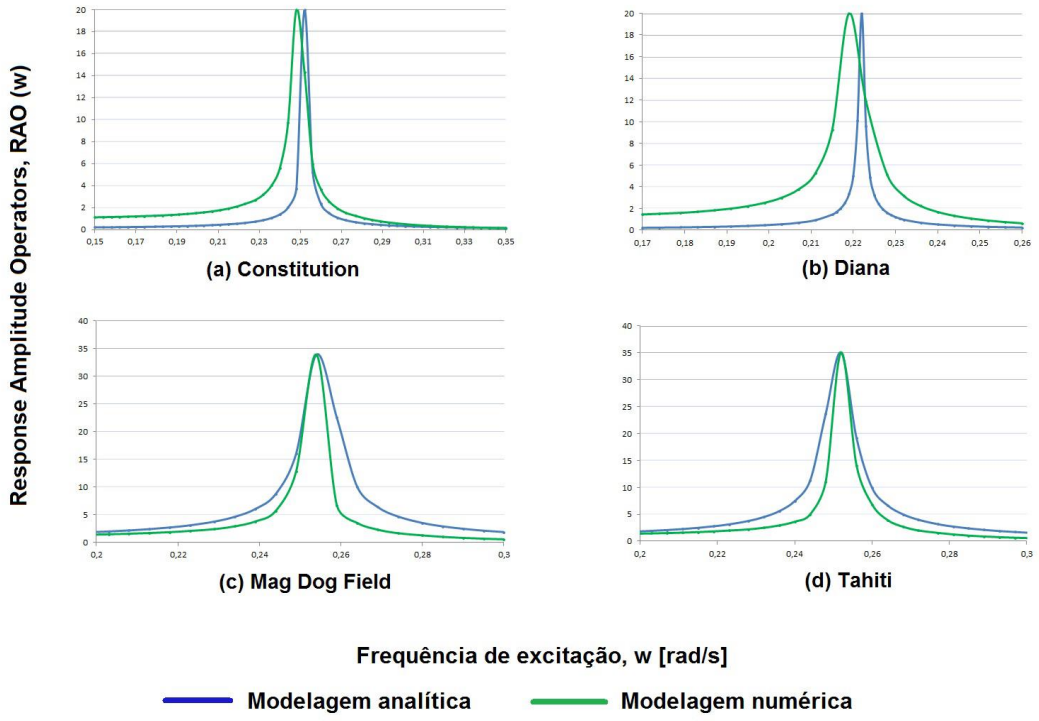


Figura 5: Resultados comparativos de frequência natural analítica X numérica

A partir da Fig. (5) é possível observar que, para os modelos Constitution e Diana, a curva analítica se encontra levemente deslocada à direita da curva numérica, representando a diferença de 1,98% e 1,79% respectivamente.

É importante salientar que a diferença percentual da Mag Dog Field apresentou-se nesta magnitude devido principalmente ao refino realizado na malha. Porém, o tempo aumenta exponencialmente com o aumento do número de elementos contidos na malha.

Realizou-se uma comparação do tempo, em minutos, entre duas análises utilizando duas geometrias, uma delas com aproximadamente 1500 elementos, utilizado nas modelagens da Constitution, Diana e Tahiti, e uma segunda análise, utilizando aproximadamente 5000 elementos, utilizado para Mag Dog Field. Houve um acréscimo de quase duzentas vezes no tempo de simulação requerido na análise.

Por este motivo, neste caso, é mais viável, em relação ao tempo de simulação, utilizar uma análise de 20 min e conviver com uma diferença percentual de aproximadamente 1,2% do que rodar uma análise de quase 7 horas para reduzir a diferença percentual para 0,39%.

Tabela 5: Resultados comparativos

Modelo	Constitution	Diana	Mag Dog Field	Tahiti
Frequência natural teórica, w_{nt} [rad/s]	0,253	0,223	0,255	0,252
Frequência natural numérica, w_{nnum} [rad/s]	0,248	0,219	0,254	0,252
Diferença percentual [%]	1,98	1,79	0,39	0

Finalmente, objetivando minimizar a diferença entre as curvas de RAO numérico e analítico das plataformas Constitution e Diana, realizou-se o ajuste na curva de RAO analítico impondo os valores de massa adicional provenientes da modelagem numérica no AQWA, estando estes valores contidos na Tab. (5). Além destes valores, também estão contidas as frequências naturais analíticas com e sem o ajuste de massa adicional, as reduções percentuais da frequência natural em relação ao emprego do ajuste de massa adicional, as frequências naturais obtidas numericamente e as diferenças percentuais associadas a frequência natural numérica e a analítica com o ajuste de massa adicional.

Por meio da Tab. (5) é possível perceber que, para a Constitution, com o emprego do valor de massa adicional na análise analítica, houve diminuição na diferença percentual entre as frequências naturais analítica e numérica, de 1,98%, obtida sem o ajuste de massa adicional, para 1,20%, obtida com o ajuste de massa adicional. Sendo, neste caso, a massa adicional responsável pelo decréscimo de 0,78% na diferença percentual entre estas frequências. A que se destacar também que, como esperado, este valor de 0,78% praticamente coincide com a redução percentual de 0,8% no valor da frequência natural analítica com e sem o ajuste de massa adicional.

Para a o modelo de plataforma Diana, com o emprego do valor de massa adicional na análise analítica, houve diminuição na diferença percentual entre as frequências naturais analítica e numérica, de 1,79%, obtida sem o ajuste de massa adicional, para 1,35%, obtida com o ajuste de massa adicional. Sendo, neste caso, a massa adicional responsável pelo decréscimo de 0,44% na diferença percentual entre estas frequências. E, como esperado, este valor de 0,44% praticamente coincide com a redução percentual de 0,4% no valor da frequência natural analítica com e sem o ajuste de massa adicional.

A diferença percentual restante em ambos os casos pode ser atribuída ao fator de amortecimento que, nos cálculos analíticos, foi desconsiderado, e, também, a uma possível variação da frequência natural numérica associada ao número de elementos utilizados na análise.

3.2. Modelagem semissubmersível.

As geometrias foram modeladas através da interface do programa SolidWorks e representadas por dois pontoons e quatro colunas, ambos com área de seção quadrada bem como representado na Fig. (6).

É importante observar que a geometria gerada em CAD deve equilibrar a necessidade de simplificar a geometria real sem acarretar perdas no entendimento dos fenômenos estudados. No caso do presente trabalho, como o estudo está voltado para os fenômenos gerados abaixo da linha d'água, toda a superestrutura da plataforma foi retirada da modelagem em CAD.

A sutileza nos cálculos analíticos da plataforma semissubmersível em relação ao conceito de plataformas SPAR e monocoluna recai sobre a quantificação da massa adicional relacionada à geometria.

No capítulo de modelagem da SPAR, realizou-se o cálculo da massa adicional apenas ao final da modelagem, já na modelagem da semissubmersível este cálculo passa a ser realizado na etapa inicial de estimativa do valor da frequência natural.

Isto porque as plataformas semissubmersíveis, diferentemente das plataformas SPAR e monocoluna, possuem dois flutuadores (*pontoons*) e, estes flutuadores, quando se movimentam transversalmente ao seu eixo longitudinal, geram uma quantidade de massa adicional de magnitude igual à massa do volume deslocado pelo próprio *pontoon*. Este

coeficiente provém de dados empíricos para o cálculo de massa adicional relacionados colunas retangulares.

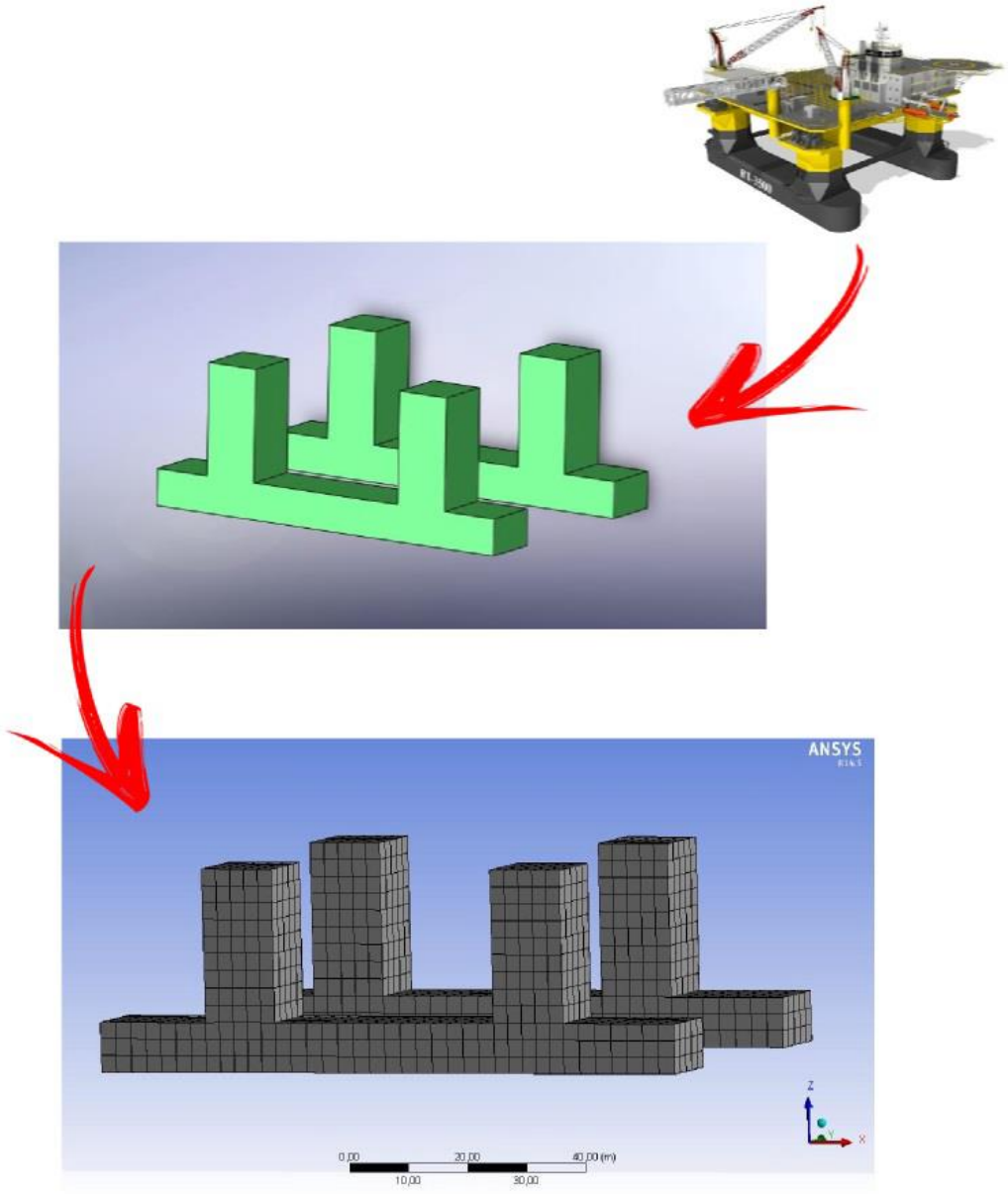


Figura 6: Procedimento de caracterização da geometria

Outro fator importante na análise deste tipo de conceito de plataforma é a caracterização das forças de Froude-Krylov atuantes nos dois conjuntos de colunas/*pontoon* existentes. Elas representam as forças de excitação atuantes em cada coluna da plataforma, porém, como o movimento do conjunto colunas/pontoon é acoplado, ele pode ser analisado como sendo um corpo único.

As dimensões das geometrias estudadas são mostradas na Fig. (7).

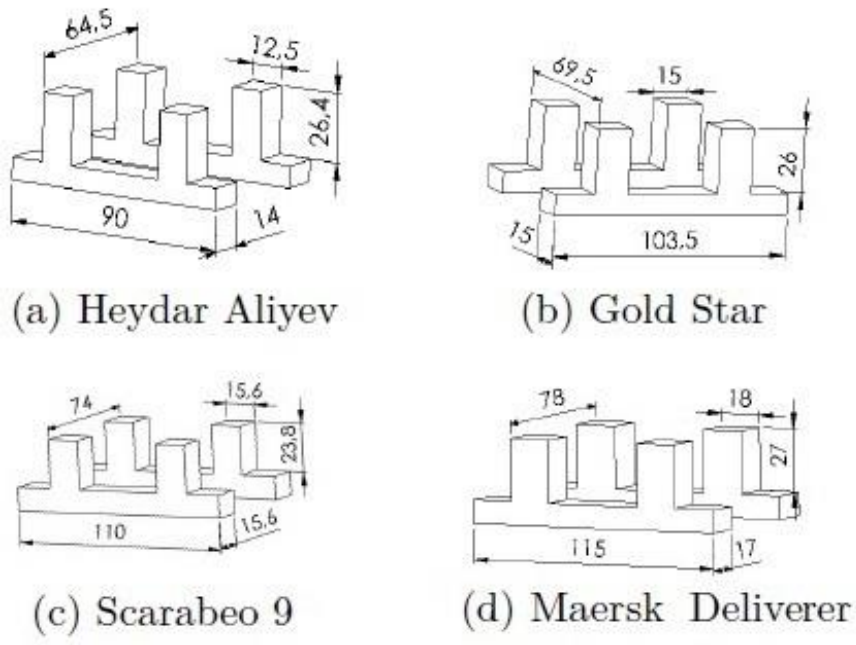


Figura 7: Dimensões principais, em metros, dos modelos de plataforma semissubmersível

Em seguida foram feitos os cálculos analíticos de estimativa da frequência natural através de uma planilha no Excel, Tab. (6).

Tabela 6: Dados de entrada utilizados no cálculo analítico de estimativa da frequência natural

Modelo	Heydar Aliyev	Gold Star	Scarabeo 9	Maersk Deliverer
Calado, H [m]	20,5	20,5	23,6	20,5
Volume deslocado pelas colunas, $V_{colunas}$ $[m^3]$	14.350	18.450	22.973	25.092
Volume deslocado pelos *pontoons*, $V_{pontoon}$ $[m^3]$	21.672	27.945	40.832	41.400
Deslocamento total da plataforma, Δ [t]	30.752	39.252	53.826	53.251
Massa adicional, m_a [t]	31.987	43.794	50.223	60.517
Rigidez, k [N/m]	$7{,}03 \times 10^6$	$9{,}04 \times 10^6$	$9{,}78 \times 10^6$	$1{,}23 \times 10^7$
Frequência natural, w_n [rad/s]	0,335	0,330	0,307	0,329

Da Tab. (7) é possível verificar a magnitude da massa adicional gerada por uma plataforma semissubmersível com as dimensões representadas na Fig. (7). Neste caso a massa adicional representa em média aproximadamente 105% do valor do deslocamento da plataforma.

Outra informação importante é do deslocamento analítico total da plataforma, o qual apresentou um erro médio de aproximadamente 0,34% em relação à plataforma real, caracterizando um resultado satisfatório de calibração do modelo. Quanto menor o erro

associado ao deslocamento do modelo, mais próximo ao comportamento real da plataforma está à modelagem.

Tabela 7: Resultados comparativos de massa adicional

Modelo	Heydar Aliyev	Gold Star	Scarabeo 9	Maersk Deliverer
Massa adicional analítica, Ma_t [t]	31.988	43.538	50.223	60.517
Massa adicional numérica, Ma_{num} [t]	33.025	43.794	52.565	61.841
Diferença percentual (%)	3,14	0,6	4,7	2,1

Diferentemente da modelagem de um cilindro, a geração do gráfico de RAO analítico de uma plataforma semissubmersível sai do escopo a que se propõe este trabalho por envolver efeitos adicionais provenientes da interação das forças de Froude-Krylov nos dois conjuntos colunas/*pontoon*.

Sendo assim, na Tab. (8) são apresentados os resultados comparativos entre as frequências naturais analíticas e a numéricas de cada um dos modelos de plataforma semissubmersível e na Fig. (8) é possível identificar a localização destas frequências naturais nos gráficos de RAO gerados no AQWA.

Tabela 8: Resultados comparativos de frequência natural analítica X numérica

Modelo	Heydar Aliyev	Gold Star	Scarabeo 9	Maersk Deliverer
Frequência natural teórica, (W_{nt}) [rad/s]	0,335	0,330	0,307	0,329
Frequência natural numérica, (Wn_{num}) [rad/s]	0,335	0,329	0,304	0,327
Diferença percentual (%)	0,0	0,4	0,8	0,5

A partir da Tab. (8) é possível perceber que, em média, a diferença entre o valor da frequência natural analítica e numérica se manteve em 0,4%, isto pode ser observado também nos gráficos contidos na Fig. (8), nos quais as localizações das frequências naturais analíticas praticamente coincidem com o ponto de máximo dos gráficos de RAO gerados na modelagem numérica.

No passo seguinte compararam-se os valores de massa adicional encontrados analiticamente com os obtidos numericamente. Na Tab. (9) estão descritos os resultados comparativos destes valores.

A partir da Tab. (9) observa-se que o erro associado ao cálculo da massa adicional analítica resultou em um intervalo de diferença percentual de 0,6% até 4,7%, em relação ao valor obtido numericamente.

Tabela 9: Resultados comparativos de massa adicional

Modelo	Heydar Aliyev	Gold Star	Scarabeo 9	Maersk Deliverer
Massa adicional analítica, Ma_t [t]	31.988	43.538	50.223	60.517
Massa adicional numérica, Ma_{num} [t]	33.025	43.794	52.565	61.841
Diferença percentual (%)	3,14	0,6	4,7	2,1

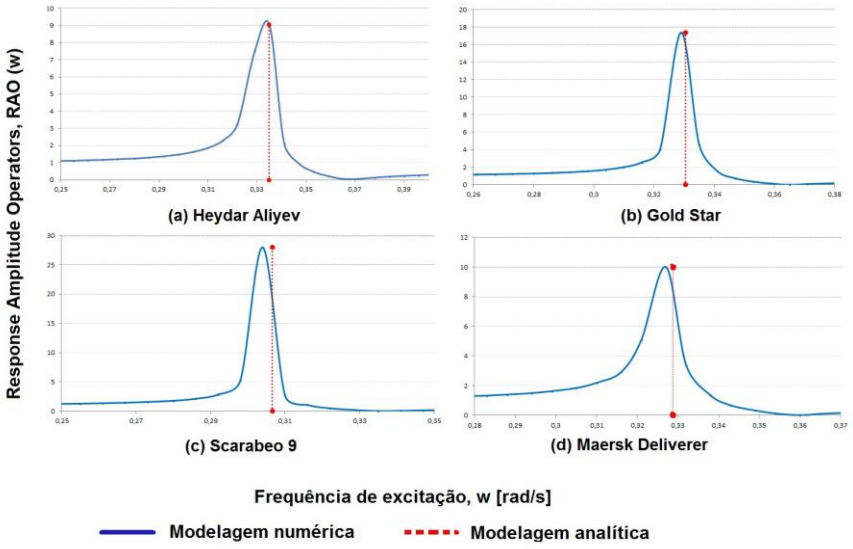


Figura 8: Localização da frequência natural analítica na curva de RAO gerada através do AQWA

Essas diferenças podem ser atribuídas ao próprio cálculo analítico, no qual se utilizou de um coeficiente empírico multiplicativo associado à massa adicional de um retângulo. E também ao fator de amortecimento que, nos cálculos analíticos, foi desconsiderado.

Por fim, foi gerado o gráfico das forças de Froude-Krylov para a caracterização da força de excitação atuante nas colunas, Fig. (9).

A partir dos gráficos contidos na Fig. (9) é possível perceber que o intervalo de máxima força de Froude-Krylov resultante sobre a estrutura corresponde aos valores de baixa frequência. Este intervalo parte de um máximo, onde o comprimento da onda é tão grande em relação à

distância entre *pontoons* que a onda provoca o mesmo campo de pressões em ambos os conjuntos colunas/*pontoon* e, à medida que a frequência desta onda aumenta, o comprimento dela diminui e consequentemente o campo de pressões em cada conjunto diminui até chegar ao ponto de anulamento, no qual a resultante de um conjunto vai ser de igual módulo e sentido oposto ao outro.

Este raciocínio se aplica também aos pontos de máximo, nos quais há uma crista em cada conjunto colunas/*pontoon*. Porém à medida que a frequência da onda aumenta, o comprimento de onda diminui ao ponto que, em ondas com comprimento muito superior à distância entra *pontoons*, a força de excitação nas colunas são insignificantes não gerando modificação no campo de pressão atuante sobre elas.

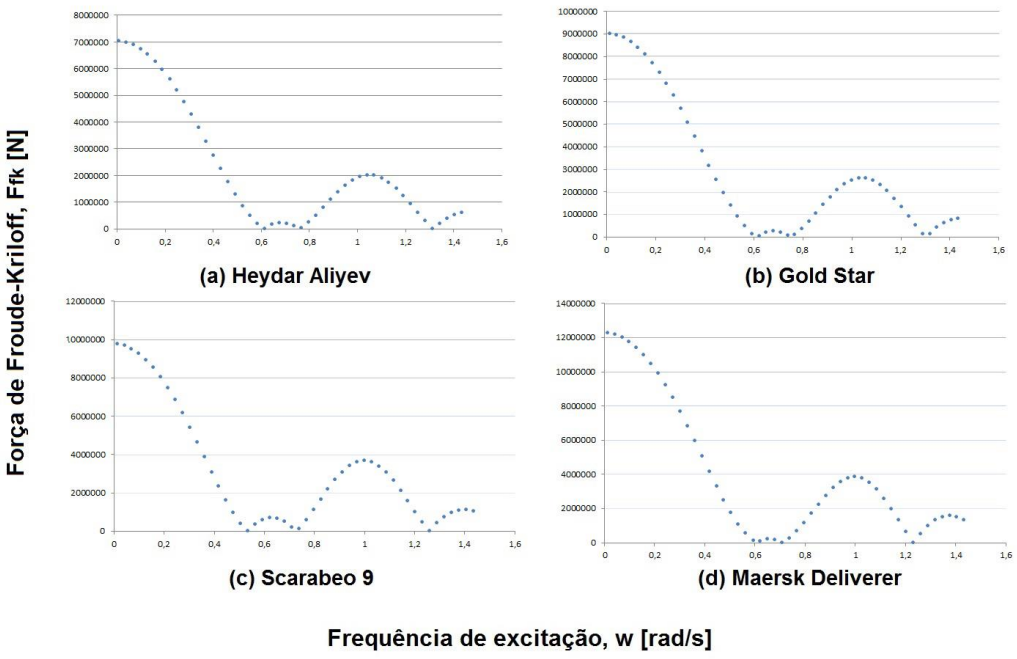


Figura 9: Gráficos de atuação das forças de Froude-Krylov

Também é possível identificar, na Fig. (9), o intervalo de comportamento anômalo nos gráficos das forças de Froude-Krylov, estando estes contidos aproximadamente entre as frequências 0,5 e 0,8 rad/s. E, devido à dificuldade de caracterizar este intervalo, ele foi desconsiderado da análise, utilizando o primeiro ponto de anulamento como sendo o ponto de anulamento seguido deste.

Na Fig. (10), estão representados os principais pontos do gráfico das forças de Froude-Krylov para os modelos de plataforma semissubmersível, bem como as frequências nos quais eles ocorrem.

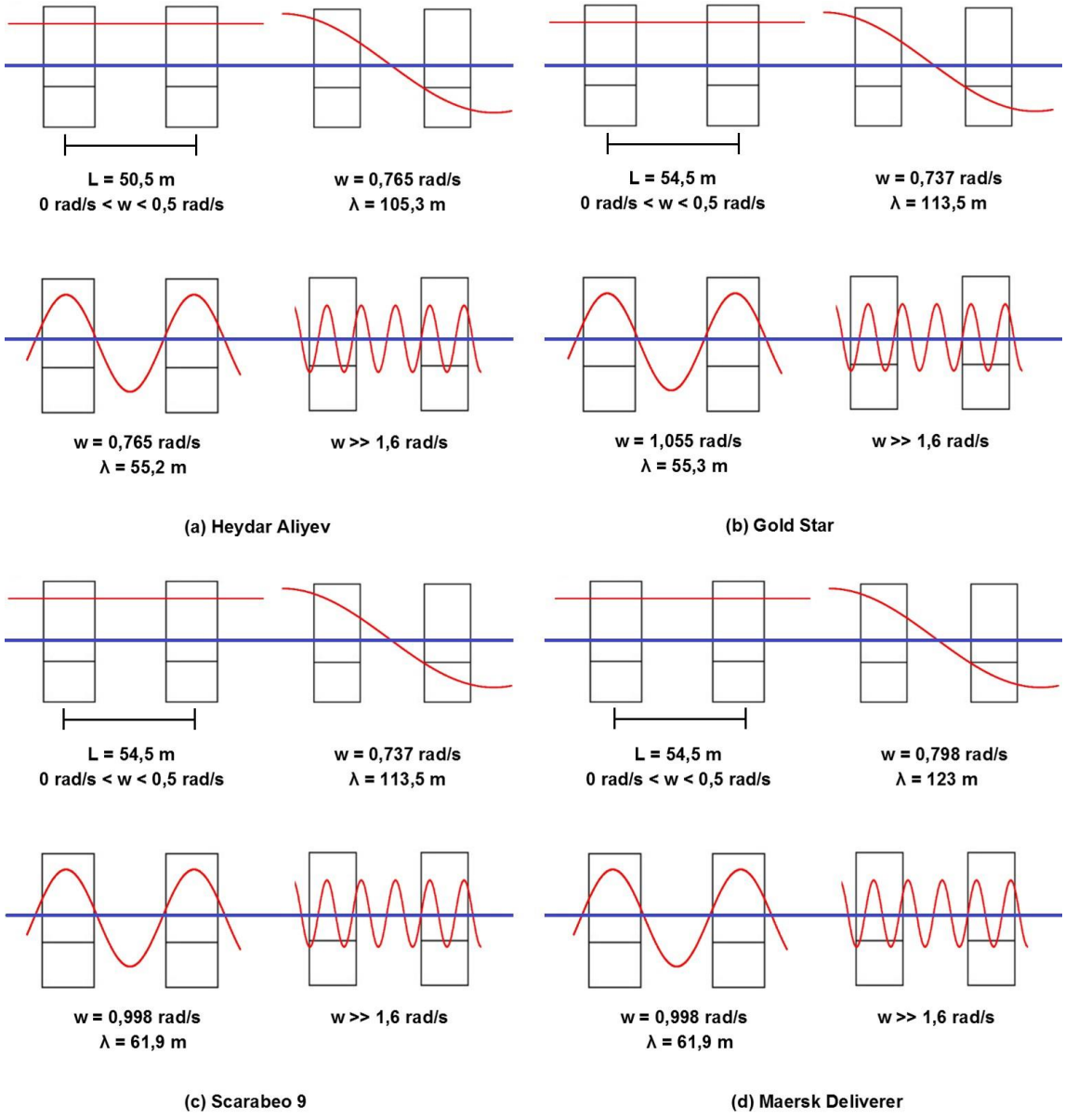


Figura 10: Gráficos de atuação das forças de Froude-Krylov

A primeira ilustração, na Fig. (10), da esquerda para a direita, de ambos os modelos de plataforma representam uma onda de baixa frequência, na qual a resultante em cada um dos conjuntos colunas/*pontoon* é igual, sendo assim, os modelos de plataforma possuem deslocamentos máximos para ondas contidas neste intervalo.

As ilustrações à direita e acima de (a), (b), (c) e (d), na Fig. (10), representam o primeiro ponto de anulamento da força de Froude-Krylov para os modelos de plataforma, nos quais a resultante de um conjunto possui mesmo módulo e sentido oposto ao outro.

Por fim, as ilustrações abaixo e à direita, representam ondas de alta frequência, as quais não geram modificações no campo de pressão atuante na coluna da plataforma. Sendo assim, a estrutura é praticamente transparente a passagem de ondas contidas neste intervalo.

3.3. Modelagem FPSO.

De maneira semelhante ao que vinha sendo feito nos conceitos de plataforma anteriores, o passo inicial de modelagem de plataformas FPSOs consiste na caracterização da geometria.

Nesta etapa, primeiramente optou-se por reduzir os modelos em escala real aplicando a eles um fator de escala, minimizando assim o tempo de simulação requerido.

Para escolha de um fator de escala adequado, foram realizadas três simulações. Nestas simulações utilizou-se um mesmo modelo de plataforma FPSO, variando o fator de escala e mantendo constantes os parâmetros de construção de malha, *max element size* e *defeaturing tolerance*.

Por fim, realizou-se a estimativa do tempo destinado à simulação do modelo em escala real, 1:1, considerando os mesmos parâmetros de geração de malha. Essa estimativa foi feita baseado na dependência exponencial entre o número de elementos e o tempo de simulação.

Na Tab. (10) estão contidos os resultados provenientes das simulações.

Tabela 10: Testes para diferentes fatores de redução de escala

Fator de escala	Frequência natural, $w_H\,[rad/s]$ [1]	Diferença percentual, %	N^o de elementos	Tempo de simulação
1:10	0,566	1,23	1.200	15 min
1:5	0,565	1,03	2.400	37 min
1:2	0,562	0,49	6.000	549 min ≈ 9 horas
1:1	0,559	0	12.000	49.417 min ≈ 34 dias

Através da Tab. (10) é possível visualizar que apesar de a escala 1:10 apresentar a menor diferença percentual em relação as demais escalas, o ganho de tempo em simulação compensa a sua utilização.

Outro aspecto é que a diferença percentual de 1,23% é aceitável, visto que nos conceitos anteriores observaram-se diferenças percentuais de mesma ordem de grandeza.

Um fator importante a ser destacado é de que, para efeitos de calibração e validação do modelo analítico, em relação aos resultados numéricos, não é necessário realizar uma etapa adicional de adequação da frequência natural de escala 1:10 para uma escala de 1:1. Futuramente, se necessário, esta adequação pode ser feita multiplicando a frequência natural de escala 1:10 por um coeficiente $\sqrt{\lambda}$, onde λ representa o fator de escala reduzida.

Por fim, importou-se a geometria de casco da Série 60, contida na biblioteca do Maxsurf, e, a partir desta geometria, realizou-se a etapa transformação paramétrica utilizando as dimensões de escala 1:10 em cada um dos quatro modelos contidos no banco de dados.

Abaixo, na Fig. (11), ilustra-se o procedimento de caracterização da geometria aplicado ao conceito de plataforma FPSO.

Utilizando o procedimento de redução da escala do modelo real descrito anteriormente, obtiveram-se os parâmetros respectivos aos modelos de plataforma FPSO, conforme contido na Tab. (11).

Tabela 11: Parâmetros principais do modelo em escala 1:10

Modelo	Perisai Kamelia	Armada Perdana	Capixaba	Cidade Anchieta
Comprimento, LOA [m]	26,37	30,8	34,60	34,40
Comprimento linha d'água, Lwl [m]	23,73	27,72	31,10	34,40
Boca, B [m]	4,08	4,60	5,50	5,20
Calado, H [m]	2,22	1,70	2,10	2,22
Deslocamento, Δ [t]	187,3	188,9	313,4	308,6
Coeficiente de bloco, Cb	0,85	0,85	0,85	0,85
Massa adicional, M_a [t]	116,2	168,8	272,5	241,7
Rigidez, k [N/m]	$9{,}73 \times 10^5$	$1{,}28 \times 10^6$	$1{,}72 \times 10^6$	$1{,}60 \times 10^6$
Frequência natural, *Wn* [rad/s]	1,79	1,89	1,71	1,71

De posse dos parâmetros em escala 1:10, contidos na Tab. (11), executou-se a etapa de transformação paramétrica na geometria de casco da Série 60, resultando nas geometrias de casco dos modelos FPSO em escala 1:10.

Na etapa seguinte, transladou-se cada uma das geometrias de casco, em escala 1:10, separadamente, do Maxsurf para a interface de modelagem do AQWA.

Importada a geometria, ajustou-se os parâmetros de simulação no AQWA, utilizando uma malha com *max element size* de 0,9m e *defeaturing tolerance* de 0,3m.

Um passo importante da simulação, para o caso do conceito de plataforma FPSO, foi a escolha adequada da direção de incidência da onda. Isto porque, o conceito de FPSO possui uma diferença significativa entre as dimensões de comprimento e boca. Na Fig. (12) segue a comparação da curva de RAO gerada através da incidência de ondas de proa (180°) e través (90°).

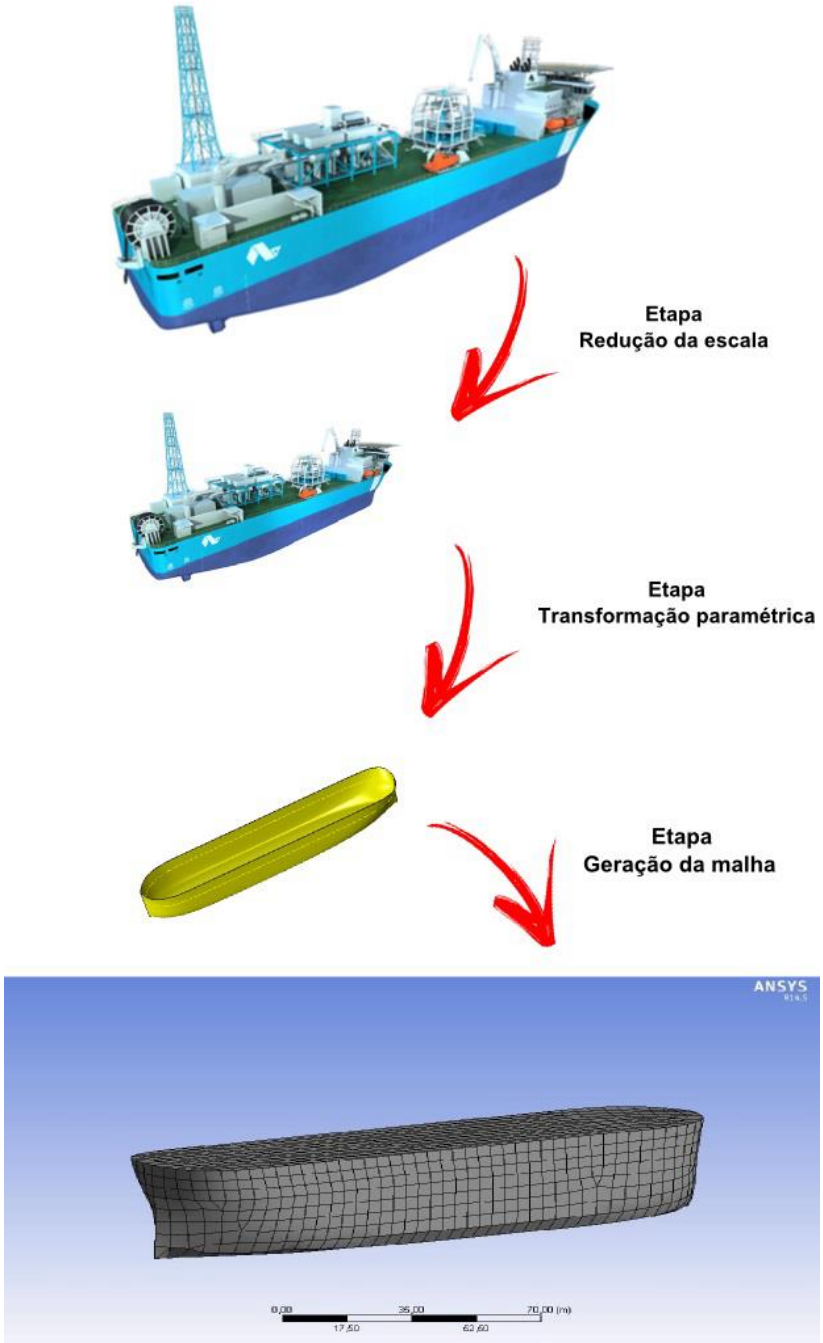


Figura 11: Procedimento de caracterização da geometria

A partir da Fig. (12) é possível perceber que o movimento de heave gerado por ondas de proa possui muito amortecimento associado, por este motivo, o movimento gerado por ondas de través é mais significativos quando comparado ao gerado devido à incidência de ondas de proa.

Em seguida foram feitos os cálculos analíticos de estimativa da frequência natural, através de uma planilha no Excel, utilizando o valor de massa adicional proveniente da simulação no AQWA, conforme apresentado na Tab. (11).

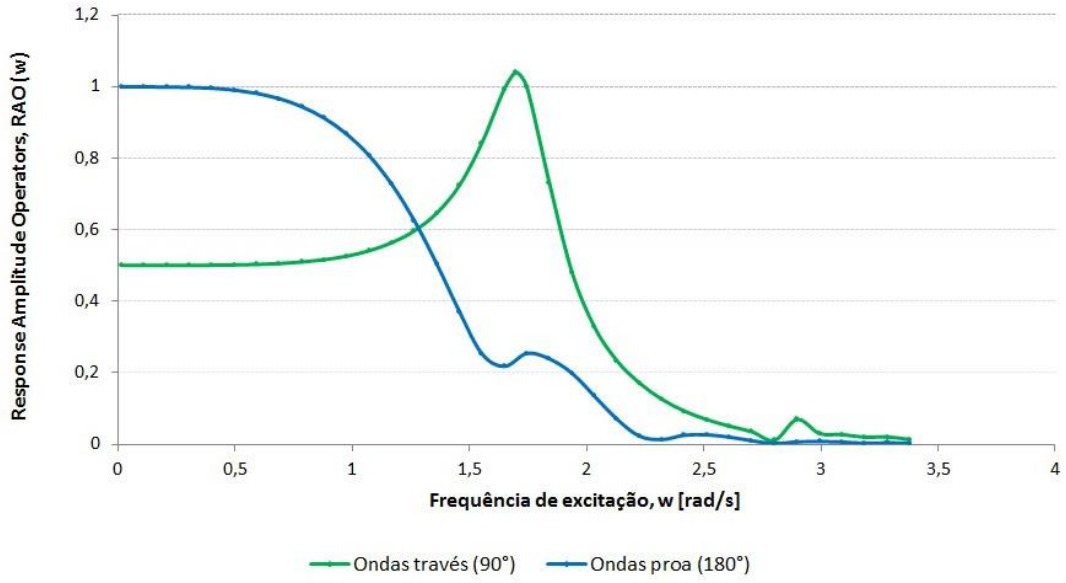


Figura 12: Comparação da curva de RAO gerada através da incidência de ondas de proa e través

Na Tab. (12) estão contidos os resultados comparativos entre a frequência natural analítica e numérica dos modelos de plataforma FPSO e, na Fig. (13), as curvas de RAO de ambas as análises.

A partir da Fig. (13) é possível observar que a frequência natural analítica se manteve deslocada levemente a direita do gráfico, representando a diferença percentual, proveniente da Tab. (12), de, em média, 5,66% em relação a frequência natural numérica.

A que se destacar que o valores de diferença percentual encontrados, mesmo incluindo os valores de massa adicional, provenientes do AQWA, nos cálculos analíticos, são

relativamente maiores do que os valores encontrados nas modelagens dos conceitos SPAR e semissubmersível. Isto porque, embora apresente ressonância, o movimento de heave em plataformas FPSO é bastante amortecido, principalmente porque quando o casco se move verticalmente ele gera muitas ondas, dissipando assim boa parte da energia. Esta parcela de amortecimento fica evidente quando comparada a magnitude do pico no ponto de ressonância da curva analítica em relação à curva numérica.

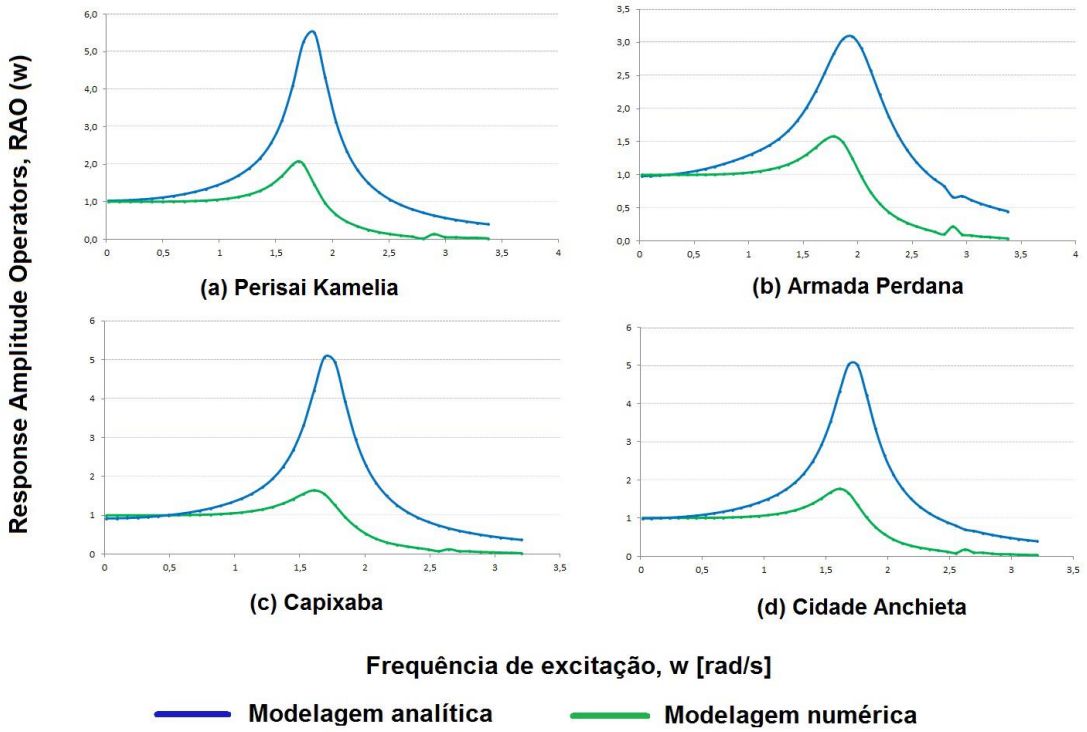


Figura 13: Resultados comparativos de frequência natural analítica X numérica

3.4. Modelagem monocoluna.

Conforme abordado no capítulo de fundamentação teórica, a monocoluna é um conceito de plataforma ainda em desenvolvimento. Por este motivo, a etapa de concepção de geometria se restringe à uma unidade em operação no Campo Piranema - Brasil. Na Tab. (13), seguem os dados coletados desta unidade.

Tabela 13: Coleta de dados da monocoluna

Nome	SSP-300 SEVAN PIRANEMA
Lâmina d'água	2.500 m
Local de operação	Campo Piranema
Diâmetro na linha d'água	88 m
Diâmetro do corpo principal	88 m
Diâmetro da saia	120 m
Largura do *Moonpool*	28,91 m
Calado de operação	39,5 m
Altura da saia	7,9 m
Altura do corpo principal	31,6 m
Air-Gap de operação	17,5 m
Deslocamento	262.000 t

O processo de caracterização da geometria foi realizado de maneira bastante similar ao procedimento adotado nos conceitos anteriores. Sendo assim, buscou-se simplificar ao máximo a geometria, de forma que fossem preservados apenas os componentes que tivessem influência na representação do fenômeno de interesse. De posse da geometria do modelo, ajustaram-se os parâmetros de simulação no AQWA, utilizando, inicialmente, uma malha com *max element size* de 12m e *defeaturing tolerance* de 2m, totalizando 2048 elementos. Na Fig. (14), é apresentado o procedimento de caracterização da geometria.

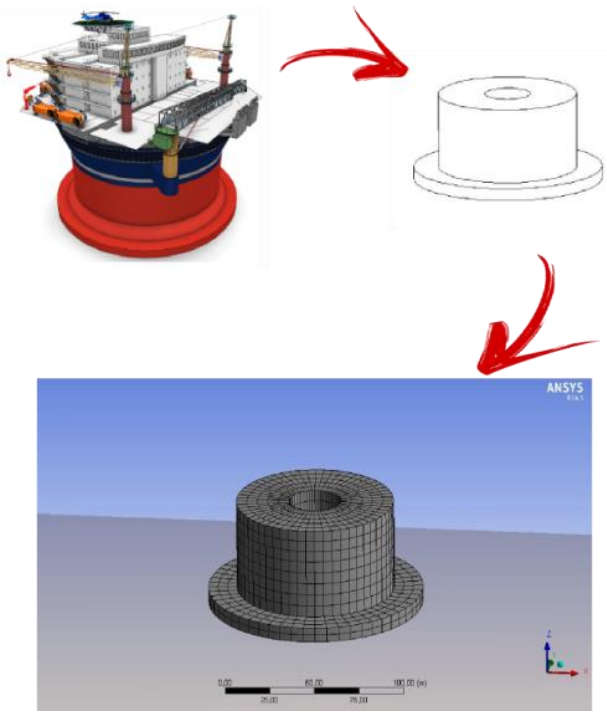


Figura 14: Ilustração do procedimento de caracterização da geometria

Em seguida realizou-se o cálculo da frequência natural analítica, através de uma planilha Excel.

É importante salientar que, para o conceito de plataforma monocoluna, é de fundamental importância a calibração do valor da frequência natural analítica através da massa adicional, pois esta desempenha papel importante na concepção dos componentes constituintes da geometria da plataforma.

Sendo assim, utilizou-se o valor de 359.000 t de massa adicional, proveniente do AQWA, para o cálculo da frequência natural analítica.

Na Tab. (14) são apresentados os resultados comparativos entre a frequência natural analítica e numérica e, na Fig. (15), as curvas de RAO de ambas as análises.

Tabela 14: Resultados comparativos de frequência natural analítica X numérica

Frequência natural teórica (W_{nt})	0,296 rad/s
Frequência natural numérica (Wn_{num})	0,297 rad/s
Diferença percentual (%)	0,32%

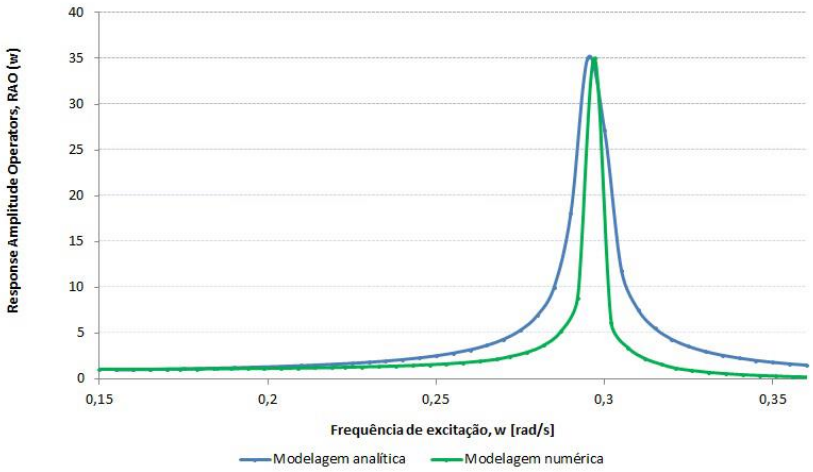


Figura 15: Curva RAO analítico X numérico

A partir da Fig. (15) observa-se que a curva analítica praticamente coincide com a curva numérica, representando a diferença percentual de 0,32% contida na Tab. (14).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

4.1. Relação entre a massa adicional / deslocamento

Na Tab. (15) estão representadas as relações entre a massa adicional e deslocamento de cada um dos modelos analisados.

A partir da Tab. (15) é possível observar que, para o conceito de plataforma SPAR, a massa adicional é um parâmetro pouco relevante para uma estimativa da frequência natural em heave. Isto pode ser justificado, principalmente, devido a sua disposição verticalizada na água.

Tabela 15: Relação m_a/Δ para modelos de plataformas SPAR, FPSO, semissubmersível e monocoluna

Nome do modelo de plataforma	Conceito	Relação de m_a/Δ
Constitution	SPAR	0,009
Diana	SPAR	0,008
Perisai Kamelia	FPSO (*Escala*1 : 10)	0,62
Armada Perdana	FPSO (*Escala*1 : 10)	0,89
Capixaba	FPSO (*Escala*1 : 10)	0,87
Cidade Anchieta	FPSO (*Escala*1 : 10)	0,72
Heyday Aliyev	Semissubmersível	1,04
Gold Star	Semissubmersível	1,11
Scarabeo 9	Semissubmersível	0,93
Maersk Deliverer	Semissubmersível	1,13
Sevan Piranema	Monocoluna	1,37

Em relação ao conceito de FPSO, a massa adicional apresentou-se como um parâmetro bastante relevante para uma estimativa da frequência natural em *heave*, assumindo um valor, em média, equivalente a 78% do deslocamento.

Em relação às semissubmersíveis, a massa adicional é, em média, equivalente ao deslocamento total da plataforma. Isto porque os *pontoons*, os quais são os principais responsáveis pelo deslocamento da plataforma, são também fonte de grande inércia adicional devido a sua disposição horizontalizada na água.

Ainda referente à Tab. (15), o conceito de monocoluna foi o que apresentou maior relação entre a massa adicional e o deslocamento total da plataforma.

Isto pode ser justificado devido a utilização de dispositivos hidrodinâmicos que proporcionam aumento da inércia adicional e do amortecimento da plataforma, possibilitando o emprego deste conceito em diferentes regiões de interesse.

4.2. Estratégias de minimização do tempo de simulação.

Uma estratégia de minimização do tempo de simulação, foi a redução de escala nos modelos de FPSO. Essa estratégia foi responsável pela diminuição do tempo de simulação de cada modelo de 34 dias para 15 min, com um percentual de diferença de 1% em relação a escala 1:1.

Isso é possível porque o método utilizado baseia-se na teoria de escoamento potencial, a qual não leva em conta efeitos viscosos, fazendo com que a simulação em similaridade de Froude represente 100% do fenômeno. Ao contrário, por exemplo, de uma simulação de resistência ao avanço.

Outra estratégia de mesma natureza foi aplicada na modelagem das plataformas SPAR, nesta optou-se por utilizar uma malha menos refinada, de forma que a malha utilizada fosse capaz de representar o movimento de heave sem agregar excessivamente o custo computacional. Esta estratégia permitiu a redução do custo computacional, por modelo de plataforma SPAR, de 7 horas para 20 min.

4.3. Seleção do conceito de plataforma com menor amplitude no movimento de *Heave.*

Como objetivo principal, o presente trabalho se propôs a selecionar um conceito de plataforma com menor amplitude no movimento de heave. Baseado nisto, foram feitas modelagens de diferentes modelos de unidades flutuantes. Destas modelagens, foram extraídos os períodos naturais que, juntamente com o espectro de mar da Bacia de Santos, encontram-se representados no gráfico contido na Fig. (16).

Na Fig. (16), o ponto representa o período natural médio dos modelos analisados, enquanto a barra representa o desvio observado.

Observa-se que o conceito de plataforma SPAR se manteve na região mais afastada do pico do gráfico do espectro de mar da Bacia de Santos, caracterizando assim, o conceito com menor amplitude de movimento de *heave* para operação nesta região.

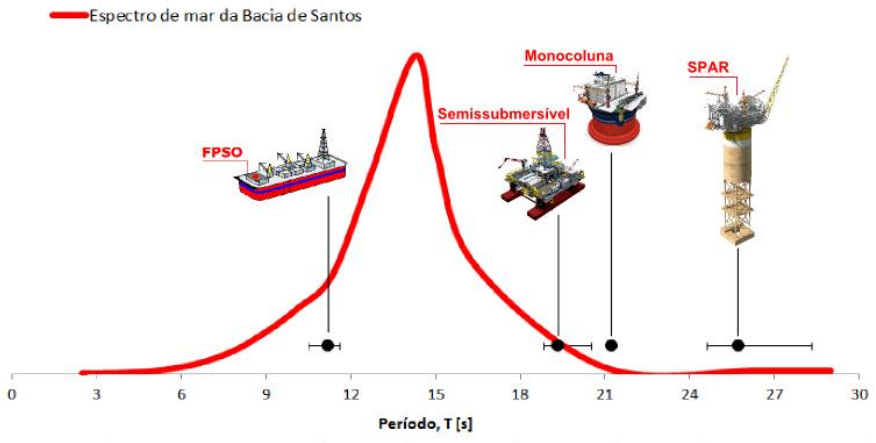


Figura 16: Comparação entre o período natural de diferentes conceitos de plataforma e o espectro de mar da Bacia de Santos

Observa-se também que o conceito de plataforma FPSO concentrou-se em uma região próxima ao pico do espectro de mar da Bacia de Santos, não sendo um conceito de plataforma ideal para atuação nesta região, no que se refere à amplitude do movimento de *heave*.

Apesar dos resultados terem sidos conclusivos, grande parte dos investimentos para aquela região recai na utilização de FPSO como plataformas *offshore*.

Isto deve-se à inclusão de critérios adicionais de seleção, os quais não estão inseridos no escopo deste trabalho. E, também, aos menores custos logísticos envolvidos na utilização de uma plataforma FPSO. As plataformas FPSO são capazes de realizar o armazenamento do petróleo extraído, sendo assim, o custo em viagens entre a costa e a Bacia de Santos caem consideravelmente, visto que essa região se localiza a mais de 300 km da costa.

Além disso, tanto as plataformas SPAR, monocoluna e semissubmersível necessitariam de navios aliviadores armazenagem do petróleo.

Por fim, verificou-se a acuracidade dos dados encontrados para cada um dos conceitos de plataforma abordados ao longo do desenvolvimento do trabalho. Na Tab. (16) encontram-se as faixas de valores típicos de período natural provenientes da literatura e a comparação destas faixas de valores com os períodos naturais encontrados neste trabalho.

Tabela 16: Comparação entre a faixa de valores de períodos naturais típicos provenientes da literatura e os períodos naturais calculados. **Fonte -** Zolnerkevic (2012).

Conceito	Períodos naturais de oscilação típicos [*s*]	Período natural médio calculado [*s*]
FPSO	5 - 12	11,2
Monocoluna	Não disponível na literatura	15,7
Semissubmersível	20 - 50	19,3
SPAR	20 - 35	25,7

A partir da Tab. (16), é possível perceber que ambos os modelos FPSO e SPAR encontram-se dentro da faixa de valores de períodos naturais de oscilação típicos. Também é possível observar que o período natural médio calculado da plataforma semissubmersível se manteve bastante próximo à faixa de valores proveniente da literatura. Isto pode ser justificado devido a possível diferença entre os deslocamentos dos modelos contidos no banco de dados e os utilizados para caracterizar o período típico deste conceito na literatura. Sendo assim, o período natural médio calculado se encontra dentro da faixa de valores aceitáveis de períodos naturais para o conceito de plataforma semissubmersível.

5. REFERÊNCIAS.

CAMPOS, Felipe Cruz Rodrigues de. **Análise dos critérios de estabilidade para projetos de plataforma do tipo monocoluna**. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Naval, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CHAKRABARTI, Subatra K.. **Handbook of offshore engineering.** Plainfield: Elselvier, 2005.

FALTINSEN, O M. **Sea loads on ships and offshore structures**. New York: Cambridge University Press, 1998.

FINOCCHIO JUNIOR, José. **Programação de parada de plataforma marítima utilizando o método da corrente crítica**. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

GONÇALVES, Rodolfo T. et al. Evolution of the MPSO (monocolumn production, storage and offloading system). **Marine Systems & Ocean Technology**. p. 43-51. Jun 2010.

SÁ, Fabio Moreira de. **Estudos comparativos e concepção de alternativas de plataformas do tipo mono-coluna para águas profundas e ultra profundas: Metodologia de projeto e comportamento hidrodinâmico.** 2006. 151 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SILVEIRA, Marcos Machado da. **Introdução ao apoio marítimo**. Niterói: Edição do Autor,

2013.

ZOLNERKEVIC, Igor. Desafios em águas profundas. **Pesquisa: FAPESP**, São Paulo, v. 68, maio 2012.

PREDICTION OF DELAYS IN SUPPLY LOGISTICS OF OFFSHORE PLATFORMS

Fun-sang Cepeda, Maricruz A. [1]; da Silva, Rafael Basilio[2]; Caprace, Jean-David[3]

[1]University Federal of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/Brazil.maricruzcepeda@oceanica.ufrj.br
[2]University Federal of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/Brazil. rafaelbasilio@poli.ufrj.br
[3]University Federal of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/Brazil. jdcaprace@oceanica.ufrj.br

ABSTRACT.

Nowadays, the oil offshore industry is making every effort to improve the logistic in oil production. Supply of offshore platforms require a high level of service using minimal logistic resources. Weather conditions and vessel off-hire are the main variables that induces delays in operations planning. These delays postpone or disturb the oil production in offshore platforms and FPSOs. Actual cargo logistic maritime fulfillment indicator shows that there is a huge potential for improvement. The objective of this paper is to forecast the delays that are occurring during the delivery of the supplies for offshore platforms operating in Brazil. In order to achieve this goal, a database of 2 851 offshore supply vessels travels have been processed with several data mining tools such as apriori, decision tree and multi-layer perceptron. The type of cargo (dry bulk, liquid bulk or container), the cargo priority, and type of operation (load, backload or transshipment) are some of the input parameters of the models developed in this study. The findings provide a new way to address efficiency and performance supply logistics of offshore platforms even if some future model improvements are required. Knowing in advance were the delays are more susceptible to occurs in the supply chain allows the planners to anticipate their strategies and delivery routes.

Keywords: Offshore, Supply Chain, Logistic, Offshore Supply Vessel, Offshore Platform

1. INTRODUCTION.

Logistics plays a fundamental role in the petroleum offshore industry as the distance between offshore units is constantly increasing. The offshore logistics uses huge infrastructure to maintain and develop operations of offshore units, composed by airports, ports, hubs, warehouses, specialized vessels, among other resources.

Supply logistics between a land depot and the offshore installations can be a complex logistics problem to solve for optimality (Nordbø, 2013).

One of the greatest challenges for offshore operations is getting a suitable level of operations planning to use a minimum amount of resources but with high service level. Weather conditions and vessel off-hire are the main variables, which affects the operations planning. Cargo transportation to and from offshore units is one of the main offshore logistics activities, which include personnel transportation, storage, inland transportation and cargo handling, towing and mooring rigs, among many others. The main types of cargo to be transported are food, industrial water, diesel, fluids, dry bulks, pipes, riser and general cargo. The type of vessel which is widely used to transport cargo is the Platform Supply Vessel (PSV). PSV is a vessel specifically designed to supply oil platforms in deep seas (Leite, 2012).

The present paper analyzed a database, which contains a list of cargo supplied to offshore units in the period from January 2014 to July 2014 in Campos Basin in Brazil. Association rules (A-priori), decision trees and multilayer perceptron neural network have been implemented to predict the delays of the logistic supply chain.

2. BUSINESS UNDERSTANDING.

A Maritime Cargo Fulfillment Indicator (MCFI) have been developed in this study. This indicator measures the percentage of cargo supplied before deadline in relation to total amount of cargo supplied to offshore units for a period of one month. For logistics operations, the major challenge is to keep the indicator above 76%. Various issues affect this indicator such as weather conditions, vessels off-hire (near 10%), deck area and number of berths limits, unexpected failures, multiple goods, and priority of some cargoes.

Environmental conditions affect widely operations performance, as PSVs propellers have not enough power to keep its position within the specified range and offshore cranes does not able to withstand strong gusts of wind. Another alternative is to use Anchor Handling Tug Supply

(AHTS) vessels to supply cargoes to offshore units. This type of vessel has a higher propulsion capacity that allows operating in weather with adverse conditions. However, AHTS vessels have a smaller cargo capacity and are more expensive than PSVs. Therefore, there is a great challenge to optimize the offshore logistics operations.

The present paper is focusing the analysis in the logistic of Campos Basin in Brazil. Distance to offshore units is one of the main factor that is affecting the logistic operational performance as Brazil oil production is concentrated more and more in deep seas, Figure 1

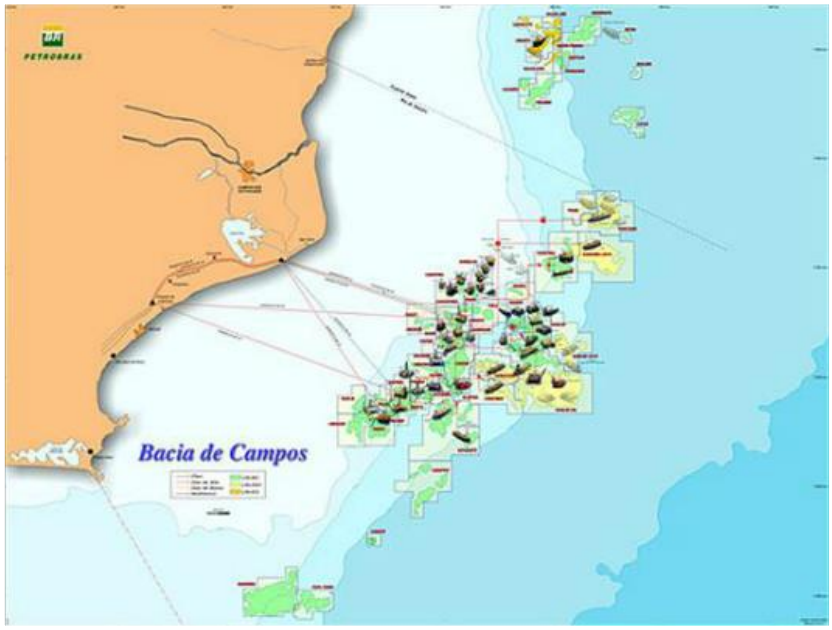


Figure 1 - Offshore Units in Campos Basin, (Ferreira Filho, 2014)

Vessel fleet dedicated to perform offshore operations is composed by different dedicated type of vessels (PSV, AHTS, etc.). This is not efficient, because the vessels are rarely fully loaded (either the deck is not used, or the tanks underneath the deck are not used) and represents a costly solution. In general, logistics system of offshore support is composed by a supply flow which begins with national and foreign suppliers, passes through warehouses and ports and ends with the supply to offshore units as shown in Figure 3, **(Ferreira Filho, 2014)**. The logistics process takes place according to the workflow shows in Figure 2. Materials for the units can be stored either in own warehouses or supplier warehouses. Both warehouses must provide materials via land transportation performed by trucks to the supplier bases. Each request is turned into transport requests.

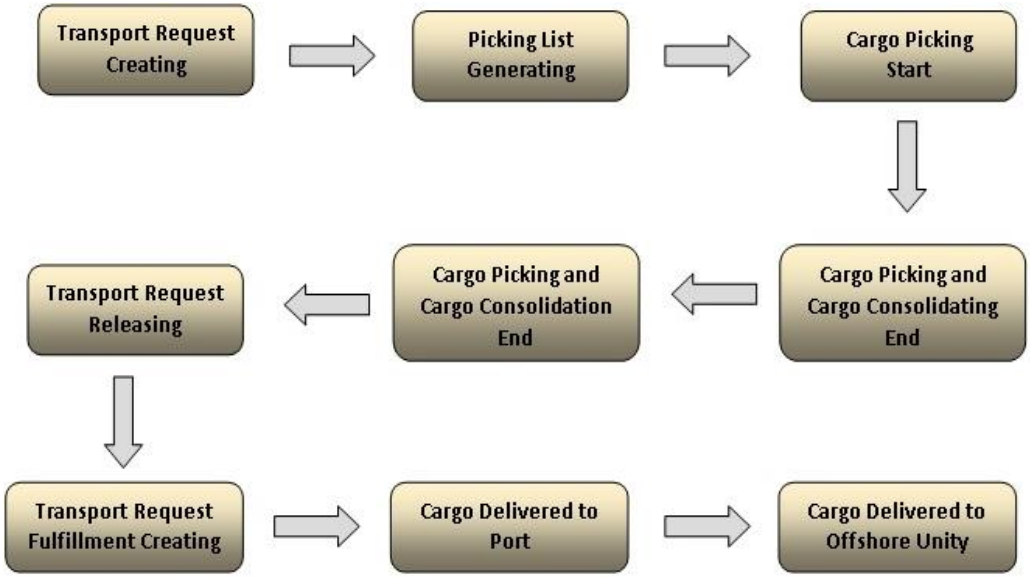


Figure 2 - Logistics Process Workflow

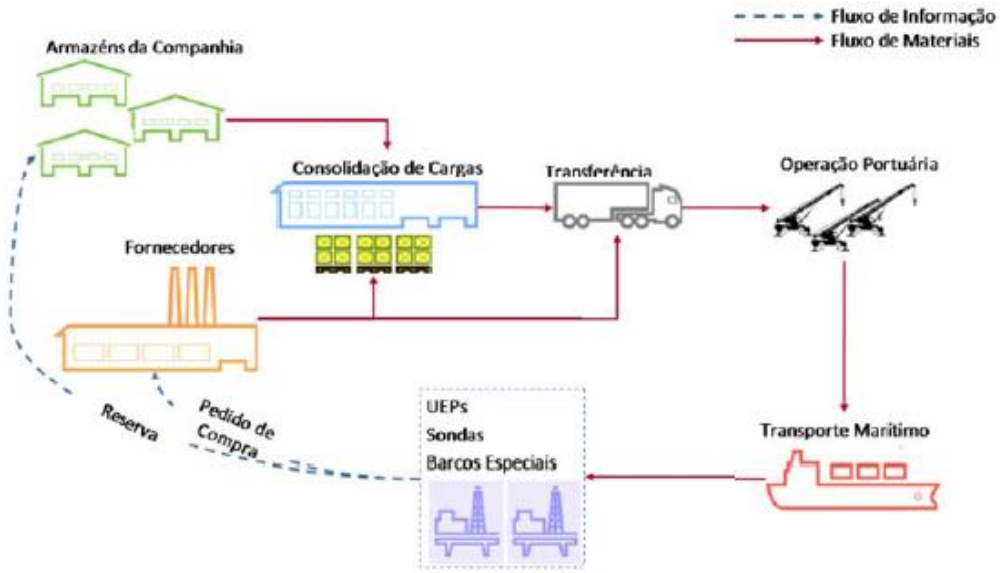


Figure 3 - Typical Offshore Logistics System, (Ferreira Filho, 2014)

After analyze and consolidation of the data, the requests orders are used to plan the available supplier vessels. Cargo weight and dimensions are important information in scheduling process as they limit the amount of cargo to be loaded to deck or underneath the deck into tanks. Furthermore, it is very important to taking into account the delivery deadline. The

earliest date and latest date are associated to each request. The service quality will be affected whether the cargo is delivered respectively before or after the earliest date or latest date. **(Ferreira Filho, 2014)**.

The principal objective of this paper is to analyze the request order database and recovers hidden information that can be found through data mining. Three different algorithm have been applied. First, association rules has been detected among available transactions on the database such as cargo weight versus delay status, cargo weight versus type of operations, etc.; Then, decision trees and multilayer perceptron neural network models were used to carry out predictions on cargo delays.

3. METHODOLOGY.

Data Mining (DM) is the analysis of observational data sets to find unsuspected relationships and to summarize the data in ways understandable and useful to the data owner **(Hand, Mannila, & Smyth, 2001)**.

When carrying out a DM project, it recognizes that activities outside the main process are consuming more time and have great influence on the ultimate success of the project. Therefore, many publications on DM discuss the construction or application of algorithms to extract knowledge from these data. DM process generally emphasizes at the stage of data analysis and uses different algorithms to predict information about entire project. Finally, DM is a multi-disciplinary field that is at the intersection of statistics, machine learning, database management, and data visualization **(Feelders, Danielsa, & Holsheimer, 2000)**.

In this paper, we use Apriori association rules, Multilayer Perceptron Neural Network, and Decision Trees algorithms to analyze a database of offshore supply vessels to predict delays in supply logistics of offshore platforms.

4. DATA UNDERSTANDING, DATA EXPLORATION, AND DATA PREPARATION.

The analyzed database consists of a list of cargoes orders, which are supposed to be delivered to offshore units by PSVs. Each one of 239 921 rows of the database represent a transport request item and have key information about cargo which will be supplied to offshore units presented in Table 1.

ITEM	DESCRIPTION
Transport ID	Fulfillment ID number of a transport request performed by a vessel in a trip. Each one has many supplied cargoes, which are identified by a number of transport request
TR Type	Type of a transport request, R1 means the own company is the proprietary of the cargo. R2 means the cargo belongs to a supplier
TR Number	Is the quantity of a transport request
TR Items	Quantity of a transport request item. As an example, many pumps are loaded in a box inside a container, in this case, each box is an item and the transportation requisition (TR)
Priority	Classification of priority of cargo. Normal priority (N) means the cargo will be supplied to unit according a supplying schedule. Emergency priority (E) means that cargo will be supplied as soon as possible from the moment they are requested.
Source	Location where the vessel is departing. It can be a port or offshore unit (OU)
Destination	Location where the vessel is arriving. It can be a port or OU
Description	Vessel name which supplies cargo to OU
Creation date	Date when transport request is created
Later date	Date-line when cargo is supposed to be delivered to OU by the vessel
Earliest date	Earliest date from which cargo should be delivered to OU by the vessel. Represents the OU availability to receiving the vessel
Release date scheduled	Date when transport request is released to programming
Expected date	Date scheduled to initiate supplying by the vessel
Delivery date	Date when cargo is delivered to OU
Total weight	Total weight of loaded cargo in each transport request
Cargo Classification Type	Cargo class, it can be General Cargo(GC), Liquid bulk Cargo(LC), or Dry Bulk Cargo (DC)
Cargo Sub-Classification Type	Cargo subclass (tubes, cladding, risers, etc.)
Cargo Type	Type of cargo (toxic/infectious substance, corrosive, common, etc.)
Type of shipment	Type of operation (load, backload or transshipment). “Load” is a travel where destination is an OU and departure is a port. Backload is a travel where destination is a port and departure is an OU. Transshipment is a travel where destination and departure are OU.

Table 1 - Information about loads database

Figure 4 shows the offshore logistics operations performance measured by Maritime Cargo Fulfillment Indicator (MCFI). The figure cover the period from January 2014 to July 2014.

This indicator shows the fulfillment of the delivery time showing that the goal was not reached.

Days of delay are the difference between delivery date and deadline. Frequency of delays is plotted in Figure 5. The higher frequency is presented between 1 to 3 days. A classification of the delays has been defined as follow: 0 to 1 days is [Much Lower], 2 to 3 days is [Lower], 4 to 5 days is [About the same], 6 to 7 days is [Higher], and more than 7 days is [Much Higher]. Absolute frequencies distributions of the delays status were plotted in Figure 6.

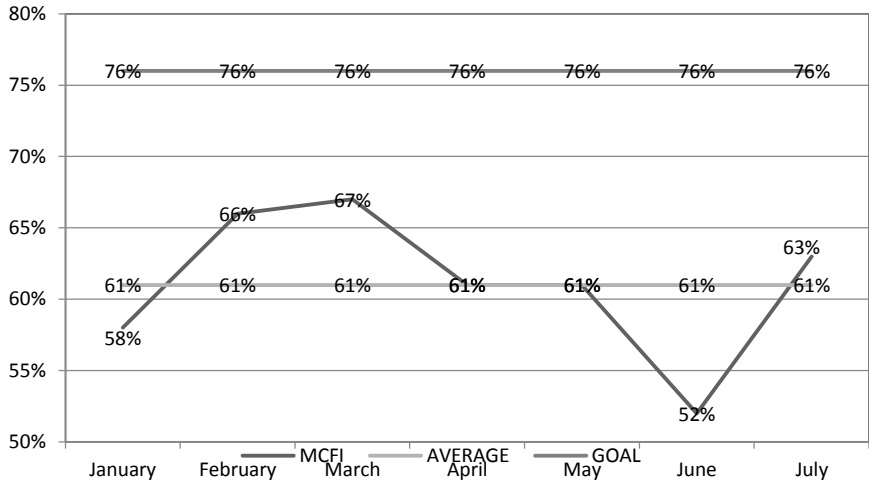


Figure 4 - Logistic Operations Performance

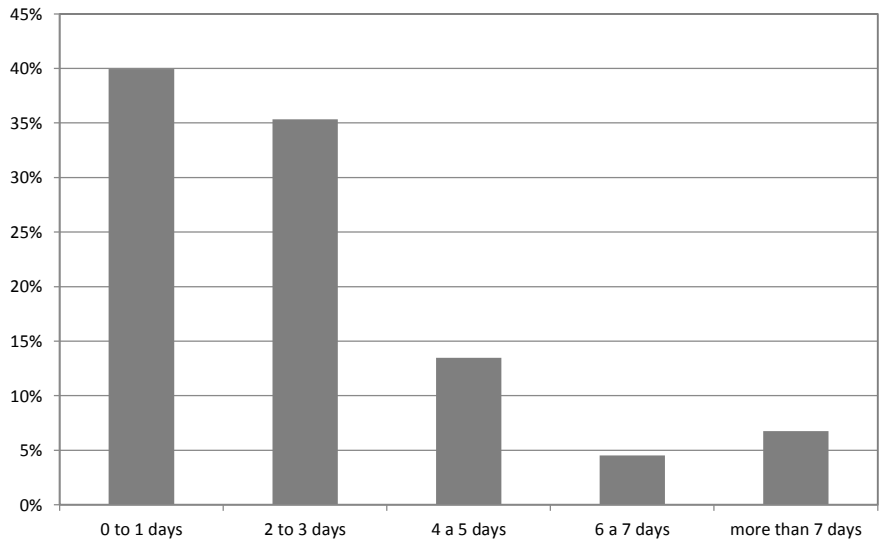


Figure 5 - Relative Frequency of Delays

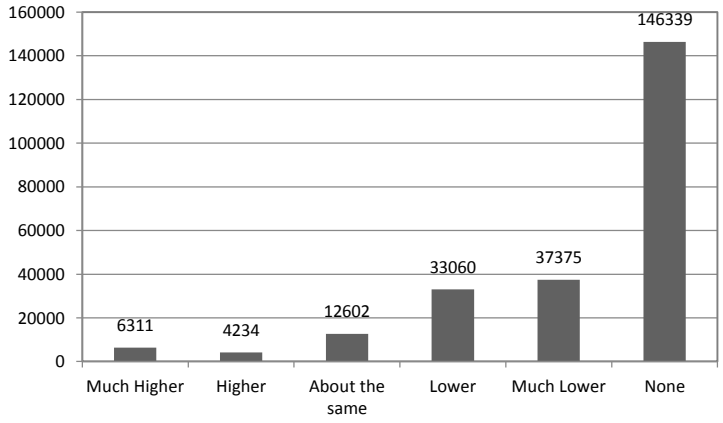


Figure 6 - Absolute Frequencies Distribution of the Delays Status

Extreme outliers' values were excluded using Equation 1 and 2. Outliers and missing values represent 24 116 records on 239 921 which means 10% of the database.

$$p < Q_1 - (3 \cdot IQR) \quad \textbf{(1)}$$

$$p < Q_3 - (3 \cdot IQR) \quad \textbf{(2)}$$

Where p data points,

Q_1 the lower quartile,

Q_3 the upper quartile,

IQR the distance between Q_1 and Q_3.

In addition to the fact that logistics service has not performed above the desired goal (MCFI > 76%), the percentage of cargoes delayed plus one day is around 40% of the total amount of delays, which can be considered very high. In Figure 7 can be seen the proportion of normal and emergency priorities over the analyzed period. Figure 8 shows the proportion of each type of operations (Load, Backload and Transshipment) over the analyzed period.

As shown, cargoes movements are considered one of the most important operations, because it could affect oil production. Indeed, some cargoes have a huge impact on the development of the production and the habitability (foods and water) of the offshore units. We can also conclude that the amount of transport requests items delivered after deadline is higher for load

than backload and transshipment operations. The proportion of delayed items is respectively 48%, 18% and 23% for load, backload and transshipment operations.

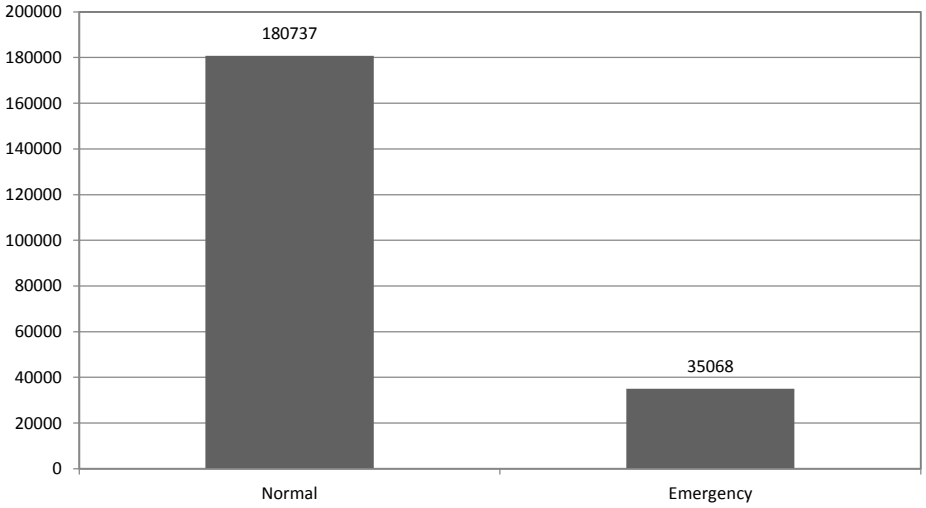


Figure 7 - Proportion of Normal and Emergency Priorities

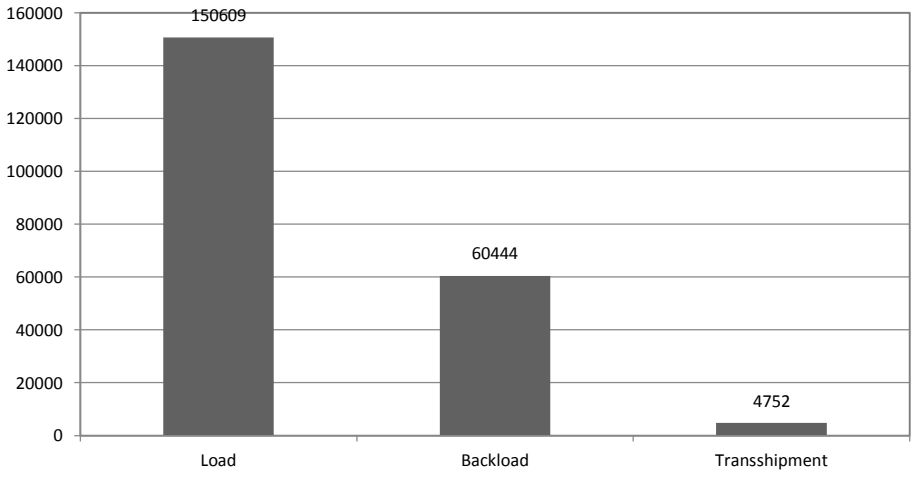


Figure 8 - Proportion of Load, Backload and Transshipment Operations

Figure 9 shows the load frequency per weekday over the covered period. It can be seen that the distribution of delays is almost the same over the week. In Figure 10, we can see a histogram of the status of each trip performed over the covered period. This indicates whether cargoes were delivered before the deadline (within of time) or not (out of time).

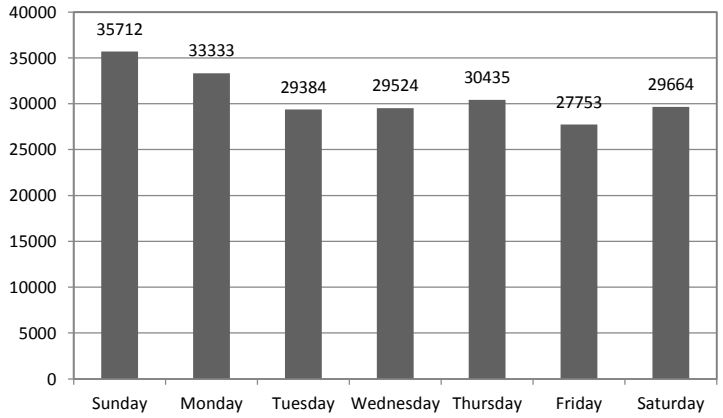


Figure 9 - Proportion of Weekdays for Cargo Delivery

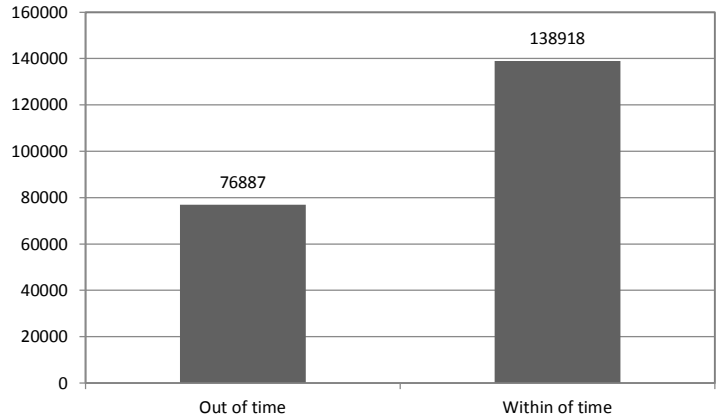


Figure 10 - Distribution of Term Status

5. RESULTS AND KNOWLEDGE DISCOVERY.

In this section, the models and results are described and discussed. Modeling step has been divided in three steps explained in this section. First, association rules inference algorithm (apriori) has been applied on the database to find possible relations between transactions such as cargo weight versus delay status, cargo weight versus type of operations, etc. Then, multilayer perceptron neural network models were used to carry out predictions on cargo delays starting from voyages features such as weekdays, origin, destination, cargo class and type of operations. Finally, decision tree model has been used to undertake predictions about delay status and type of operations (load, backload and transshipment).

In order to feeds the different models, the load order request database (239 921 rows) presented in Table 1 have been gathered in 2 851 voyages as shown in Table 2.

ITEM	DESCRIPTION FOR EACH TRIP
Quantity of ID	It counts the number of transport request items
Summary of Cargo weights	It sums the cargo weights of transport request items
Average Delay days	It averages days delays of transport request items
Normal priority	it sums the amount of transport request items with normal priority
Emergency priority	it sums the amount of transport request items with emergency priority
General Cargo	it sums the amount of general cargo transport
Liquid bulk Cargo	it sums the amount of liquid bulk cargo transport
Dry Bulk Cargo	it sums the amount of dry bulk cargo transport
Total of Transshipments Operations	it sums the amount of transport request items supplied by transshipment operations
Total of Load Operations	it sums the amount of transport request items supplied by load operations
Total of Backload Operations	it sums the amount of transport request items supplied by backload operations
Out of time	it sums the amount of transport request items supplied after deadline(later date)
Within of time	it sums the amount of transport request items supplied before deadline(later date)
Name of Ship	is the name of the vessel that perform operations of supplying to offshore units

Table 2 - Description of voyages data (2 851 records)

Selected input and outputs of the different models are presented in Table 3.

Item number	Inputs		Outputs
	Inputs name	Description	
1	Quantity of cargo items	It counts the number of transport request items.	1. Apriori: Association rules 2. Multilayer Perceptron: Average of delay days 3. Decision Trees: Average of delay day
2	Total weight of Cargo items	It sums the cargo weights of transport request items.	
3	Average Delay days	It averages day's delays of transport request items.	
4	Priority	Classification of priority of cargo. Normal priority (N) means the cargo will be supplied to unit according a schedule supplying schedule. Emergency priority (E) means that cargo will be supplied as soon as possible from the moment they are request on.	
5	Cargo Classification Type	Cargo class, it can be General Cargo (GC), Liquid bulk Cargo (LC), or Dry Bulk Cargo (DC).	
6	Type of shipment	Type of operation which vessel performs. Load corresponds when the source is a port and destination is an OU. Backload corresponds when the source is an OU and destination is a port. Transshipment corresponds when the source and destination are OU.	
7	Status of delay	If cargo is within of time or out of time of term.	
8	Ship ID	Ship identification use only in Multilayer Perceptron and Decision Trees.	

Table 3 – Input and output values of the models

Apriori Algorithm.

Apriori proceeds by identifying the frequent individual items in a transaction database and extending them to larger and larger item sets as long as those item sets appear sufficiently often in the database to determine association rules, which permit to determine trends in the database.

Support and Confidence are major indicators in this technology. Support is defined as fraction of transactions that an item set, i.e, is the frequency of occurrence of an item set. An item set is one which support is equal or greater than a defined threshold. Thus, confidence measures how often items in Y appear in transactions that contain X (Agrawal R., 1994). For this work we used an apriori algorithm. Confidence and support values have respectively set to 90% and 80%.

Apriori model have provided relations, which was not known previously. Table 4 shows the fifteen association rules considered satisfactory from an operational perspective. For instance backload operations with dry bulk cargo and transshipment operations with liquid bulk cargo has a probability to suffer higher delays.

Consequent	**Precedent**
Delays average	Backload, Dry bulk
Delays average	Emergency
Delays average	Transshipment, Liquid Bulk
Transshipment	Expired
Backload	Delays average, Emergency
Transshipment	Expired, Delays average
Delays average	Emergency, Transshipment
Expired	Emergency
Backload	Expired, Emergency
Backload	Delays average
Delays average	Transshipment
Delays average	Dry Bulk
Dry Bulk	Backload
Backload	Delays average, Expired
Backload	Emergency, Delays average

Table 4 - Apriori Results: Association Rules

Multilayer Perceptron.

A multilayer perceptron (MLP) neural network is a feed-forward artificial neural network model that maps sets of input data onto a set of appropriate outputs. A MLP consists of multiple layers of nodes in a directed graph, with each layer fully connected to the next one. Except for the input nodes, each node is a neuron (or processing element) with a nonlinear activation function. MLP utilizes a supervised learning technique called back-propagation for training the network (Rosenblatt, 1961), (Rumelhart, 1986). MLP is a modification of the standard linear perceptron and can distinguish data that are not linearly separable. (Cybenko, 1989).

The learning set of the MLP has been set to 70% (1 995 records) of the data while test set used 30% (856 records) of the data available. MLP has been used to predict Average of delay days for each trip. The prediction carried out for delays average on logarithm base shows good correlation as we can see in Figure 11. R^2 is 0.991, mean absolute error is 0.007, mean squared error is 0.001, root squared error is 0.026, and mean signed difference is 0.001. This give a good confidence in the results of the model.

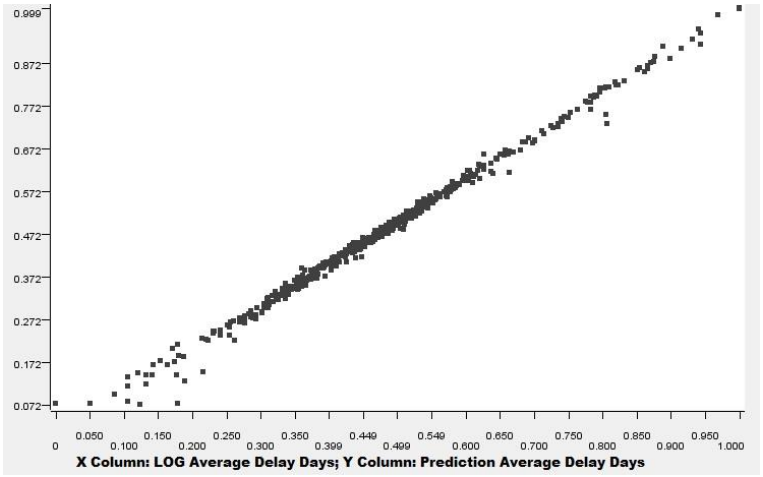


Figure 11 – Multilayer Perceptron Neural Network error of the test set (856 records)

Decision Trees.

A decision tree can be used as a model for sequential decision problems under uncertainty. This describes graphically the decisions to be made, events that may occur, and outcomes associated with combinations of decisions and events. Probabilities are assigned to events, and values are determined for each outcome. A major goal of the analysis is to determine the

best decisions (Middleton, 2015). Decision trees are commonly used in operational research, specifically in decision analysis, to help identify a strategy most likely to reach a goal. Another use of decision trees is as a descriptive means for calculating conditional probabilities. (Quinlan, 1987), (Y. Yuan, 1995).

The learning set of the decision tree has been set to 70% (1 995 records) of the data while test set used 30% (856 records) of the data available. Decision tree have been used to predict average of delay days for each trip. Figure 12 shows results for this model, which provided a good accuracy (99.87%). Indeed, error is 0.121% in relation to prediction delays average, and wrong classified 1 on 824.

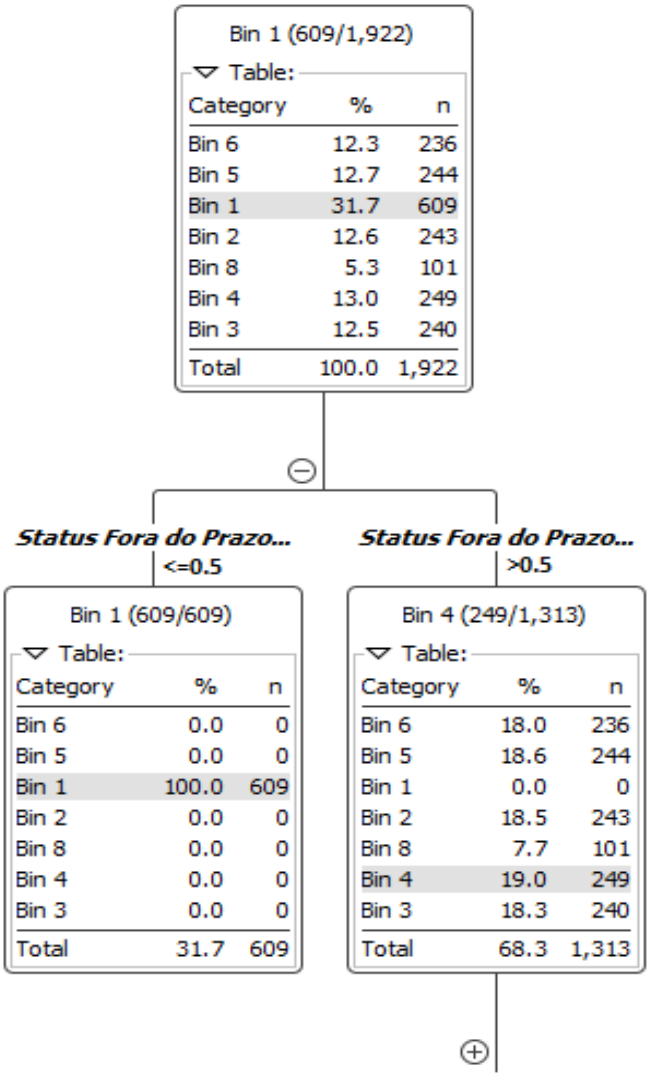


Figure 12 – Decision Trees Results: View and Accuracy

6. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK.

This paper presented an application of machine learning algorithms on the analysis and prediction of offshore supply delays. Three models have been used, i.e. apriori association rules, multilayer perceptron neural network and decision tree. All presented a great reliability (accuracy better than 95%) during testing (test set have been set up to 30% of available data, ie. 856 records).

Knowing in advance were the delays are more susceptible to occurs in the supply chain, allows the planners to anticipate their strategies and delivery routes. These findings provide a new way to address efficiency and performance supply logistics of offshore platforms even if some future model improvements are required.

It is interesting to highlight that the most of working time have been spent for data collection, data preparation and data cleaning. Before to deploy the results in the industry we recommend to investigate more carefully the results provided here. For instance a time attribute could be included as well as more input data, e.g. one year span instead of six months.

7. REFERENCES.

Agrawal R., S. R. (1994). Fast Algorithms for Mining Association Rules. Proceedings of the 20th VLDB Conference. Santiago.

Banker, R., Charnes, A., & Cooper, W. (1984, September). Some models for the estimation of technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science, 30(9), 1078–1092.

Caprace, J. -D., & Coronel, J. R. (2013). Measuring the efficiency of a ship fleet. Libro de Ponencias y Conferencias del XXIII Congreso Panamericano de Ingenieria Naval, Costa Afuera e Ingenieria Portuaria COPINAVAL 2013 (pp. 665-679). Margarita: IPEN.

Charnes, A., Cooper, W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 429 - 444.

Cybenko, G. (1989). Approximation by superpositions of a sigmoidal function . Mathematics of Control, Signals, and Systems, 2(4), 303–314.

Feelders, A., Danielsa, H., & Holsheimer, M. (2000, August). Methodological and practical aspects of data mining. Information & Management, 37(5), 271–281. doi:10.1016/S0378-7206(99)00051-8

Ferreira Filho, V. (2014). Gestão de Operações e Logística na Produção de Petróleo. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.

Hand, D., Mannila, H., & Smyth, P. (2001). Principles of Data Mining. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Leite, R. (2012). Maritime transport of deck Cargo to Petrobras fields in Campos Basin: an empirical analysis, identification and qualification of improvement points. Rio de Janeiro: PUC-RIO.

Middleton, M. R. (2015). Introduction to Decision Trees. In M. R. Middleton, TreePlan Tutorial (pp. 157-168).

Nordbø, H. (2013). Optimal configuration of supply logistics for remote oil and gas fields. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.

Quinlan, J. R. (1987). Simplifying decision trees. International Journal of Man-Machine Studies 27 (3): 221. doi:10.1016/S0020-7373(87)80053-6.

Ragsdale, C. (2012). Spreadsheet Modeling and Decision Analysis: A Practical Introduction to Business Analytics. Virginia: Joe Sabatino.

Rosenblatt, F. x. (1961). Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms. Washington DC: Spartan Books.

Rumelhart, D. E. (1986). Learning Internal Representations by Error Propagation (Vol. Volume 1: Foundations.). MIT Press.

Wikipedia, t. f. (2014, September 14). Decision Tree. Retrieved from http://en.wikipedia.org/wiki/Decision_tree

Xiao, F., Ligteringen, H., Gulijk, C., & Ale, B. (2015, February). Comparison study on AIS data of ship traffic behavior. Ocean Engineering, 95, 84–93.

Y. Yuan, S. M. (1995). Induction of fuzzy decision trees. Fuzzy Sets and Systems 69, 125–139.

Zubcoff, J., Pardillo, J., & Trujillo, J. (2009, June). A UML profile for the conceptual modelling of data-mining with time-series in data warehouses. Information and Software Technology, 51(6), 977–992.

PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GNL EN EL INTERIOR DE UNA RÍA GALLEGA. EL DIFÍCIL EQUILIBRIO ENTRE LOS REQUISITOS DE SEGURIDAD PARA LA NAVEGACIÓN Y LA CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE FRENTE A LOS BENEFICIOS DEL MERCADO ENERGÉTICO

Alvarez Feal, J.C.[1]; Rodriguez Guerreiro, M.J.[2]; Fraguela Formoso, J.A.[3]; Carral Couce, L.[4]; Villa Caro, R.[5]

Escuela Politécnica Superior, Universidade Da Coruña, Campus de Esteiro, 15471, Ferrol, España. carlos.alvarez@udc.es[1]; maria.guerreiro@udc.es[2]; jafraguela@udc.es[3]; lcarral@cdf.udc.es[4]; raul.villa@udc.es[5]

ABSTRACT.

Las rías gallegas, por su configuración geomorfológica y riqueza marisquera han sido y son fuente de riqueza para gran parte de la población que habita en sus riberas. Las necesidades de suministro energético de una región o nación no puede ni debe ser a costa de menoscabar la capacidad de producción marisquera de una ría cuando hay alternativas técnicamente más aconsejables a la vez que económicamente rentables. El trabajo presenta el histórico de las fases de autorización administrativa, destacando las sucesivas variaciones en el proyecto y la aportación de estudios técnicos como medio de sortear la normativa aplicable, siguiendo un camino lleno de vericuetos legales. También se realiza un recorrido de la normativa aplicable a la navegación de gaseros comentando la continua rebaja en las exigencias para las maniobras de entrada-salida derivadas de las sucesivas redacciones de las normas de navegación específicas para gaseros cargados propuestas por la Autoridad Portuaria del puerto de Ferrol. También se presenta la evolución de nuevas vías de negocio del mercado del GNL, como son las recargas de buques con gas almacenado en las plantas de almacenamiento y regasificación para su exportación a terceros países y el creciente interés por la sustitución del combustible hasta ahora utilizado para la propulsión para pasar a utilizar GNL, así como los efectos que tendría su puesta en marcha sobre el medio ambiente y

en el incremento del riesgo por aumento del número de maniobras de entrada-salida de la ría.

Palabras clave: recursos marisqueros, mercado energético, medio ambiente, navegabilidad.

1.- INTRODUCCIÓN.

Las rías gallegas, por su configuración geomorfológica y riqueza pesquera y marisquera han sido desde la época del dominio romano fuente de riqueza para una parte importante de la población que habita en sus riberas. Así lo demuestran los numerosos restos de antiguas edificaciones, para elaboración de salazones y explotación de los recursos del mar. Con el paso de los siglos estas explotaciones han evolucionado, centrándose en la actualidad en la extracción de diversas especies de bivalvos con gran demanda en el mercado como son la almeja, berberecho, zamburiña y vieira. De los frutos de esta extracción viven gran cantidad de familias. La progresiva puesta en marcha de las depuradoras de aguas residuales de las riberas Norte y Sur de la ría de Ferrol, junto con los entronques de los colectores que hasta hace poco tiempo vertían aguas residuales sin depurar a la ría, va a mejorar sin duda la calidad y la superficie útil para este tipo de explotaciones. Actualmente parte de la superficie está clasificada según las Directivas de la Unión Europea como zonas "C", **Ref. [1]**. Para el ejercicio de la acuicultura y el marisqueo es preciso tener en cuenta la clasificación de las aguas que se realiza en base a la calidad de las mismas (Reglamentos Comisión Europea nº 852/2004, 853/2004, 854/2004, 2073/2005 y 1881/2006). Según estos reglamentos, existen tres tipos de zonas: Zonas de clase **A** , clase **B** y clase **C.**

Actualmente en la Comunidad Autónoma de Galicia hay más de 11 zonas clasificadas como zonas "C" por su alto contenido de coliformes, parte de ellas en la ría de Ferrol

Esto implica que las especies extraídas en las zonas C necesitan pasar un proceso de depuración en una zona "A" lo que implica un trabajo posterior a la extracción: transporte, colocación en bateas de depuración y dejar pasar el tiempo necesario para que el contenido en materias contaminantes acumuladas en los organismos se reduzca a niveles por debajo de los permitidos en la normativa. Esto provoca un tiempo de demora entre la primera extracción y su comercialización, aparte de un elevado porcentaje de pérdidas debidas a la mortandad provocada por la necesaria manipulación en todas estas operaciones. También la cotización en

lonja de los mariscos procedentes de bateas de depuración es menor que la procedente de zonas A, lo que muchas veces hace poco rentable la extracción.

Por otro lado están las necesidades de cobertura de la demanda energética de una región o de una nación. También está la oportunidad de negocio en la exportación a otros países de energía y el mercado de combustibles menos contaminantes que los tradicionales. Esto hace que el mercado relacionado con el gas natural licuado (GNL) esté en un continuo desarrollo, algo frenado por la crisis económica, pero en cualquier caso en continua expansión.

Pero esta necesidad y posibilidades reales de negocio no puede ni debe ser a costa de menoscabar la capacidad de producción marisquera de una ría, que es una fuente de riqueza sostenible.

2.- OBJETIVOS.

El trabajo presenta en primer lugar el estado de las plantas de regasificación en España analizando el ratio demanda/oferta. Se hace un recorrido histórico de las fases de la autorización administrativa de una planta de almacenamiento y regasificación de gas natural licuado, ubicada dentro de la ría de Ferrol, Galicia (España). Se comienza relatando el proceso de concesión de la superficie del espacio marítimo-terrestre. Se destacan las sucesivas variaciones en el proyecto y la aportación de estudios técnicos de diferente rigurosidad técnica como medio para sortear la normativa aplicable, siguiendo un camino lleno de vericuetos legales.

También se realiza un recorrido de las implicaciones de la ubicación, en el interior de una ría muy protegida, pero con un canal de acceso con limitaciones de geometría, calado, corriente y vientos dominantes. Se comenta la normativa aplicable a la navegación de gaseros destacando la continua rebaja en las exigencias para las maniobras de entrada-salida en base a sucesivas modificaciones de las normas de navegación específicas para los gaseros cargados propuestas por la Autoridad Portuaria del puerto de Ferrol, con el visto bueno del Ministerio de Fomento Español.

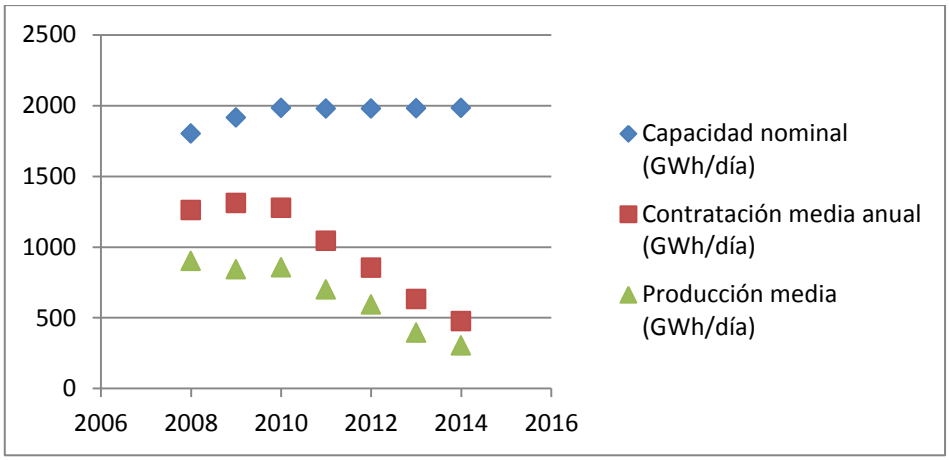
3.- MATERIAL Y MÉTODOS. DOCUMENTACIÓN.

3.1. Histórico de la capacidad de producción frente a demanda interna.

En la actualidad España dispone de cerca de la mitad de todas las plantas europeas de regasificación, en las que se importa el gas en forma de GNL para su posterior inyección a las redes de transporte. A estas infraestructuras se suman otra en Portugal (Sines) y las que se proyectan en Canarias (Tenerife y Gran Canaria). Analizando los datos se puede concluir que en España hay demasiadas plantas de regasificación para el consumo nacional. Del resumen anual del año 2014 elaborado por el gestor técnico del sistema, Gas Natural Gestor, se extraen varios datos importantes.

En efecto, es de público conocimiento que las infraestructuras de gas en España están sobredimensionadas. Según se extrae del **Ref. [2]**, la evolución de la capacidad de producción de las plantas de regasificación ha ido aumentando desproporcionadamente según se indica en la gráfica 1, donde se aprecia el desfase entre demanda y la instalación de nuevas infraestructuras en los últimos 7 años.

Gráfica 1.- Evolución capacidad plantas regasificadoras españolas frente a demanda



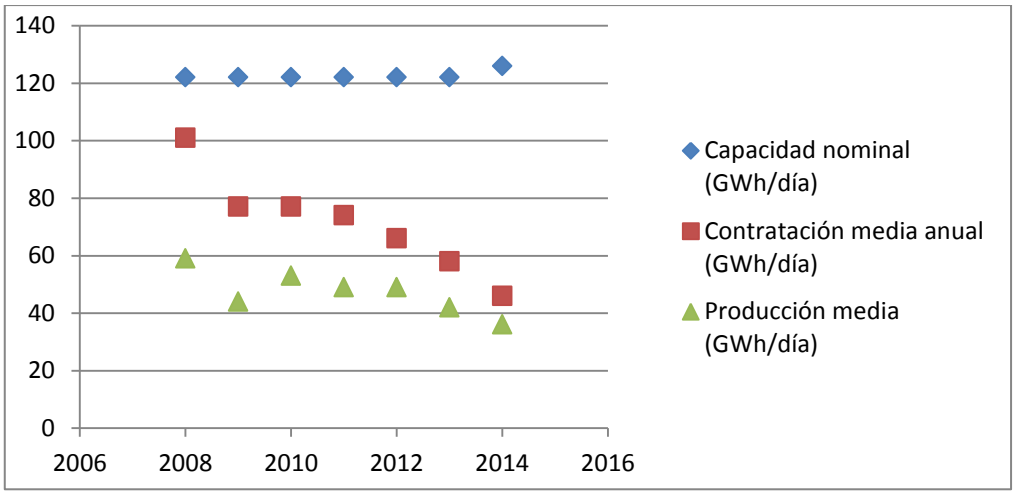
En concreto, mientras la demanda media diaria ha bajado continuamente de 1260 GWh/día en 2008 hasta menos de 500 GWh/día en 2014, la capacidad nominal de las plantas inclusos ha aumentado de 1800 GWh/día a 1950 GWh/día, con el consiguiente desfase entre ingresos y gastos por retribuciones anuales a los inversores. El ratio de utilización medio del conjunto de las plantas de regasificación en el año 2014 fue del 15 %, según **Ref. [2].**

Debido a lo anterior, el sistema gasista está dando prioridad a la entrada de gas licuado (más caro para el sistema gasista) tal como se aprecia en el gráfico adjunto de la memoria del año 2014 de Enagás, con la gravedad de que ya se ha realizado una ingente inversión en un nuevo gasoducto entre Omán y Almeria, de nombre Medgaz.

Actualmente el sistema gasista tiene en hibernación la planta de almacenaje y regasificación de El Musel (Gijón), de idénticas características a la de la Ría de Ferrol. Lo que confirma que las infraestructuras gasistas están sobredimensionadas.

En el caso de Reganosa es más sangrante, salvo el año 2008 que es cuando se hicieron las pruebas a potencia nominal de los ciclos combinados de sus socios Gas natural y Endesa la producción media ha ido cayendo progresivamente desde 77 GWh/día hasta los 46 GWh/día del último año. Esto deja en evidencia que ni es estratégica, que su necesidad es cada vez menor y que no pasaría nada si se cerrara ya que lo que aporta actualmente se podría suministrar desde las otras plantas o por gasoducto con las actuales infraestructuras y compromisos de suministro en vigor

Gráfica 2.- Evolución de la producción de gas en la planta de Reganosa



A pesar de esta realidad en la actualidad los promotores de Reganosa pretenden solicitar ampliar la capacidad de regasificación de la planta con el único fin de aumentar sus retribuciones anuales en función de la mayor capacidad nominal de producción y poder justificar la solicitud de ampliación del plazo de la concesión, como más tarde se verá.

Si la demanda no es tan elevada, ¿Cómo se puede llegar a esta situación con exceso de oferta? La contestación la podemos encontrar en el sistema de retribuciones que tiene establecido el sistema gasista en España.

Con la intención de favorecer que la iniciativa privada invirtiese en infraestructuras energéticas que cubran la demanda nacional de gas futura, pero de cuyas elevadas inversiones no se puede hacer cargo el estado español, el sistema retributivo garantiza la devolución de la inversión realizada, repartida en los años que dure la concesión, aparte de unos intereses para compensar los gastos financieros. También contempla una retribución anual en función de la capacidad nominal en concepto de disponibilidad. Por tener un orden de magnitud en la planta de regasificación de Galicia esto representa un coste en torno a unos 40 millones de euros anuales, aunque no inyecte un solo metro cúbico de gas a la red de gasoductos. Estos gastos y los del resto de las plantas en España suponen un gasto fijo que hay que repercutir a los consumidores.

Si la capacidad instalada estuviese equilibrada con la demanda esto no supondría mayor problema. Actualmente, como se desprende de los datos, la capacidad de producción está muy sobredimensionada.

Estos criterios de retribuciones provocan que el simple hecho de realizar la inversión sea un negocio en sí mismo, independiente de la producción real posterior. Además el hecho de disponer de una infraestructura operativa facilita acceder a otros negocios, como pueden ser la exportación de GNL a terceros países así como el suministro de GNL para consumo propio de los buques tanto para propulsión como generación eléctrica, en sustitución de combustibles fósiles.

3.2 Histórico del proyecto de Reganosa, la planta de regasificación en Galicia.

Para comprender los vericuetos del proceso de autorización del espacio marítimo-terrestre en los que se instaló posteriormente la planta de Reganosa hay que recorrer sucesivas fases a lo largo del tiempo.

Fase 1.- La concesión original de esa superficie del espacio marítimo-terrestre venía motivada por la necesidad de limpiar y desgasificar los tanques de los barcos antes de entrar a efectuar tareas de reparaciones por motivos de seguridad. Se concedió a la empresa Deslastres y

Desgasificaciones (DESSA), cuyos socios iniciales eran los dos astilleros principales de la ría de Ferrol y la empresa de remolcadores. Fue concedida inicialmente por O.M. de 1 de julio de 1977, y se transfirió a la empresa Forestal del Atlántico, S.A. por O.M. de 5/04/1988. Solo era cambio de titularidad, por lo que el resto de condiciones permanecían en vigor. En concreto, actividades de deslastre y desgasificación de tanques de buques. Esta concesión finaliza el 13 de julio de 2017.

Fase 2.- En julio de 1988 FORESTAL DEL ATLÁNTICO solicitó a la Autoridad Portuaria modificase su concesión y se incluyese en la misma una ampliación de superficie en 72905 m^2 y ampliación de uso para producción, transporte y almacenamiento, venta y consumo de colas y productos derivados, además de comprometerse a seguir realizando los servicios originales de DESSA. Se aprobó esta concesión el 14/02/1990.

Fase 3.- En 29/12/1993 la Autoridad Portuaria (acuerdo del 22/12/1993) amplía concesión del uso a Combustibles B y C y otros. A raíz de esto, Forestal del Atlántico, S.A. construye en la zona Este varios tanques de almacenamiento. Con esto amplió su negocio a la compraventa de hidrocarburos.

También es importante destacar el impacto que supuso la nueva actividad de Forestal del Atlántico ya que las instalaciones originales de DESSA solo tenían cinco (5) tanques mientras que en la actualidad, alcanza un total de cuarenta y tres (43) tanques, con un total de capacidad de almacenamiento de 6.841 m^3 en productos químicos y 270.700 m^3 en combustibles y derivados del petróleo. También añadieron las instalaciones de una central de cogeneración de 24 MW, de la que solo aprovecha un exiguo 8 %, según **Ref. [3].** El resto lo exporta a la red eléctrica, con la contaminación de aire por combustión de fueloil y slops procedentes de las limpiezas de tanques y la contaminación del agua de mar usada para la refrigeración. Estas instalaciones contradicen lo exigido en **Ref. [17]** en cuanto a posible efecto dominó entre instalaciones clasificadas como peligrosas.

Fase 4.- Más tarde, a petición de Forestal del Atlántico, S.A., se concede modificación de la concesión para ampliación de superficie. Las actividades que contempla esta concesión, según consta en el título de la concesión, **Ref. [4]** no variaban respecto a la anterior. Esta concesión solo afecta a las superficies ahora ampliadas que tiene 30 años a partir de la concesión, esto es, hasta 14/05/2027.

Fase 5.- Para adecuar esta concesión a la normativa exigible Forestal del Atlántico, S.A. tuvo que someter a aprobación una Declaración de Impacto Ambiental, que finalmente fue aprobada según **Ref. [5]** para una ampliación de superficie de 77.810 m^2. La obra se ejecutó entre los años 1999 y 2000.

En la Declaración de Impacto ambiental sobre el proyecto de ampliación de la concesión de Punta Promontorio solicitada por Forestal del Atlántico, S.A. (**Ref. [5]**) se especifican las obras que se evalúan:

> *"Construcción de instalaciones para el atraque simultáneo de hasta cuatro buques; dos de gran tonelaje (hasta 50.000 TRB) y otros dos o tres más pequeños de medio tonelaje. Remodelación de los viales de acceso necesarios y construcción de un tramo de enlace con la CL-122, que garanticen el tráfico fluido de productos por carretera.*
>
> *Instalación de infraestructuras, de redes y servicios auxiliares, de apoyo y secundarios para el funcionamiento general de la zona".*

Como se puede apreciar, ninguna de estas obras tiene que ver con las obras y usos posteriormente concedidos a Reganosa.

Fase 6.- En paralelo con estos trámites, Reganosa inicia -en marzo de 1999- la solicitud de autorización de una planta de almacenamiento y regasificación de GNL en Punta Promontorio, presentando ante el Ministerio de Economía un proyecto básico que resumía en 18 escasas hojas un proyecto de más de 24.000 millones de pesetas (140 millones de euros). Posteriormente en el proyecto constructivo se realizaron cambios sustanciales puesto que, entre otras cosas, se eliminó una planta de cogeneración de 40 MW , el quemador de gases de boil-off y la sustitución de vaporizadores de combustión sumergida por otros de circuito abierto utilizando agua de mar, claramente más ventajosos económicamente.

Con esta fecha del 19 de marzo pretendió burlar la exigibilidad de someterse a Declaración de Impacto Ambiental, que entró en vigor 3 días más tarde, dándose la paradoja que un año antes la empresa Forestal sí tuvo que someterse a este trámite para una ampliación de muelles y de superficies ganadas al mar y Reganosa lo evitó, presentando un proyecto en el que no se utilizaba agua de mar para la regasificación y tampoco tuvo en cuenta los requisitos que la **Ref. [6]** exigía para la navegación de gaseros hasta/desde la planta. Posteriormente utilizaría

agua de mar para la regasificación y admitió que iba ser necesario efectuar un dragado en el canal de entrada para facilitar la entrada/salida de gaseros cargados. Pero evitó las exigencias derivadas de estos requisitos para lograr la autorización inicial sin complicaciones.

Posteriormente, en fase de construcción, modificó la instalación y adjuntó estudios donde se presentaba la anulación del quemador de gases de boil-off como una alternativa ecológicamente más favorable, ya que se evitaba la emisión de CO_2 a la atmósfera. Evitaba decir que en caso de sobrepresión tendría que emitir a la atmósfera gas natural, que tiene un impacto como gas de efecto invernadero varias decenas de veces superior al CO_2. A la vez, para justificar el uso de agua de mar presentó un estudio realizado con el programa CORMIX, mundialmente utilizado para estudiar la dispersión de emisiones gaseosas o líquidas, concluyendo que si bien el uso de agua de mar para regasificación provocaba un enfriamiento el agua, el vertido se mantenía en superficie con lo que la acción de los rayos del Sol (energía considerada renovable) calentaba el agua, con lo que el resultado sobre la temperatura era prácticamente inapreciable.

Revisando los datos de entrada a dicho programa se ha comprobado que los datos sobre densidad que se introdujeron para la simulación se correspondían con agua dulce en vez de salada. Así se explica por qué el vertido flotaba. En realidad el vertido más frio tiene mayor densidad y se deposita en el fondo, provocando una estratificación del agua de la ría. El agua más fría puede afectar a la reproducción de muchas especies de bivalvos, sensible a las bajas temperaturas en su crecimiento y su periodo de fertilidad. También adornaron la esterilización del agua de mar por el uso de hipoclorito para evitar incrustaciones en la instalación, alegando que el hipoclorito ser obtenía directamente del agua de mar mediante un proceso de electrolisis y que por tanto, como su origen era natural no podía provocar daños. La realidad es que la esterilización mata las larvas, plancton, etc., que sirven de alimento a los bivalvos que hay en el fondo. No solo se baja su temperatura sino que se disminuye su capacidad de alimentación y por tanto tamaño de lo extraído.

Fase 7.- En fecha 24 de enero de 2001 Forestal del Atlántico, S.A. solicitó: “autorización para la transmisión de una cuota parte del 40 % de la concesión de la que es titular Forestal del Atlántico, S.A. a la Sociedad Regasificadora del Noroeste S.A. (REGANOSA) participada por Forestal”, indicando que también se “ha solicitado autorización administrativa”. Al anuncio publicado por la Autoridad Portuaria en el BOE de 9 de agosto de 2001 en el que se

somete a información pública la solicitud para la modificación de la concesión otorgada por acuerdo de Consejo de Administración de la Autoridad Portuaria de Ferrol-San Ciprian, con fecha 14 de mayo de 1997, para las obras de construcción de una Planta de almacenamiento y regasificación de gas natural licuado (GNL) en Mugardos, numerosas asociaciones de vecinos presentaron alegaciones exponiendo fundamentalmente dos razones:

a) No se debería admitir que REGANOSA presentase esta solicitud ya que esta empresa no era titular de la mencionada concesión del año 1997. Es más, en esa fecha ni siquiera estaba constituida como entidad jurídica. En último caso Forestal debería renunciar a la parte de concesión que no quisiese y Reganosa iniciar un procedimiento nuevo de concesión, según exige **Ref. [7].**

b) No es posible ceder parte de una concesión para dedicarla a otra actividad no prevista en la concesión primitiva (manipulación de Gas Natural Licuado). La aprobación de tal solicitud para realizar la actividad de regasificación y almacenamiento implicaba una autentica modificación del objeto concesional, para cuya aprobación conforme a Ley debería haberse seguido el procedimiento que la Ley de Costas **Ref. [8]** y la Ley de Puertos **Ref. [7],** establecen para el otorgamiento de las concesiones, iniciando un nuevo procedimiento.

Haciendo caso omiso de las alegaciones, la Autoridad Portuaria aprobó la transmisión. Las reacciones de la Autoridad portuaria ante las numerosas alegaciones presentadas y contenciosos iniciados por asociaciones de vecinos ante tribunales españoles fueron dos:

1) El 31 de octubre de 2002 el Presidente de la Autoridad Portuaria de Ferrol-San Ciprián comunicó al Consejo de Administración que habían suscrito una póliza de responsabilidad civil para los consejeros y sus cónyuges a fin de quedar cubiertos ante una posible sentencia condenatoria. Esta póliza, pagada con dinero público, cubre por valor de varios cientos de millones de euros las irresponsables decisiones del Consejo de Administración.

2) Coincidiendo con estas fechas y para facilitar la aprobación de decisiones posiblemente fuente de discusión, cambiaron la asignación de dietas por asistencia a los Consejos de Administración, incluyendo la posibilidad de cobrar dietas sin asistir, con el único requisito de delegar el voto. Así, desde 20 de octubre de 2002 los miembros del

> Consejo de Administración de la Autoridad Portuaria reciben unas dietas por asistencia a los plenos aunque no asistan. Esto facilita enormemente la toma de decisiones.

Con esta cesión Reganosa ganó un tiempo precioso. Por una parte evitaba iniciar una nueva solicitud de concesión, a la vez que presentar diferentes estudios que le iban a ser exigidos. Por otro lado Forestal hacia un buen negocio puesto que cedía, una parte de la concesión que le suponía unas tasas de menos de 80.000 euros/año por un precio de venta de 21 millones de euros y unos terrenos que son valorados el día 3 de marzo del 2001 en 285.480 euros, son vendidos el día 21 de marzo del año 2001 a REGANOSA en la cantidad de 4.449.459 euros según **Ref. [9]**. Sorprenderá la gran diferencia y parece no entenderse como Reganosa, conocedora del importe real de los cánones por metro cuadrado/año de superficie terrestre (199 ptas/m^2/año) y por plano de agua (33 ptas/m^2/año) que figuraban en la concesión ya compartida, acepta este meteórico importe. La razón está en que era conocedora de que una vez conseguida el acta de puesta en servicio de la planta, el estado se comprometía a devolver toda la inversión realizada, vía sistema retributivo de las infraestructuras gasistas del Estado. Así ambas empresas salían ganando: una inmediatamente y otra recuperaba el exceso pagado con el paso de los años que durase la concesión.

Fase 8.- Según Comunicación de fecha 26 julio de 2002 del entonces Presidente de la Autoridad Portuaria -Guillermo Grandío Chao- al Consejo de Administración de la misma, que expone: En fecha 01.06.2001 Forestal y Reganosa presentan en la Autoridad Portuaria solicitud de modificación de la concesión que tenían compartida, válida solamente para las actividades de "recepción, manipulación y expedición de graneles y mercancía general para las actividades de Forestal del Atlántico", aportando la documentación y proyecto básico correspondiente, a los efectos de permitir la construcción de una planta de almacenamiento y regasificación.

Esta solicitud obtuvo su concesión por acuerdo de la Autoridad portuaria de 31/07/2002, pero, dado que solo implicaba cambio de usos de la concesión original de Forestal del 29/07/1997, tiene como fecha de caducidad final el 29/05/2027. Por haber utilizado la concesión del el año 1997 de la empresa Forestal en vez de iniciar una nueva solicitud, en el año 2015 se ha solicitado ampliación del plazo de concesión por 15 años más, alegando realización de obras con posterioridad a la concesión del 2002. Esto tampoco es cierto ya que las únicas obras

realizadas en la concesión de Reganosa han sido las contenidas en la concesión de julio de 2002 para instalación de recepción, almacenamiento y regasificación de GNL.

3.3 Histórico de las Normas sobre Navegación de gaseros en Ría de Ferrol

Las regasificadoras de gas natural licuado (GNL) necesitan un suministro periódico de gaseros cargados, que permita asegurarla producción contratada, a la vez que mantenga los niveles de stocks mínimos para cubrir la demanda estacional, que son fijados por el gestor del sistema gasístico.

Por la orografía del canal de entrada y condiciones de mareas, corrientes y mareas la navegación de buques gaseros está obligada a cumplir unas Normas específicas, diferentes a las Normas de Navegación comunes para el resto de buques mercantes, **Ref. [10].**

En la **Ref. [11]** se ha estudiado los condicionantes por la orografía y condiciones climáticas de los puertos donde hay plantas de gas en España.

Desde la puesta en servicio de la regasificadora de Ferrol, en noviembre de 2007, se han publicado hasta 5 versiones diferentes de las Normas de Seguridad para la Entrada, Atraque, Desatraque y Salida de Grandes Buques Gaseros en la Ría de Ferrol, Ref. [12] a la **Ref. [16]**.

En cada una de ellas se rebajan las exigencias, tanto de las capacidades de tiro delos remolcadores de auxilio, como condiciones de viento, estado de marea, etc.

Así en la **Ref. [12]** se exigían todas las maniobras en marea alta diurna, visibilidad de 1200 m, 4 remolcadores de 50 t de tiro cada uno por requisitos de simetría, dos de ellos de tracción ASD, límite de viento de 15 KN, buques hasta 300 m eslora y 140.00 m3 y guardia de dos remolcadores (uno en la terminal de 50 t de tiro y otro similar en muelle con respuesta inferior a 1 hora.

En las sucesivas versiones se han ido variando las condiciones hasta la última **Ref. [16],** en la que se admiten maniobras diurnas y nocturnas (solo exige visibilidad de 2500 m en vez de 1200 m), También se autorizan maniobras en marea baja en función de los tamaños de buques y estado de carga. Los remolcadores exigidos cambian en función de la eslora. Así, para eslora inferior a 135 m solo específica un remolcador a proa y otro a popa, sin especificar ni la capacidad de tiro, ni si requieren propulsión especial ASD. Para esloras inferiores a 250 m,

exige tres remolcadores, todos ASD, pero ya no se exige simetría en las capacidades de tiro. Desde la versión de la **Ref [15],** se admite maniobras con vientos de hasta 20 KN (antes 15 KN) más rachas de +5 KN por encima de este valor. También se admiten maniobras con buques mayores, de hasta 315 m de eslora, sin especificar límite de metros cúbicos y se cambió la obligación del segundo remolcador de guardia y para el primero ya no se especifica capacidad de tiro. De hecho hace más de dos años que no utilizan ningún remolcador de guardia, en contra de lo establecido.

Todas estas modificaciones han ido surgiendo a consecuencia de sucesivas denuncias de incumplimientos (entradas después de la puesta de sol, exceso de viento, etc.) ante el Ministerio de Fomento realizadas por asociaciones de vecinos. Algunas de ellas, como la ausencia de remolcadores de guardia, aún no han sido contestadas.

Las modificaciones del límite de viento están realizadas en base a establecer proporciones de la superficie mojada y la superficie expuesta al viento para diferentes tamaños de barcos, suponiendo la primera configuración de remolcadores según **Ref [12]** como adecuada, en vez de realizar una simulación completa partiendo de cero.

La evolución de nuevas vías de negocio del mercado del GNL, como son las recargas de buques con gas almacenado en las plantas de almacenamiento y regasificación para su exportación a terceros países y el creciente interés por la sustitución del combustible hasta ahora utilizado para la propulsión para pasar a utilizar GNL. Los efectos que tendría su puesta en marcha sobre el medio ambiente y en el incremento del riesgo por aumento del número de maniobras de entrada-salida de la ría se resumen en dos: si se aumenta la capacidad de los tanques se aumenta el riesgo, en contra de lo establecido en la Ley Seveso, **Ref. [17]**. Por otro lado el incremento de tráfico de gaseros cargados, con las limitaciones existentes por la orografía de la entrada de la ría y condiciones de mareas y viento, aumenta los riesgos por las maniobras de entrada-salida **Ref.[18].**

4.- CONCLUSIONES.

El procedimiento y la reglamentación aplicable a plantas de gas en España, aunque muy desarrolladas, pueden ser objeto de argucias legales para tratar de dar aparente apoyo legal a actuaciones técnicamente no defendibles, al permitir decisiones a las administraciones sin el aval técnico suficientemente contrastado y fundamentado.

El procedimiento de autorización del espacio marítimo-terrestre donde se necesitaba ubicar la planta también fue objeto de un elaborado proceso para acortar el tiempo de su tramitación, que ahora se ven obligados a continuar solicitando este mismo año 2015 ampliación del plazo de la concesión por 15 años más. El proceso se ha llevado a cabo mediante un proceso de medias verdades, solicitudes para unos usos y luego modificados, solicitud de ampliación de superficies por una empresa y posterior cesión de parte de la concesión para usos diferentes cuando la ley de puertos (**Ref. [7]**) especifica claramente que para nuevos usos y/o nueva empresa, se debe iniciar otro procedimiento. Solo si se mantiene en el tiempo los mismos usos se contempla la cesión intervivos de una concesión previa a otra empresa.

Las Normas de Navegación de gaseros en la ría de Ferrol han sido modificadas sucesivamente con el fin de proporcionar más días útiles para operaciones de carga y descarga de GNL a la vez que ahorrar gastos a la empresa que contrata la operación de carga/descarga.

Algunas de estas modificaciones están avaladas por estudios del CEDEX (organismo dependiente del Ministerio de Fomento) o de Delf Hidraulics, pero otras, como la reducción de dos remolcadores de guardia a uno y su desaparición total en la práctica no lo están. El estudio de operaciones nocturnas está limitado al funcionamiento normal de todos los equipos, incluida iluminación de los castillos en la parte más estrecha del canal, que no siempre funciona. Tampoco se han contemplado posibles averías, ni en el buque ni en remolcadores.

En resumen, las administraciones actúan con cierta ligereza a la hora de exigir lo que técnicamente está bien definido, permitiendo que aumente el riesgo para la población, derivado de las operaciones de entrada/salida y las descargas/cargas en la terminal.

5.- REFERENCIAS.

[1] Directiva 2006/113/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006 relativa a la calidad exigida a las aguas para cría de moluscos.

[2] Informe anual 2014 de Enagas, gestor técnico del sistema gasístico español.

[3] Procedimiento de Autorización Ambiental Integrada. Expediente asociado a publicación en Diario Oficial de Galicia nº 107 de 4 Xuño de 2008.

[4] Resolución de la Autoridad Portuaria de Ferrol-San Ciprian del 14/05/1997.

[5] Boletín Oficial del Estado nº 114 del 13/05/1998

[6] Norma UNE-EN 1532. "Instalaciones y equipos para gas natural licuado. Interfaz entre buque y tierra"

[7] Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante en España.

[8] Ley 22/1988, 28 julio, de Costas.

[9] Registro de la Propiedad de Puentedeume, (A Coruña)

[10] Criterios de Navegación y Remolque. Autoridad Portuaria de Ferrol-San Ciprian (2002)

[11] Dificultades para la navegabilidad de gaseros cargados con GNL, con destino a regasificadoras situadas en el interior de bahías o ríos con entradas limitadas por calado, corrientes, viento y canales estrechos y sinuosos. J. Carlos Alvarez et alt.. XXII Congreso Copinaval. Buenos aires (Argentina 2011).

[12] Normas de Seguridad para la Entrada, Atraque, Desatraque y Salida de Grandes Buques Gaseros en la Ría de Ferrol. Capitanía Marítima de Ferrol-San Ciprián. 27abril 2007.

[13] Normas de Seguridad para la Entrada, Atraque, Desatraque y Salida de Grandes Buques Gaseros en la Ría de Ferrol. Capitanía Marítima de Ferrol-San Ciprián. Mayo 2007.

[14] Normas de Seguridad para la Entrada, Atraque, Desatraque y Salida de Grandes Buques Gaseros en la Ría de Ferrol. Capitanía Marítima de Ferrol-San Ciprián. Octubre 2008.

[15] Normas de Seguridad para la Entrada, Atraque, Desatraque y Salida de Grandes Buques Gaseros en la Ría de Ferrol. Capitanía Marítima de Ferrol-San Ciprián. Noviembre 2011.

[16] Normas de Seguridad para la Entrada, Atraque, Desatraque y Salida de Grandes Buques Gaseros en la Ría de Ferrol. Capitanía Marítima de Ferrol-San Ciprián. Febrero 2012.

[17] Directiva Europea 96/82/EC (Ley SEVESO II) y trasposición española en el R. D. 1254/1999, de 16 de Julio y modificaciones posteriores RD 119/2005.

[18] Dificultades para la navegabilidad de gaseros cargados con GNL, con destino a regasificadoras situadas en el interior de bahías o ríos con entradas limitadas por calado, corrientes, viento y canales estrechos y sinuosos. Autores: J. Carlos Alvarez, J. A. Fraguela, L. Carral. XXII COPINAVAL . Argentina septiembre 2011.

12. PERFORMANCE

ANÁLISIS DE RIESGOS DURANTE LAS OPERACIONES DE AMARRE Y FONDEO EN LOS BUQUES

Villa Caro, Raúl[1]; Carral Couce, Luis Manuel[2]; Fraguela Formoso, José Ángel[3]

[1]Dr. Ing. Naval y Oceánico / Cap. Marina Mercante. Raúl Villa Caro. Profesor. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. raul.villa@udc.es

[2]Dr. Ing. Naval. Profesor. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. lcarral@udc.es

[3]Dr. Ing. Naval. Profesor. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. jafraguela@udc.es

RESUMEN

El principal requerimiento y la primera preocupación en el plan de amarre a bordo de un buque es el establecer la forma de amarrar en muelles y duques de alba. Los principios para una operación de amarre seguro y eficiente se resumirán en este artículo. Se realizará un estudio de todos los riesgos localizados que existen en las operaciones de amarre y se detallará un estudio estadístico de los accidentes que se suelen producir en los buques durante la ejecución de estas operaciones.

Se delimitarán requisitos esenciales de seguridad en las operaciones, se establecerán equipos de protección al personal, y se indicarán precauciones en las operaciones de amarre y fondeo.

Palabras clave: riesgo; amarre; accidente; chigre.

1. INTRODUCCIÓN.

El principal requerimiento y la primera preocupación en el plan de amarre a bordo de un buque es el establecer la forma de amarrar en muelles y duques de alba. El buque atracado puede estar expuesto a fuertes vientos o corrientes de cualquier dirección, por lo que se debe

intentar llevar a cabo las siguientes acciones sobre sus tres tipos de estachas principales (largos, traveses y springs).

La línea más efectiva para resistir cualquier fuerza es la orientada en la misma dirección de la carga. Esto implicaría que, teóricamente, las líneas de amarre deben estar orientadas en la dirección de las fuerzas medioambientales y deben ser fijadas a un punto en el buque, de tal forma que la fuerza de actuación resultante y la fuerza que restringe el movimiento provocada por el amarre, actúen en la misma dirección. Un sistema así sería inviable por no tener flexibilidad para acomodar las diferentes cargas medioambientales y los puntos de amarre en los muelles. Para aplicaciones generales, es necesario que la distribución del amarre pueda ser capaz de "capear" con fuerzas ambientales provenientes de cualquier dirección.

Los principios para una operación de amarre seguro y eficiente serán los siguientes:

- Las líneas de amarre deben estar dispuestas tan simétricamente como sea posible cerca de la zona central del buque. (Una disposición simétrica es más probable que asegure una buena distribución de carga que una asimétrica)

- Las líneas de través deben estar orientadas tan perpendicularmente como sea posible a la línea central longitudinal del buque y lo más a proa y popa posible.

- Las líneas springs deben estar orientadas tan paralelamente como sea posible al eje longitudinal central del buque.

  Destacar que las líneas a proa y popa no son normalmente eficientes en retención del buque en su atraque. Los amarres con buenas líneas de spring y través permiten al buque un atraque más eficiente, "dentro de su propia eslora". El uso de líneas en extremos de proa y popa requiere dos amarres adicionales y disminuye la eficiencia total de retención de una distribución de amarre, cuando el número de líneas es limitado. Esto es debido a su longitud, y consecuentemente a su mayor elasticidad y peor orientación. Esto solo debería usarse cuando así lo requiera la maniobra o donde así sea necesario por la geometría del puerto, fuerza de las olas o condiciones meteorológicas. Pequeñas embarcaciones atracadas en instalaciones diseñadas para grandes buques pueden tener líneas a proa y popa por la geometría del muelle.

- El ángulo vertical de las líneas de amarre debe mantenerse al mínimo. Cuanto más plano sea el ángulo de amarre, más eficiente será la línea en cargas aplicadas horizontalmente en el buque.

- Generalmente deben usarse para todas las cargas líneas de amarre del mismo tamaño y material. Si esto no fuera posible, todas las líneas del mismo servicio (por ejemplo traveses, springs, etc.) deben ser el mismo tamaño y tipo. A modo de ejemplo, todos los esprines podrían ser de cable y los traveses de fibra sintética.

- Empalmes sintéticos se usan a menudo en los extremos finales de los cables para permitir un manejo más fácil y para aumentar la elasticidad de la línea. Los empalmes pueden también ser usados para aumentar la elasticidad de cabos hechos de polietileno con alto módulo de rigidez.

2. OBJETIVO DE UNA BUENA DISPOSICIÓN DE AMARRE A BORDO.

Se trata de proveer y organizar el equipo para conseguir lo siguiente:

- Obtener una configuración eficiente de amarres convencionales.

- Facilitar un amarre, desamarre y tendido de estachas seguro y rápido, con demanda mínima de mano de obra.

- Facilitar amarre seguro y eficiente por anticipado en terminales no convencionales como SPM (amarres en un punto único) y MBM (amarres multiboya).

- Hacer posible un eficiente y seguro manejo de remolcadores

- Permitir de manera segura y eficiente otras operaciones comunes como manejo de mangueras y amarre a barcazas.

- Dar cabida de manera segura y eficiente a operaciones de aprovisionamiento de buques.

- Proveer para situaciones de emergencia como requerimientos la duplicación de líneas por viento fuerte, remolque de emergencia de buques sin gobierno, o fuegos a bordo que requieran que el buque sea remolcado.

Además de los principios anteriores, las siguientes directrices deberían tenerse en consideración al establecer el equipo de amarre:

- Mantener las áreas de amarre tan libres como sea posible

- Realizar las operaciones de amarre lo más lejano posible a proa y popa

- Colocar guías en proa y popa en los puntos más extremos posibles y lo más bajo que el buque permita.

- Establecer las guías de las líneas esprín lo más a proa y popa que sea posible en la cubierta principal para conseguir longitudes adecuadas a los puntos de amarre en puerto.

- Tensionar lo necesario para una correcta alineación de guías y tambores de las maquinillas

- Colocar las maquinillas de forma que se obtenga una visión clara de las operaciones de amarre y del oficial en cargo del amarre

- Las líneas de amarre en el mismo servicio deben tener aproximadamente la misma longitud entre el buque y sus puntos de amarre.

- Todas las líneas de amarre deben ser capaces de funcionar en ambos lados del buque.

Todas las recomendaciones anteriores deben cumplirse desde el principio de la maniobra de atraque. Las modificaciones posteriores serán molestas y harán que se alarguen las maniobras. La experiencia dicta que pocas veces se modifica un amarre una vez terminado, aunque no esté bien realizado.

- Deberán evitarse en todo momento las amarras sueltas (“en banda”), absolutamente ineficaces e incluso peligrosas. Aunque permiten una mayor amplitud de movimiento de la prevista, sus mayores cargas dinámicas (tirones, aplastamiento de defensas, etc.) pueden provocar roturas o deterioro del material.

Además, al romperse la simetría del sistema, las fuerzas se reparten de manera irregular, lo que acelera el proceso de “movimiento-tirones-rebote-movimiento”.

- Una vez terminada la maniobra de atraque, se deberán revisar las amarras, tensando las que hayan quedado sueltas, de forma sistemática y simétrica, y dejando el buque en contacto con las defensas. Esta inspección y corrección se llevara a cabo de forma periódica, teniendo en cuenta los cambios en la situación del amarre (marea, carga, viento, oleaje, etc.).

- Se revisarán con especial atención las amarras cortas y cables de amarre, pues su menor capacidad de elongación los hace propensos a la rotura en el caso de estrechonazos (tirones).

- Las líneas de amarre en el mismo servicio deben tener aproximadamente la misma longitud entre el chigre (la maquinilla del buque) y los puntos de amarre portuarios.

3. INSTRUCCIONES RELATIVAS A LA SEGURIDAD EN EL USO DE MAQUINILLAS Y CHIGRES DE AMAR.

1. Durante su manejo se deben llevar puestos zapatos de seguridad, mono de trabajo y casco de seguridad con cinta para la barbilla.

2. Se debe respetar una distancia de seguridad con respecto a la estacha o cable, cuando esta esté bajo carga.

3. Se deben llevar puestos guantes de seguridad durante los trabajos con cables o estachas.

4. Nunca situarse dentro de la gaza de una estacha o cable.

5. Nunca se debe dejar funcionando una maquinilla sin vigilancia.

6. No se debe accionar la maquinilla, si todas las personas involucradas en la maniobra no se encuentran en el campo de visión del operador.

7. No se debe intentar calcular la tensión de la estacha o cable dándole una patada, o situándose una persona encima (el intento no tiene sentido y además es peligroso).

8. No se deben guiar estachas sintéticas sobre el tambor o bolardos con ángulos no admisibles. Además de los daños en la propia estacha, debido a la fricción sobre el tambor o carretel, la estacha podría quemarse. En estado de carga, existe el peligro de que la estacha se

suelte de forma repentina y con ello se produzca un peligro de herir al personal de manejo del chigre o molinete.

9. Las personas no deben situarse en las proximidades de la maquinilla, cuando se está realizando una maniobra con la misma. Si el cable hace una coca, podría arrastrar a una persona u objeto hacia el carretel (tambor).

10. No se deben enrollar demasiadas capas en la zona de estiba del carretel, ya que ello podría originar, que no se pueda largar cable o estacha de una forma controlada.

11. No se debe someter al cable a un radio de curvatura no permitido.

12. Nadie se debe situar demasiado próximo a un cable bajo tensión, ya el mismo podría romper sin advertencia previa.

13. No se deben colocar objetos en la zona de trabajo del cable, ya que si el cable se rompe, los objetos podrían salir despedidos.

14. No se debe permitir que se sitúen más personas de las necesarias en la zona de trabajo de la maquinilla.

15. No se debe someter a carga el cable enrollado en la zona de estiba del carretel o tambor, en caso de que el carretel disponga de zona de almacenamiento. Asegurarse que en la zona de trabajo del tambor se disponga de suficiente longitud de cable.

16. Nadie debe situarse muy cerca del tambor o carretel cuando se está manipulando el cable. El cable podría saltar y aprisionar las manos de los operarios

4. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL.

Todo el personal que participe en las operaciones de amarre y remolque debe llevar puesto el equipo correcto de protección personal (EPI).

El equipo debe estar detallado en el Sistema de Gestión de Seguridad del buque y debe incluir buzos de alta visibilidad, un casco de seguridad con correa para sujetar la barbilla, calzado o botas de seguridad, guantes y, en climas fríos, ropa adecuada de abrigo de alta visibilidad.

El personal del castillo de proa debe tener a mano gafas protectoras en caso que el ancla tenga que ser largado en emergencia.

Siempre se deben usar guantes al manipular cables de acero por la posibilidad de lesiones en las manos por alambres rotos. En cuanto a las operaciones de amarre, el mejor consejo es no llevarlos demasiado sueltos para que no queden atrapados en los extremos de los tambores.

5. PRECAUCIONES EN LAS OPERACIONES DE AMARRE Y FONDEO.

Todo marino que participe en operaciones de amarre y desamarre debería estar informado sobre los riesgos que entrañan tales operaciones.

Una persona formada debería dirigir las operaciones de amarre, y antes de ordenar que se larguen o se recojan los cabos de amarre, debería cerciorarse que ninguna persona está en lugares peligrosos.

Cada vez que un buque vaya a fondear, deberían examinarse todas las circunstancias pertinentes, tales como el estado atmosférico, las mareas o el tráfico de embarcaciones en el sector, con el fin de determinar qué tipo de cabos y cables se han de utilizar para garantizar un amarre en condiciones de seguridad.

El manejo de maquinillas y chigres debería estar exclusivamente a cargo de personas con la formación necesaria.

Se debe asegurar que haya suficiente personal listo para asistir a las operaciones de amarre en proa y en popa, con un oficial presente.

Cuando el buque se encuentre abarloado, un vigía debería comprobar a intervalos regulares que las amarras se conservan en buen estado, y éstas deberían mantenerse siempre tensas para evitar el desplazamiento del buque.

Los puestos de amarre deben estar libres de suciedades, desechos y despojos, las fugas de aceite hidráulico limpiadas, y en la medida de lo posible, las cubiertas pintadas con un tratamiento antideslizante.

Por la noche, los puestos de amarre deben estar adecuadamente iluminados para permitir las operaciones con seguridad.

Las comunicaciones por radio deben ser comprobadas con el puente antes de comenzar las operaciones y todas las comunicaciones tienen que identificar al buque para garantizar que no existe confusión con otros buques que operan en el mismo canal.

6. MATERIALES.

Los cabos de fibras sintéticas superan a los cabos de fibra natural en solidez, durabilidad, resistencia a la putrefacción, etc., y por ello los han sustituido. Sin embargo, el desgaste, el deterioro y la exposición excesiva a los rayos del sol, podría reducir en gran medida la resistencia de los cabos sintéticos, por lo que es preciso utilizarlos con precaución.

Uno de los principales peligros existentes en las operaciones de amarre es que los cabos pueden romperse, hecho que en la práctica ocurre con asiduidad.

En los cabos de fibra sintética puede observarse muy poca o ninguna señal acústica antes de ocurrir la rotura. Debido a la elasticidad inherente en los cabos sintéticos, cuando se rompen pueden desplazarse una distancia considerable al retroceder con el latigazo de tensión.

Los cables de acero pueden dar algún aviso sonoro de que están rompiéndose, porque los cables se rompen individualmente y se separan, pero debido a la falta de elasticidad no se desplazan tanto como un cabo sintético una vez separados. De todos modos, los cabos de acero pueden todavía causar lesiones graves o mortales. Por tanto, el personal tiene siempre que asegurarse que están colocados en un lugar de seguridad fuera de la trayectoria por donde un cabo pudiera retroceder al romperse y retroceder bajo tensión.

Cuando se observe que un cabo tiene tensión excesiva, en lo posible se deben tomar medidas apropiadas para reducir la tensión.

El personal nunca debe colocarse de pie dentro del seno de un cabo en ningún momento, y toda la tripulación en ese servicio debe estar pendiente el uno del otro alertando a sus compañeros si ven que pueden encontrarse en una posición peligrosa.

Los tambores de las maquinillas o los extremos de los tambores no deben nunca ser dejados en marcha y girando con la palanca de control no atendida. Una persona con experiencia debe estar siempre lista en los controles para manipular la maquinilla. La palanca de control no debe nunca ser atada y abandonada.

Es necesario asegurarse que la tensión de afloje y giro lento de una maquinilla o su freno esté por debajo de la carga mínima de rotura (MBL) del cabo en el tambor. Típicamente el freno debe aflojarse a 60% de la MBL del cabo en el tambor.

Se tiene que asegurar que los cabos son estibados en los tambores de tal manera que el cabo está ejerciendo un tiro contra el extremo fijo del conjunto de banda del freno.

En los tambores dotados de frenos de disco, el cabo puede ser estibado en el tambor en cualquiera de las dos direcciones.

Los cabos deben ser dirigidos, en la mayor medida posible, sin cambios bruscos de dirección.

Los cabos de acero y fibra sintética se mantendrán separados y no se debe permitir su cruce o ser dirigidos a través de la misma sondaleza.

Todos los cabos, en la mayor medida posible, deben ser dirigidos al noray en tierra de tal manera que se mantenga un ángulo mínimo entre el cabo y el plano horizontal.

En la medida de lo posible, las estachas de costado tienen que ser pasadas desde lo más lejos posible en proa y popa y a ángulos rectos de la línea de proa y popa del buque.

Y en la medida de lo posible, los esprines tienen que ser pasados en paralelo con la línea de proa y popa del buque.

Cuando haya disponibles cabos de fibra sintética y de acero, tienen que ser usados el mismo tipo y tamaño de cabos para el mismo servicio. Por ejemplo, todos los esprines pueden ser de acero y todos los cabos de proa de fibra sintética. La mezcla de cabos sintéticos y de acero no es recomendado para el mismo servicio como ya se ha comentado con anterioridad.

Muchos buques usan ambos tipos de cabos de acero y sintéticos para amarrarse al muelle, y muchos cabos de acero tienen chicotes de estacha para darle al cabo de amarre algo de elasticidad. Sin embargo, debido a la elasticidad limitada en un cabo de amarre de acero o de acero con chicotes de cabo, comparada con la elasticidad de un cabo sintético, se recomienda no pasar los cabos de acero como primeros cabos cuando se acerca al muelle para llevar al buque a su posición.

7. ESTUDIO Y ELABORACIÓN DE ESTADÍSTICAS RELACIONADAS CON ACCIDENTES OCURRIDOS DURANTE LAS OPERACIONES DE AMARRE.

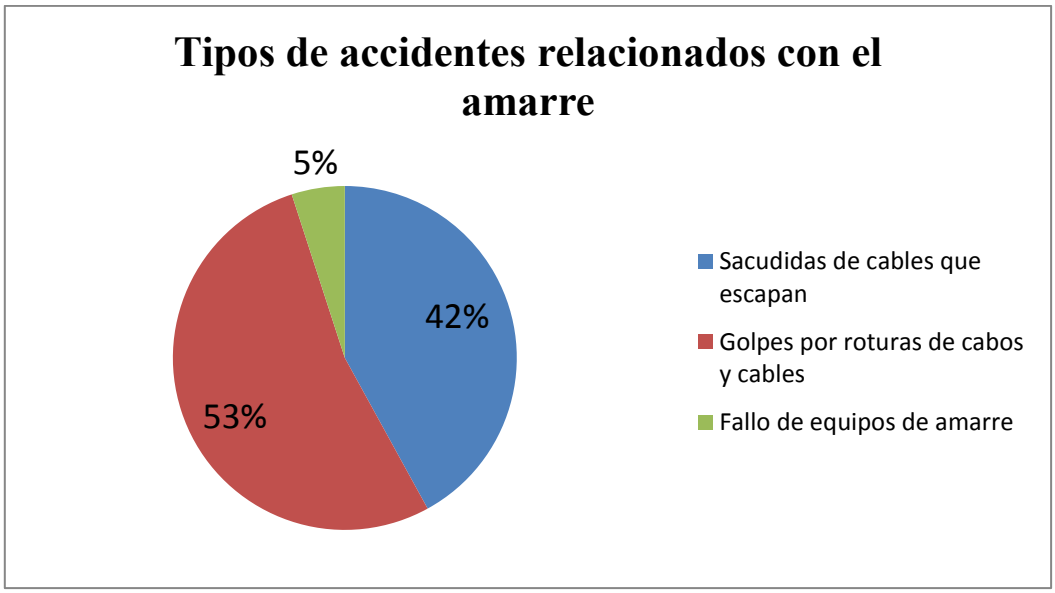
La mayoría de los accidentes relacionados con los equipos de amarre, ocurridos en los últimos veinte años, han finalizado con daños de gran valor, tanto materiales como personales, que se han traducido en muchos marinos heridos.

Muchos de estos accidentes han ocurrido durante el manejo de cabos y cables, donde a veces los cabos han partido (53 %) o se han salido de tambores, cabirones y bitas (42%), provocando golpes, atrapamientos y sacudidas. Sólo un 5% de los accidentes se ha producido por fallos de los equipos de amarre.

La rotura de cabos y cables ocurre normalmente durante las operaciones generales de amarre, aunque los fallos del equipo en el remolque, su mal uso, y la meteorología, también juegan un papel importante en los accidentes.

Los accidentes no originados por rotura de cabos generalmente se originan, durante las operaciones de amarre, por atrapamiento de la tripulación con dichos cabos, o por sacudidas de los mismos sobre las personas cuando se escapan de los cabirones, tambores y bitas.

Analizados accidentes de los últimos diez años, la siguiente figura resumen lo explicado en este apartado:



8. EVALUACIÓN DE RIEGOS EN ESTACIONES DE AMARRE. PELIGROS.

La evaluación de riesgos se debe realizar sobre todos los lugares susceptibles de realizar operaciones relacionadas con el amarre a bordo; observándolos detenidamente, con el fin de buscar los peligros que puedan causar lesiones a los tripulantes. Las zonas de amarre contienen gran parte de los numerosos peligros del buque, y ponen de relieve esto como punto de partida.

Los riesgos físicos a destacar no se deben limitar a guías, bitas y cornamusas. También se deben incluir estructuras tales como plataformas de los molinetes, escobenes, gateras y tapas.

9. CONCLUSIONES.

• Existen situaciones de atraques de buques en las que se producen desiguales repartos de las tensiones y cargas entre las estachas que configuran el amarre. Y es precisamente en esos casos, cuando juega un papel de relevancia el freno del chigre. Sin embargo este elemento del equipo ha evolucionado muy poco, debido a que nunca se le ha dado la consideración que merece.

• El oficial encargado de la maniobra de amarre dispone de una serie de equipos – chigres, bitas, guías, gateras, etc. – que complementados con los elementos existentes en los muelles - norays, defensas, etc. – forman el subsistema de amarre. Para que la finalidad del amarre se lleve a cabo de forma satisfactoria será necesario que estos dos grupos de elementos – los del buque y los del muelle – estén ubicados de forma efectiva. De nada serviría tener una disposición que permitiera encapillar una serie de estachas en la misma bita – por ejemplo – y que la citada bita no estuviera diseñada para recibir esa carga de trabajo.

• La maniobra de amarre es una operación muy peligrosa, que desgraciadamente a menudo acarrea accidentes, pudiendo incluso representar la pérdida de vidas humanas. Por regla general, si los fallos del sistema de amarre conllevan la ruptura de una amarra, la fuerza y velocidad adquirida por la estacha fracturada convertirá al buque en una zona de peligro.

• Las maniobras de amarre aportan un peligro adicional al del propio sistema en sí. Este problema radica en que para realizar las maniobras se necesitan dos grupos de marineros. Por un lado tenemos a los amarradores del muelle y por otro lado a la dotación del buque. Estos

dos grupos de personas, que la mayoría de las veces ni se conocen - incluso a veces tampoco hablan el mismo idioma –, representan un factor de peligro para el buque y su tripulación.

• El personal de la tripulación asistente a las maniobras de amarre debe ser el estrictamente necesario, y designado para esa función, evitando situaciones que habitualmente se producen, de personal adicional observando la maniobra a escasos metros de los equipos. Toda la dotación del buque debe ser consciente de este precepto.

• Nunca debe existir sólo un tripulante en cada puesto durante las operaciones de amarre. Incluso pensando en los sistemas automáticos y novedosos de amarre sería recomendable que hubiera dos miembros de la dotación, por si surgiera algún problema. Y por supuesto, nunca debe existir un solo marinero manejando el cuadro de funcionamiento del chigre y la salida o entrada de la amarra al mismo tiempo.

10. BIBLIOGRAFÍA.

[1] Centro de Estudios de Obras Públicas. (1990). Análisis crítico de los sistemas de atraque de buques. Madrid: CEDEX (Ministerio de Obras Públicas).

[2] Oil Companies International Marine Forum. (2008). Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition. Great Britain: OCIMF.

[3] Villa Caro, R. (Julio de 2015). Sistemas de amarre en buques: situación actual y evolución futura. TESIS DOCTORAL.

[4] Villa Caro, R., Carral, L., & Fraguela, J. (2014). Acciones a llevar a cabo para evitar los accidentes de trabajo de los profesionales del mar durante el uso de los equipos de amarre. En Facultad de Ciencias del Trabajo (UDC), XIV Xornadas Galegas sobre «Condicións de traballo e saúde» (págs. 270-282). Perlío (A Coruña): Asociación de Graduados Sociales de Ferrol. ISBN: 978-84-697-1306-8

[5] Villa Caro, R., Carral, L., & Fraguela, J. (2014). Estudio de operaciones y maniobras relacionadas con el amarre en el entorno marino. En Facultad de Ciencias del Trabajo de UDC, XIV Xornadas Galegas sobre «Condicións de traballo e saúde» (págs. 284-299). Ferrol: Asociación de Graduados Sociales de Ferrol. ISBN: 978-84-697-1306-8

[6] Villa Caro, R., Carral, L., & Fraguela, J. (2014). Maniobras de Amarre en Buques. Formas de evitar los accidentes y estadísticas de los mismos. Charleston: Creatspace. ISBN: 9781500909024

NORMATIVA REFERENTE AL AMARRE DE BUQUES: COMPARATIVA DE LAS NORMAS ISO, LOS REGLAMENTOS DE LAS SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN Y LA NORMATIVA IMO

Villa Caro, Raúl[1]; Carral Couce, Luis Manuel[2]; Fraguela Formoso, José Ángel[3]; Álvarez Feal, José Carlos Juan[4] ; Rodríguez Guerreiro, María Jesús[5]

[1]Dr. Ing. Naval y Oceánico / Cap. Marina Mercante. Raúl Villa Caro. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. raul.villa@udc.es

[2]Dr. Ing. Naval. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. lcarral@udc.es

[3]Dr. Ing. Naval. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. jafraguela@udc.es

[4]Dr. Ing. Industrial. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. jcalvarez@udc.es

[5]Dra. en Biología. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. chus@udc.es

RESUMEN.

Los tres documentos más reseñables para analizar el campo del "amarre" son los siguientes: la circular 1175 de 2005 de la Organización Marítima Internacional (OMI) sobre los equipos de amarre y remolque en cubierta; los requerimientos de la IACS (Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación) en cuanto a amarre, fondeo y remolque, revisados en 2014; y la norma internacional ISO 3730 de 2012, sobre los chigres de amarre en buques y estructuras marinas. El objetivo perseguido en este trabajo será el identificar las analogías y diferencias existentes entre las características que cada entidad estipula para los chigres de amarre de buques en construcción, y a la vez pretende ser una síntesis de las normas y sugerencias establecidas por los tres entes con mayor autoridad en el ámbito naval, que son los ya mencionados con anterioridad, la O.M.I., los estándares ISO y las Sociedades de Clasificación.

Este artículo resume lo expuesto por cada organización en sus diferentes reglamentos, y analiza las diferencias entre los citados documentos. En general la estructura ofrecida por la OMI y la IACS va a ser muy similar, siendo la ISO la que más se va a distanciar en lo referente a forma y contenido.

Palabras clave: Chigre; amarre; norma; sociedad clasificación

1. INTRODUCCIÓN.

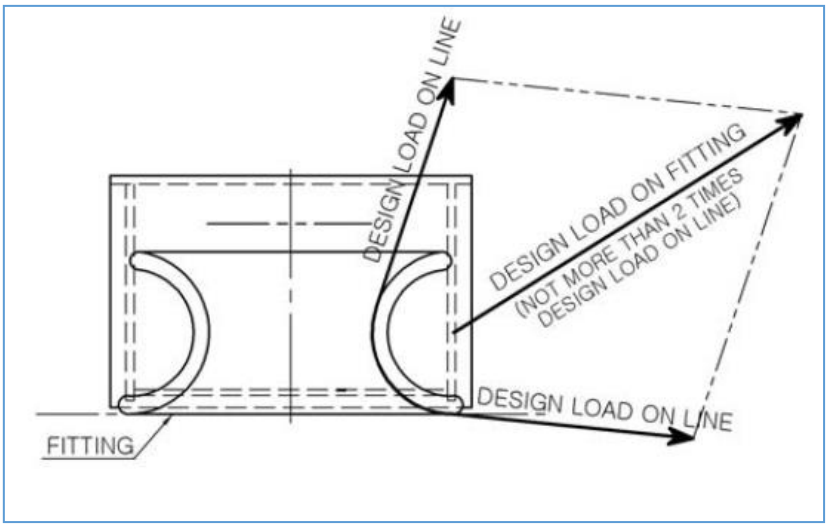
Los tres documentos más reseñables para analizar este campo del "amarre" son los siguientes: la circular 1175 de 2005 de la Organización Marítima Internacional (OMI) sobre los equipos de amarre y remolque en cubierta; los requerimientos de la IACS (Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación) en cuanto a amarre, fondeo y remolque, revisados en 2014; y la norma internacional ISO 3730 de 2012, sobre los chigres de amarre en buques y estructuras marinas.

Mediante sus documentos, las tres organizaciones definen su ámbito de aplicación. A excepción de la ISO, la información suministrada hace referencia al pertinente y correcto cumplimiento de la regla del SOLAS II-1/3.8 "Equipo de remolque y amarre". La ISO 3730 es muy breve en este aspecto, limitándose a definir su ámbito de aplicación y referenciando otras normas ISO para el cálculo de las magnitudes de los elementos relacionados. Los documentos de la IACS y la OMI establecen a qué buques han de ser aplicados, y definen los equipos que tratan. Se aplican a todos los buques con un desplazamiento superior a las 500 GT, excluyéndose buques de alta velocidad y unidades off-shore. Estos organismos también explican qué se debe entender por líneas de amarre, elementos estructurales del casco y estándares industriales vigentes. En general IACS y OMI establecen qué parámetros y condiciones de uso deben cumplir los equipos desde una perspectiva de la explotación de los mismos, mientras que la ISO establece las dimensiones y pruebas a las que se les debe someter, acercándose más al ámbito del fabricante.

2. ELEMENTOS DE REMOLQUE.

En lo referente a los elementos de remolque, se definen las especificaciones recomendadas para los elementos del sistema de remolque de emergencia, que consistirán en:

- *Distribución de los elementos:* IACS y OMI establecen que todos los elementos destinados a soportar la carga del remolque han de estar situados sobre refuerzos de cubierta, a fin de contar con la suficiente integridad estructural para realizar el remolque sin perjuicio para el buque. Se aceptan distribuciones alternativas, siempre y cuando esté garantizado que se pueda soportar el esfuerzo. La norma ISO no se pronuncia en este aspecto.
- *Carga a considerar:* Se establece la SWL que se ha de considerar en el equipo, siempre y cuando el armador no especifique nada al respecto en el contrato. IACS y OMI tienen sutiles, pero importantes diferencias. En el caso de un remolque típico, la MBL (según la IACS) o la carga de diseño (según la OMI) ha de ser 1.25 veces mayor que la carga máxima en la línea de remolque. En caso de otro tipo de remolque (Remolque de escolta, por ejemplo), la OMI establece que la carga de diseño será el esfuerzo nominal necesario para romper la línea, definido por el propio documento en función del número de equipo. La IACS establece que la MBL será el esfuerzo nominal de rotura según el número de equipo, aunque la tabla no está incluida en el propio documento y dirige a la 10º recomendación. En todo caso la tabla contiene los mismos parámetros que la adjunta por la OMI, y es más completa. La línea de aplicación del remolque ha de estar adecuadamente distribuida, a forma de que la carga no llegue a superar nunca el doble de lo previsto.
- Elementos de amarre: IACS y OMI establecen que han de ser acordes al estándar ISO 3913 admitido por la administración. En cualquier caso deben cumplir con la fuerza requerida en el apartado anterior.
- Refuerzos de cubierta: IACS y OMI establecen que deben estar preparados para cambios de orientación de la línea de remolque, el punto de aplicación de la fuerza ha de ser tomada en el amarre del remolque a popa o allá donde la línea cambie de ángulo. El esfuerzo de cizallamiento ha de ser el 60% del límite del material.
- SWL (Safe Working Load): IACS y OMI establecen que la SWL para remolques típicos no ha de sobrepasar el 80% de la que cada uno haya definido en el apartado de "Carga a considerar". En otras operaciones no podrán superarla. Dicho número ha de estar debidamente marcado en los elementos de amarre, con cordón de soldadura en la mayoría de los casos. Esta carga no contempla más de una vuelta alrededor de una bita o similar.



3. ELEMENTOS DE AMARRE Y FONDEO.

Se definen las especificaciones recomendadas para los citados elementos del sistema de amarre y fondeo:

- *Distribución de los elementos:* IACS y OMI establecen que todos los elementos destinados a soportar la carga han de estar situados sobre refuerzos de la cubierta, a fin de contar con la suficiente integridad estructural. Se aceptan distribuciones alternativas, siempre y cuando esté garantizado que se pueda soportar el esfuerzo sin problemas. La norma ISO no se pronuncia en este aspecto.

- *Carga a considerar:* se establece cual es la SWL que se ha de considerar en el equipo, siempre y cuando el armador no especifique nada al respecto en el contrato. La OMI estipula que la carga de diseño sobre los elementos ha de ser 1.25 veces la carga de rotura de la línea de amarre correspondiente definida por la tabla adjunta al documento, como también debe ser para los refuerzos estructurales de la cubierta. La aplicación de esta fuerza no ha de ser tal como para que la resultante sea el doble.

  Por su parte, la IACS establece lo que ya mencionó la OMI, y adicionalmente indica que se tendrá en cuenta la superficie lateral de la posible carga respecto al viento. A la hora de distribuir la tensión de acuerdo a la recomendación 10 de la IACS, se establece una pequeña excepción en la regla, según la cual una línea de amarre que tenga que soportar más de 490 kN de carga podrá ser sustituida por un número mayor de líneas, siempre y cuando el valor combinado de todas ellas sea inferior al establecido por el

reglamento de obligado cumplimiento. No debe haber menos de 6 amarras y ninguna debe soportar menos de 490 kN. Esta excepción puede aplicarse de forma inversa.

La ISO se refiere con mayor detalle a este aspecto. En primer lugar, establece que el fabricante tiene la responsabilidad de calcular los requerimientos de carga de los elementos que suministra y finalmente trata y establece cada componente con precisión. Como resumen, se expone:

1. El par máximo que el elemento motriz y las maquinillas han de soportar ha de ser 0,9 veces el límite de fluencia del material, o en su defecto el 0.2% de la $R_{p0.2}$ del material.
2. La OCIMF (Oil Companies International Marine Forum) cuenta con la autoridad para establecer sus propias demandas respecto al equipo de amarre de los buques destinados al transporte de crudo.
3. El freno automático, además de cumplir otras características, debe de poder frenar el tambor aun si este se acelerara pero manteniendo una tensión en el cabo de al menos 1,25 veces la carga del tambor. El movimiento de la línea ha de estar controlado en un tiempo no superior al minuto por metro.
4. Dependiendo del material de la línea, se establece el dimensionamiento y carga del tambor. En caso de fibra sintética, el tambor ha de tener como mínimo un diámetro 6 veces superior al de la estacha. En caso de líneas con alto módulo, se hará de acuerdo al fabricante. La carga del tambor debe estar entre 0.22 y 0.33 veces la carga de rotura de la línea. La carga sostenida un 0.8. Al dar o cobrar la línea debe ser de 0.5.
5. La tensión en la línea en caso de frenado brusco no ha de ser superior al 50% de la carga de rotura.

- *Elementos de amarre:* IACS y OMI establecen que han de ser acordes al estándar ISO 3795 admitido por la administración. En cualquier caso deben cumplir con la fuerza requerida en el apartado anterior. El sentido en el que el equipo debe recoger las estachas ha de ser horario respecto al operario, si armador y astillero no establecen lo contrario de mutuo acuerdo. Este sentido debe estar debida y permanentemente marcado.

- *Refuerzos de cubierta:* IACS y OMI establecen que deben estar preparados para cambios de orientación de la línea, el punto de aplicación de la fuerza ha de ser tomada donde el amarre se haga fijo o allá donde la línea cambie de ángulo. El esfuerzo de cizallamiento ha de ser el 60% del límite del material.

- *SWL (Safe Working Load):* IACS y OMI establecen que la SWL no ha de sobrepasar el 80% de la que cada uno haya definido correspondientemente en el apartado de "Carga a considerar". En otras operaciones no podrán superarla. Dicho número ha de estar debidamente marcado en los elementos de amarre, con cordón de soldadura en la mayoría de los casos. Esta carga no contempla más de una vuelta alrededor de una bita o similar.

- *Tratamiento anti corrosivo:* Solo la IACS especifica la necesidad de proteger los elementos de amarre del ambiente marino corrosivo.

4. NORMAS ISO.

Como se ha mencionado antes, la norma ISO se centra en estandarizar los elementos y sus medidas, regulando su geometría, dimensionamiento y pruebas a las que son sometidos. En este apartado se resumen las reglas que no se han mencionado con anterioridad.

- *Chigres, maquinillas y cabrestantes:* Además de definirlas atendiendo a la posición del elemento motriz, y referir a otras normas ISO directamente relacionadas con la maquinaria de cubierta, se determinan una serie de parámetros de operación. Los requerimientos de carga y los privilegios de la OCIMF ya han sido descritos en el anterior apartado.
- En caso de usar cable trenzado como línea de amarre, el tambor ha de ser, como mínimo, 16 veces la sección del cable.
- Se definen dos capacidades de almacenaje en el tambor, "estándar" y "elevada". La elevada será el doble que la estándar. La capacidad de almacenamiento, en metros, se da en una tabla inscrita en la norma.

La longitud del tambor ha de ser tal que pueda acomodar la capacidad de almacenamiento especificada en menos de cinco capas, ocho si es de elevada capacidad. Sin embargo, no se deben ejercer tensiones elevadas con más de 4 vueltas.

Su longitud será tal que permita acomodar al menos hasta 5 vueltas. 10 en caso de cable.

Los flancos del tambor, en caso de alojar cable, deben sobresalir vuelta de cable y medio sobre su capacidad máxima. En fibras sintéticas será una vuelta. A la hora de hacer los cálculos, se tomará que la línea se solape perfectamente encima de sí misma, sumando los diámetros.

El embrague debe estar debidamente colocado entre el tambor y el elemento motriz.

- *Equipo auxiliar:* Estarán de acuerdo con todas las normas ISO relacionadas, como la ISO 6482, de cabirones.

- *Equipo motriz: Los equipos de control y automatismos* cumplirán con la IEC 60092 y la IEC 60529 IP56. Los equipos hidráulicos cumplirán la ISO 4413. Los elementos motrices han de ser individuales, a fin de poder controlar velocidad y potencia de cada máquina con precisión. Podrán moverse sin problemas a plena carga durante media hora. Tendrá la debida protección eléctrica en el guardacalor.

Todas las velocidades operativas se establecen en la tabla adjunta a la regla.

© ISO 2012 – All rights reserved

Table 2 — Performance specifications

1	2	3 [a]	4 [a]	5 [a]	6 [b]	7 [b]	8	9 [c]	10 [c]	11 [d]	12	
Nominal size	Drum load	Nominal mooring speed min.	Light line speed min.	Creep speed max.	Design rope diameter	Minimum breaking strength of rope	Holding load min.	Recovery load min.	Rendering load max.	Minimum diameter of drum and warping-ends	Drum capacity	
											normal	high
	see 5.1	see 5.5.1	see 5.5.2	see 5.5.3	see 4.6.1	see 4.6.1	see 5.2	see 5.3	see 5.4	see 4.6.2/ 4.7.2	see 4.6.3	
	kN	m/s	m/s	m/s	mm	kN	kN	kN	kN	mm	m	m
5	50	0,25	0,5	0,125	18	204	163	25	100	288	180	360
6.3	63	0,25	0,5	0,125	20	252	200	31,5	126	320	180	360
8	80	0,25	0,5	0,125	22	305	240	40	150	352	200	400
10	100	0,25	0,5	0,125	24	363	290	50	180	384	200	400
12	125	0,2	0,5	0,1	26	426	341	62,5	210	416	200	400
16	160	0,2	0,5	0,1	32	645	516	80	320	512	250	500
20	200	0,16	0,5	0,08	36	817	654	100	408	576	250	500
25	250	0,16	0,5	0,08	40	1 010	808	125	500	640	250	500
32	315	0,13	0,5	0,065	44	1 220	976	157,5	610	704	250	500
40	400	0,13	0,5	0,065	48	1 450	1 160	200	720	768	250	500

[a] Only applicable to manually controlled winches.

[b] The selection of design rope diameter and minimum breaking strength is based on 6×36WS-IWRC or 6×41WS-IWRC in C.9 of ISO 2408; the selection of other types of ropes shall meet the requirements of 5.2.

[c] Only applicable to automatically controlled winches.

[d] The values in the table are applicable to steel wire ropes, and the minimum drum diameter of fibre mooring lines is 6 times the rope diameter. The diameter of warping-ends using fibre mooring lines is selected according to ISO 6482.

- *Tests:* La presente norma obliga a que los equipos superen una serie de pruebas prestablecidas, normalmente a cuenta del fabricante, al salir de la cadena de montaje. Deben ser capaces de poder funcionar con continuidad sin carga durante media hora, un cuarto en cada sentido. Con carga también.

- Los frenos serán debida y detalladamente probados: Se probará a aplicar carga a un tambor suelto, y este no deberá moverse en dos minutos. Adicionalmente se comprobarán perdidas de aceite, presión, temperaturas, ruidos y consumos.

- *Nomenclatura:* Un código describirá al equipo, en este formato: "denominación" "norma ISO" "tipo" "especificación" "subtipo" "capacidad".

Así: Mooring winch ISO 3730 H 70/0,35 RP N, será un chigre regido por el estándar ISO 3730, de accionamiento hidráulico, con una carga de 70 kN y una velocidad nominal de 0,35 metros por segundo. Tendrá múltiples tambores a la derecha con una capacidad normal.

- *Identificación:* La placa del equipo deberá mostrar todos estos datos, además del nombre del fabricante y la fecha de fabricación.

5. CONCLUSIONES DE LA EVOLUCIÓN FUTURA DE LOS REGLAMENTOS DE LAS SSCC Y NORMAS ISO.

La primera y más evidente analogía se da entre la circular de la OMI 1175 y el documento de la IACS. Todo lo que la OMI estipula sobre los elementos estructurales de amarre está recogido palabra por palabra por las sociedades de clasificación en sus requerimientos. No obstante, sí difieren en algo: la IACS añade dos apartados más, uno sobre la corrosión de los elementos y otro sobre las revisiones de los mismos tras la construcción del buque. Son incisos breves pero al fin y al cabo testigos de la diferencia de edad entre las dos regulaciones. Además, la IACS no añade al final la tabla de valores por número de equipo, ausencia que suple refiriéndose en el texto a otra recomendación de la asociación en la que sí se encontraría dicha tabla. En cuanto al método de cálculo del número de equipo, es exactamente idéntico en ambos documentos.

Dicho esto, resta comparar los contenidos de estos dos documentos con la norma ISO. La norma ISO es mucho más completa y específica que las otras, de modo que a priori es de suponer que muchos de sus contenidos carecen de equivalente para la OMI y la IACS. Estos son algunos de los apartados que son tratados en exclusiva en la norma ISO 3730:

- Tipos de chigres según la posición y el número de cabirones
- Diseño y requerimientos mecánicos de los cabirones
- Características de los frenos del chigre
- Requisitos del motor eléctrico o hidráulico del chigre
- Velocidades de la línea de amarre
- Test sin carga, test con carga, test de frenos y otras pruebas
- Sistema de designación y marcado de chigres

En lo que sí cabe establecer comparación es en lo referente a las consideraciones sobre cargas de trabajo de los elementos de amarre. La OMI (y la IACS), por tener un carácter más general, se refieren a términos como carga de diseño, carga de rotura o carga de seguridad para cualquier tipo de equipo de amarre, haciendo ciertas precisiones. Por ejemplo, estipula que en los chigres la carga de diseño debe ser 1,25 veces la fuerza de rotura de la línea de amarre, y a su vez la carga de trabajo de seguridad (SWL) no debe exceder el 80% de la de diseño.

Mientras tanto, la norma ISO utiliza otros términos: puesto que es específica de los chigres de amarre, contiene relaciones más ajustadas, como que la carga del tambor no puede superar 0,4 veces el límite elástico superior de la línea de amarra, y a su vez debe situarse entre 0,22 y 0,33 veces la carga de rotura de la estacha.

Al margen de esto, resulta interesante comparar las tablas que incluyen los dos documentos. La tabla de la circular de la OMI relaciona la carga de rotura mínima de las líneas de amarre y de las de remolque con el número de equipo; por su parte, la tabla de la norma ISO especifica muchas propiedades físicas (carga del cabirón, velocidad de izada, diámetro de estacha, varios tipos de cargas y metros de capacidad del tambor, entre otras) para cada diámetro nominal del chigre. Las tablas son bien distintas, pero permiten obtener, combinadas, cierta información.

Por ejemplo, si estudiamos un buque con un número de equipo de 1100, según la tabla de la OMI la carga de rotura mínima de sus estachas es de 250 kN. A su vez, mediante la tabla de la norma ISO podemos relacionar un diámetro nominal de 6,3 con una carga de rotura mínima de 252 kN para la estacha. Combinando estas dos observaciones, podemos determinar que el buque necesitará un chigre con un tamaño nominal de 6,3. No es más que un caso particular de las sinergias que podemos obtener a partir de dos tablas elaboradas por diferentes instituciones.

En cualquier caso, la conclusión es que los documentos son considerablemente distintos, lo suficiente para ser poco contradictorios, y ello permite hacer uso de ellos a la vez. De hecho, da la impresión de que así debe ser: la OMI y la IACS parecen más enfocadas hacia la construcción naval, entendida como una industria de síntesis; las normas ISO, y ésta en particular, deberán ser tenidas más en cuenta por los propios fabricantes de equipos, los equipos que, con arreglo a las recomendaciones de las anteriores organizaciones, deberán ser implementadas en los buques.

Como proceso previo deberemos considerar el cálculo del número de equipo (equipment number) y a través de los valores tabulados por la IACS relativos al diámetro, longitud de cadena y la masa del ancla, determinar el tren de amarre y fondeo que el chigre/molinete deberá maniobrar. De la consideración de la regulación armonizada y de las hipótesis de partida, podremos determinar las características principales del chigre/molinete de acuerdo con los datos suministrados por el cliente. Siendo en general necesarios unos datos mínimos de partida.

Realizando un estudio de lo especificado por las Sociedades de Clasificación, se puede observar que estas no arrojan datos referentes a la fabricación de los elementos de los equipos de amarre. Para encontrarlos debemos dirigirnos a la norma ISO 3730.

Los resultados se pueden observar en la tabla siguiente, que confirma que se debe tender hacia una estandarización de los equipos de amarre, así como de los elementos que los conforman. Las Sociedades de Clasificación abordan muchos aspectos referentes al amarre, pero dejan de lado aspectos muy importantes de la fabricación de esos elementos y de sus equipos.

Características especificadas en la norma ISO 3730

Carretel	Fijados los diámetros
Freno	Definido
Separador/Estibador	Definido como opcional
Frenado de emergencia	Exigido
Embrague	Exigido
Carga de trabajo	0.33·MBL del cabo
Carga máxima	0.80·MBL del cabo
Carga para largado	0.50·MBL del cabo
Carga para cobrado	0.50·MBL del cabo
Velocidad nominal	Definida
Capacidad de frenado del carretel	Definido como 0.8·MBL del cabo
Capacidad del carretel	Definido

6. BIBLIOGRAFÍA.

[1] Carral, J., Carral, L., Villa Caro, R., & Fraguela, J. (2015). Anchor windlasses, a design proposal to harmonise regulations. *International Journal of Maritime Engineering*, Vol 157: Part A2. ISSN: 1479-8751.

[2] International Association of Classification S. (2007). Requirements concerning mooring, anchoring and towing. IACS.

[3] ISO 3730. (2012). Shipbuilding – Mooring winches.

[4] Oil Companies International Marine Forum. (2008). Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition. Great Britain: OCIMF.

[5] OMI 1175. (2005). Guidance on shipboard towing and mooring equipment. OMI.

[6] Villa Caro, R. (Diciembre de 2014). Equipos de amarre de los buques. Cargas de diseño, resistencia y factores de seguridad. Boletín Técnico de Ingeniería de la Armada, 60-62. DOI:10.13140/2.1.5040.2880

[7] Villa Caro, R., Carral, L., & Fraguela, J. (2013). Selección del equipo de amarre y fondeo de un remolcador. XXIII Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Ingeniería Portuaria (págs. 461-481). Isla Margarita: IPIN. ISBN: 978-980-7629-00-3

[8] Villa Caro, R. (Julio de 2015). Sistemas de amarre en buques: situación actual y evolución futura. TESIS DOCTORAL.

CONTAMINACIÓN INTERNA POR AGUA DE MAR DE EQUIPOS FRIGORIFICOS EXISTENTES EN LOS BUQUES

Ramos Cavaliere, Reinaldo[1]

[1]Jefe Ingeniero de la Marina Mercante Licenciado en Sistemas Náuticos Perito Naval (en máquinas marinas e ingeniería naval) Eduardo Acevedo 1464 bis / 203. 11.200 - Montevideo, Uruguay. rramos@adinet.com.uy Movil: + (598. 99) 15. 30. 94.Tel/fax: + (598) 2409. 33. 17

1. INTRODUCCIÓN.

A bordo de los buques mercantes se encuentran instaladas cámaras frigoríficas destinadas a la conservación de los productos perecederos y provisiones para la alimentación de la tripulación durante los tiempos de navegación y estadías en puerto.

También encontramos los denominados buques frigoríficos cuyas bodegas y sistemas están preparados y diseñados especialmente para el transporte de mercancías tanto refrigeradas como congeladas.

La mayoría de los buques pesqueros cuentan con instalaciones frigoríficas destinadas a conservar en estado fresco la captura y en otros casos, tales como los buques factoría, a congelarla mientras se encuentran operando en alta mar.

Adicionalmente y desde hace ya mucho tiempo, se ha generalizado la instalación a bordo de equipos de refrigeración en los sistemas de aire acondicionado para tiempo de verano, los cuales brindan confort en los alojamientos destinados a la tripulación, así como también equipos de aire acondicionado instalados en aquellos buques que poseen *Sala de Control de Máquinas*. En este caso, cumplen con el doble objetivo de dar bienestar al personal de guardia y de mantener un rango constante y adecuado de temperatura y humedad ambiental para un correcto funcionamiento de los sistemas de control, sistemas electrónicos, sistemas informáticos y tableros eléctricos existentes en dicha sala.

2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN

Todos estos equipos de refrigeración instalados a bordo de los buques mencionados operan normalmente en base al denominado *"sistema por compresión de vapor"* y en el cual se pueden utilizar distintos tipos de gases refrigerantes.

Este sistema por compresión de vapor y de expansión del refrigerante en forma directa en el evaporador, está conformado por cuatro componentes fundamentales unidos entre sí por medio de tuberías y válvulas.

Estos componentes, tal cual se presentan en el siguiente esquema, son:

- Compresor (A)
- Condensador (K)
- Válvula expansora (R)
- Evaporador (F)

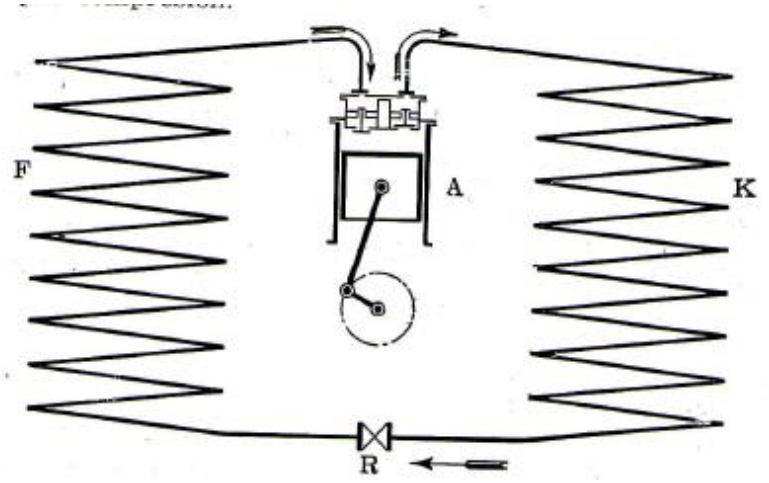


Figura 1. Fuente del esquema: Manual del Técnico Frigorista de la Sociedad Danesa de Fabricantes de Maquinaria Frigorífica

Adicionalmente y para que el sistema pueda funcionar adecuadamente y en forma automática, se requiere de la instalación y montaje de una serie de accesorios, automatismos y dispositivos de seguridad, todos ellos vinculados eléctrica y mecánicamente.

Resumiendo entonces, este trabajo de investigación y análisis sobre la contaminación interna por agua de mar, se enfoca sobre el siguiente diseño de un sistema y equipo frigorífico instalado a bordo de un buque destinado a las cámaras frigoríficas de provisiones:

- Posee un compresor reciprocante de tipo abierto accionado por un motor eléctrico con transmisión por poleas. (normalmente la instalación cuenta con dos compresores)
- Utiliza R-22 como fluido refrigerante (Freón 22, formula química: CH CL F2 - monoclorodifluorometano)
- Utiliza agua de mar de circulación al condensador que es de tipo de tubo y envuelta. El agua es impulsada por ej: a unos 4 bares de presión por medio de una bomba instalada especialmente a esos efectos. Esta presión es variable en función de las presiones del refrigerante utilizado que se generan durante la operación del equipo y de la temperatura del agua de mar.
- Posee instaladas dos cámaras frigoríficas, una para conservar productos refrigerados a +/- 0 °C y otra para conservar productos congelados a - 18 °C.
- Los evaporadores de cada cámara son de expansión directa. Cada uno posee un ventilador y una válvula termostática de expansión y su descongelamiento se realiza por ciclo invertido (gas caliente)
- El equipo funciona totalmente en forma automática.
- El buque se encuentra navegando en una zona con agua de mar de alta salinidad.

3. OBJETIVO.

Dentro de los distintos problemas relativos a fallas de funcionamiento y operación que pueden ocurrir a esta instalación frigorífica que hemos seleccionado, hay un tipo de avería que presenta particularidades muy especiales y a veces de compleja solución.

Sobre todo si la misma ocurre mientras el buque se encuentra en navegación ya que los recursos, materiales y herramientas especiales disponibles a bordo para su solución por parte de la tripulación, no siempre son los más adecuados y en muchos casos directamente no se disponen. Adicionalmente, la reparación del equipo se tendrá que realizar lo más rápido posible ya que es fundamental la conservación adecuada de los productos perecederos existentes dentro de las cámaras frigoríficas.

Esta situación puede llevar a que el buque tenga que hacer un cambio en su ruta trazada para entrar al puerto más cercano a los efectos de encarar la reparación del equipo frigorífico. Naturalmente que esto conlleva a una serie de problemas, como ser y entre otros, a: reclamos de los consignatarios de la carga por demoras en la descarga en el puerto de destino, pérdidas de tiempo y sus costos, reclamos ante la empresa aseguradora, peritajes mandatorios, gastos no previstos, posible contratación de taller especializado, etc. que todo ello significa.

Se trata entonces del análisis de la avería que surge como consecuencia de la contaminación por ingreso de agua de mar al circuito frigorífico, y el objetivo perseguido en este trabajo es el de presentar guías y lineamientos sobre un procedimiento que pueda ser eficaz y que permita una adecuada y rápida reparación.

Con el paso de los años en el ejercicio de la profesión siempre hemos sostenido que el agua de mar dentro de los componentes del sistema frigorífico (compresor, evaporador, condensador, tuberías, accesorios, etc.) es un "cáncer" y su adecuada y radical eliminación es un tema de fundamental importancia. De lo contrario, este "cáncer" continuará existiendo provocando una gran cantidad de inconvenientes al correcto funcionamiento del equipo frigorífico, y más aún si el agua de mar ingresada al circuito contiene un alto porcentaje de sales minerales.

4. CONTAMINANTES DE LOS SISTEMAS FRIGORIFICOS.

Para que un equipo frigorífico funcione correctamente no deben existir en su interior elementos denominados *"contaminantes"*.

Los siguientes son los principales contaminantes causantes de problemas que pueden ingresar al sistema frigorífico de distintas maneras: Aire; agua dulce y agua salada; humedad; fundentes de soldadura; oxidos; polvo; basura; grasa, etc.

Como vemos, este trabajo se focaliza en la contaminación interna por agua de mar del sistema, pero adicionalmente y durante los trabajos de desarme completo de los componentes y de la reparación requerida, seguramente ingresarán los otros contaminantes señalados, los que también requerirán de una atención y tratamiento especial.

El gas refrigerante por si mismo no es contaminante por lo que se asume que el existente a bordo como repuesto para ser utilizado posteriormente en la recarga del equipo brinda todas las garantías de pureza. Este es un punto destacable ya que se ha comprobado a nivel mundial la existencia de refrigerantes adulterados, por lo que se recomienda su estricta verificación al momento de su recepción a bordo.

5. INGRESO DEL AGUA DE MAR AL CIRCUITO FRIGORIFICO.

En condiciones normales de operación, en el condensador del sistema frigorífico se generan presiones del refrigerante que varían en función de la temperatura del agua de mar en ese momento, de otras variables y del gas refrigerante utilizado. Para nuestro caso de ejemplo hemos asumido que el compresor se encuentra funcionando a unos 12 bares y la bomba de agua de circulación de agua de mar a 4 bares.

Nos preguntamos, ¿cómo se produce el ingreso del agua de mar al circuito frigorífico?.

Lo causa más común de la avería es que, en algún momento del funcionamiento normal del equipo, y como consecuencia de una falla en el mandrilado de los tubos con la placa-tubo del condensador, comienza por este lugar a producirse una fuga del gas refrigerante.

Como la presión del gas refrigerante dentro del condensador es mayor que la del agua de circulación, el refrigerante comienza a escapar hacia el flujo de agua que finalmente lo vuelca al mar. Una vez que la presión del refrigerante disminuye por debajo de la presión de la bomba, el agua impulsada por ésta comienza a ingresar al condensador.

En términos generales y en forma simplificada, diremos que al perderse la presión interna del refrigerante en el sistema frigorífico, alguno de los automatismos existentes en el mismo se acciona haciendo que el equipo se detenga, pero la bomba de agua puede seguir funcionando. De esta manera continúa ingresando agua de mar al circuito llegando a inundarlo y así contaminar a todos los componentes del sistema.

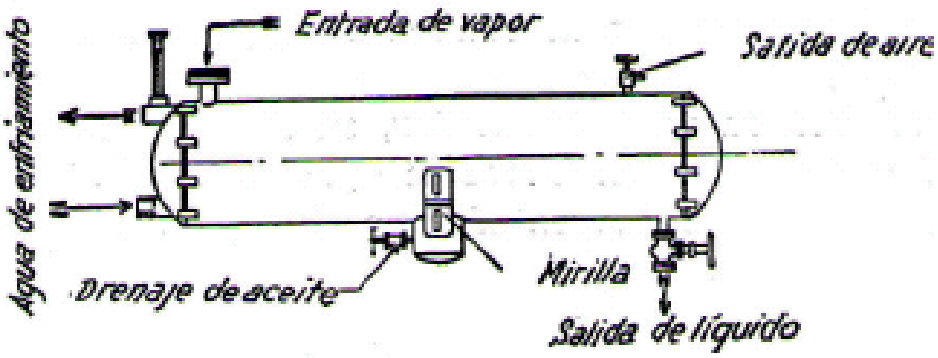


Figura 2. Fuente del dibujo: Manual del Técnico Frigorista. Sociedad Danesa de Fabricantes de Maquinaria Frigorífica

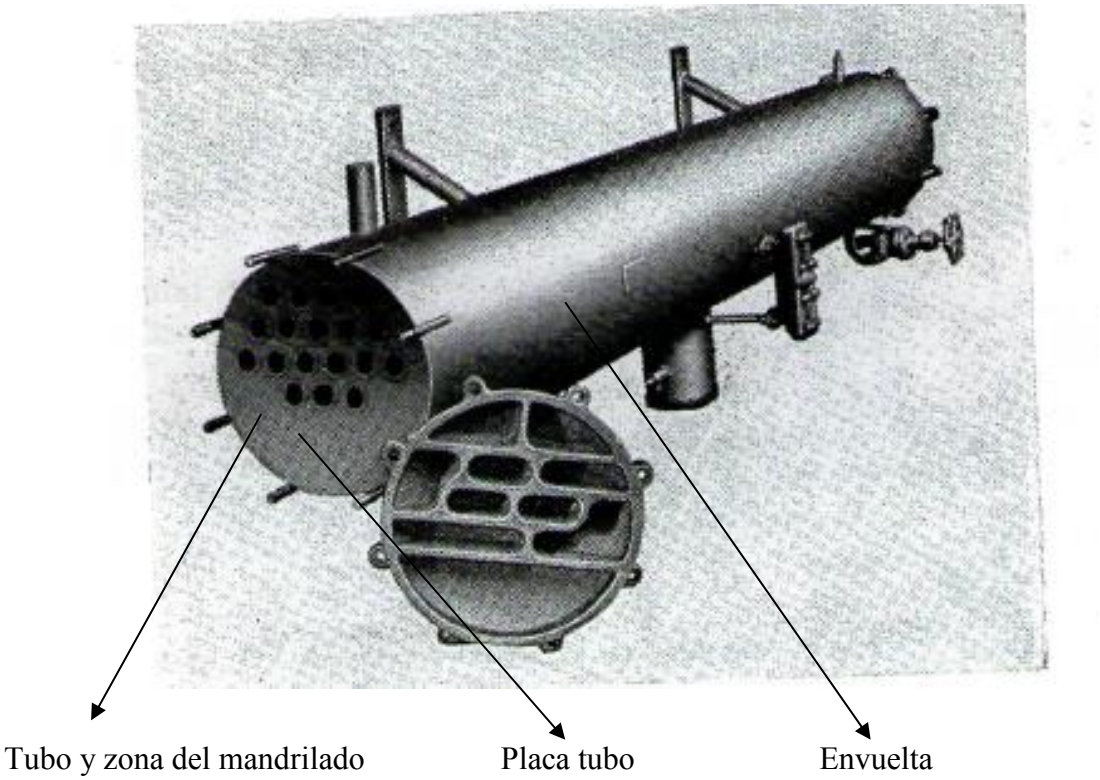


Figura 3. Condensador de tubo y envuelta. Fuente de la foto: Manual del Técnico Frigorista - Sociedad Danesa de Fabricantes de Maquinaria Frigorífica

6. REPARACIÓN DEL SISTEMA FRIGORÍFICO CONTAMINADO INTERNAMENTE POR AGUA DE MAR.

A continuación se detallan los pasos que pueden llegar a seguirse en la reparación de este tipo de avería. A estos efectos se requiere:

- Desmontar y desarmar totalmente el equipo y todos sus componentes sin excepción, con el propósito de realizarles una limpieza profunda para eliminar completamente toda el agua de mar ingresada, ya que este es el mayor contaminante interno que afecta al sistema.

- Realizar a todas las tuberías un "flushing" (barrido) preferentemente con agua destilada que permita extraer adecuadamente el agua de mar, de lo contrario se podrá usar agua dulce de la existente a bordo. Buques de cierto porte poseen plantas destiladoras de agua de mar, que generan agua prácticamente sin contenido de sales minerales, lo que la hace ideal para el "flushing" requerido.

- Someter al condensador a una prueba hidráulica a 1.5 veces la presión máxima de trabajo (aprox. 23 bar) con agua destilada o dulce con el propósito de localizar el o los tubos con pérdidas. Una vez identificado(s) se requerirá anularlo(s) colocándole(s) un tapón cónico de acero en cada uno de sus extremos y éstos estarán unidos entre si internamente por medio de una varilla metálica con rosca y turcas de aprete. No se recomienda soldar el o los tubos a la placa-tubo donde se localizó la pérdida ya que éste es un procedimiento complejo, delicado, que requiere de una atención y cuidado muy especial. Considerar que algunas normas técnicas marítimas establecen que no se pueden anular más allá de un 10 % de los tubos que conforman el condensador, dependiendo a su vez de la zona afectada. Una vez reparada la(s) pérdida(s) se volverá a realizar otra prueba hidráulica similar a la anterior para verificar la adecuada estanqueidad de los tubos con la placa-tubo del condensador.

- Cambiar totalmente el aceite al cárter del compresor. Una vez puesto en servicio nuevamente y después de algunas horas de funcionamiento, es recomendable realizar un nuevo cambio. Restos de sales mezcladas con el aceite pueden llegar a generar ciertos tipos de lodos y gomas los que afectarán una adecuada lubricación y por ende llegar a dañar los pistones, camisas, cigüeñal y su sello, cojinetes, etc.

- Una vez que se entienda que todo el sistema frigorífico y sus componentes estén bien limpios, se procederá al rearmado general, tratando de eliminar toda el agua utilizada durante los flushings y pruebas realizadas. Si se dispone a bordo de Nitrógeno es el gas ideal para hacer estos barridos.

- Se recomienda muy especialmente no realizar el flushing (barrido) utilizando el aire comprimido que normalmente se dispone a bordo. Este aire contiene partículas de aceite en suspensión que no es apto para su mezcla con el gas refrigerante y con el aceite especial para uso en compresores frigoríficos, lo que termina siendo un nuevo contaminante del sistema.

- Cumplida esta etapa, se requiere evacuar la humedad por medio de vacío y algún resto de agua destilada o dulce que aún puedan permanecer dentro del sistema. El equipo ideal es utilizar una *bomba de vacío* pero es probable que en el buque no se disponga de este tipo de bomba, por tanto no habrá otra alternativa que utilizar el propio compresor del equipo frigorífico para realizar la operación de vacío.

- El vacío se efectuará durante varias horas, luego se detendrá la bomba (o el compresor), se medirá el valor obtenido y se repetirá la operación nuevamente hasta alcanzar el mejor resultado posible.

- Una buena práctica para sacar la humedad es calentar de alguna forma el evaporador, el condensador, las tuberías, etc. mientras se está haciendo el vacío al circuito.

- Una vez asegurado por varias horas que el vacío se mantiene, procedemos a cargar el sistema con el gas refrigerante.

- Posteriormente pondremos el equipo de frío en marcha continua y durante cierto tiempo se requiere un control estricto de su funcionamiento.

- Pueden surgir distintos tipos de inconvenientes. Tal vez uno de los más comunes es el congelamiento de la válvula termostática de expansión lo que provoca el bloqueo del pasaje del refrigerante al evaporador. Este problema nos estaría indicando que aún hay humedad en el sistema o suciedades que estarían tapando el filtro de esta válvula. También se requerirá cambiar con frecuencia el deshidratador (de silica gel por ejemplo) que normalmente se encuentra instalado en la línea de líquido del circuito.

- Como todos los componentes del sistema fueron desarmados y vueltos a armar es de vital importancia efectuar controles de pérdidas de refrigerante en forma periódica.

A continuación se presenta un diagrama de un sistema de refrigeración donde se muestran todos los elementos, componentes y accesorios que requerirán una atención muy especial en cuanto a la reparación del caso de contaminación interna por agua de mar.

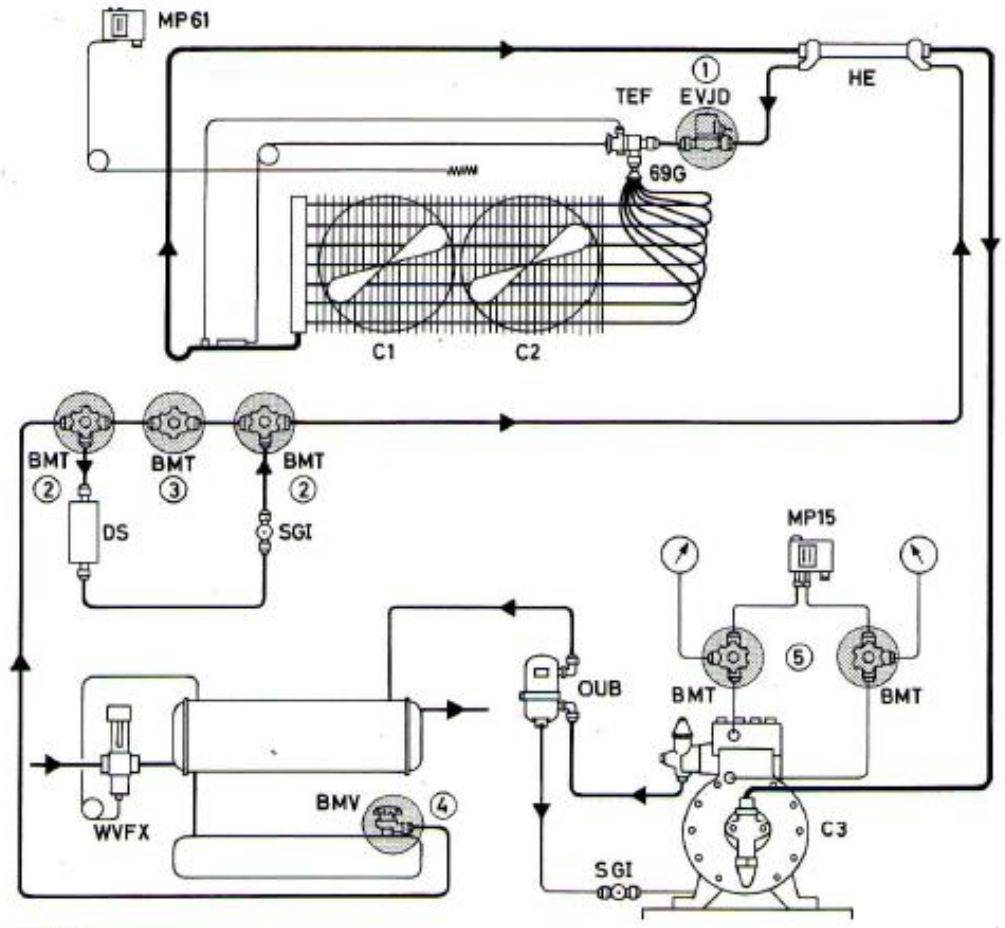


Figura 4. Fuente del esquema: DANFOSS. Automatización de las instalaciones comerciales de refrigeración

Referencias:

1: Válvula solenoide
2/3: Válvulas de paso del secador
4: Válvula de salida del refrigerante en estado líquido
5: Válvulas de los manómetros de alta y baja presión
HE: Sub-enfriador de líquido
C1 / C2: Ventiladores del evaporador

MP 61: Termostato de cámara frigorífica
DS: Secador/deshidratador
MP 15: Presostato de alta y baja presión
C3: Compresor
OUB: Separador de aceite
SGI: Visor de retorno de aceite al cárter del compreso

7. REGISTRO DE LAS EMISIONES DE SUSTANCIAS QUE AFECTAN LA CAPA DE OZONO.

Una vez concluido todo el trabajo de reparación, y si el buque aplica al Convenio Internacional MARPOL 73/78 - Anexo VI sobre *Prevención de la Contaminación Atmosférica por los Buques*, entonces y según la Regla 12, el Jefe de Máquinas deberá registrar en el libro exigido denominado *Registro de Sustancias que Agotan la Capa de Ozono*, la cantidad de kilos de refrigerante R-22 emitidos a la atmósfera, la cantidad de kilos que se utilizó para el llenado del sistema y demás detalles.

MARPOL.

Capítulo 3 - Prescripciones para el control de las emisiones de los buques.

Regla 12 - Sustancias que agotan la capa de ozono.

1.- La presente regla no se aplica al equipo permanentemente sellado que no tenga conexiones de carga de refrigerante ni componentes potencialmente desmontables que contengan sustancias que agotan la capa de ozono.

2.- A reserva de lo dispuesto en la regla 3,1, se prohíbe toda emisión deliberada de sustancias que agotan la capa de ozono. Las emisiones deliberadas incluyen las que se producen durante el mantenimiento, la revisión, la reparación o la eliminación de sistemas o equipo, pero no la liberación de cantidades mínimas durante la recuperación o el reciclaje de una sustancia que agota la capa de ozono. Las emisiones debidas a fugas de una sustancia que agota la capa de ozono, independientemente de que las fugas sean o no deliberadas, podrán ser reglamentadas por las Partes.

3.1.- Se prohibirán las instalaciones que contengan sustancias que agotan la capa de ozono, que no sean hidroclorofluorocarbonos:

.1 en los buques construidos el 19 de mayo de 2005 o posteriormente; o

.2 en los buques construidos antes del 19 de mayo de 2005, si la fecha contractual de entrega del equipo al buque es el 19 de mayo de 2005 o posteriormente, o en ausencia de una fecha contractual de entrega, si el equipo se entrega de hecho al buque el 19 de mayo de 2005 o posteriormente.

3.2.- Se prohibirán las instalaciones que contengan hidroclorofiuorocarbonos:

.1 en los buques construidos el 1 de enero de 2020 o posteriormente; o

.2 en los buques construidos antes del 1 de enero de 2020, si la fecha contractual de entrega del equipo al buque es el 1 de enero de 2020 o posteriormente, o en ausencia de una fecha contractual de entrega, si el equipo se entrega al buque el 1 de enero de 2020 o posteriormente.

4.- Las sustancias a que se hace referencia en la presente regla y el equipo que contenga dichas sustancias se depositarán en instalaciones de recepción adecuadas cuando se retiren del buque.

5.- Todos los buques regidos por la regla 6.1 deberán mantener una lista del equipo que contenga sustancias que agotan la capa de ozono.

6.- Todos los buques regidos por la regla 6.1 que dispongan de sistemas recargables que contengan sustancias que agotan la capa de ozono estarán provistos de un ***libro registro de dichas sustancias***. Ese libro registro podrá formar parte del diario de navegación o de un sistema dé registro electrónico aprobado por la Administración.

7.- El registro de las sustancias que agotan la capa de ozono estará expresado en términos de masa (kg) de la sustancia y se efectuará sin demora, en cada ocasión, con respecto a las siguientes actividades:

1 recarga, plena o parcial, del equipo que contenga sustancias que agotan la capa de ozono;

2 reparación o mantenimiento del equipo que contenga sustancias que agotan la capa de ozono;

3 descarga a la atmósfera de sustancias que agotan la capa de ozono:

3.1 deliberada, y

3.2 no deliberada;

4 descarga de sustancias que agotan la capa de ozono en instalaciones de recepción situadas en tierra; y

5 suministro al buque de sustancias que agotan la capa de ozono.

CHIGRES PARA FINES CIENTÍFICOS EN BUQUES OCEANOGRÁFICOS

Carral Couce, L.[1]; Fraguela Formoso, J. A.[1]; Alvarez Feal, C.[1]; Villa Caro, R.[1]; Costal Millán M.[1]; Rodríguez Guerreiro M. J.[1];Carral Couce J. C.[2]

[1]Universidad de La Coruña, lcarral@udc.es

[2]Carral Design, jcarral@icoiig.es

RESUMEN.

Resulta imprescindible un mayor conocimiento de los océanos, por ello la Oceanografía, está llamada a alcanzar un gran desarrollo futuro. Dentro de esta actividad investigadora, los buques oceanográficos constituyen un instrumento de importancia. En su misión deberán ser capaces de llevar a cabo investigaciones multipropósito, disponiendo de instalaciones básicas para el desarrollo de disciplinas marinas, tales como: Oceanografía Física, Oceanografía Química, Oceanografía Biológica y Oceanografía Geológica.

Para el desarrollo de las campañas de investigación, el buque debe organizar su configuración de equipos y servicios atendiendo a diversos escenarios: pesca, oceanográfico, sísmico, ROV y acústico. En todos ellos los chigres científicos, siendo fijos al buque o portátiles, son utilizados para bajar, remolcar y subir instrumentos unidos por cables, permitiéndole llevar a cabo los trabajos de investigación en el mar. El artículo persigue estudiar y caracterizar estos equipos.

1. INTRODUCCIÓN.

Cubriendo más del 70 por ciento de la superficie de la Terra, los océanos regulan nuestro tiempo atmosférico y clima, proporcionándonos multitud de recursos por contener gran parte de la biodiversidad de la Tierra. Estas circunstancias hacen que el aprovechamiento de los océanos resulte transcendental para nuestro desarrollo, siendo previsible que, dada su condición de espacio inexplorado, se constituyan en este siglo como una mueva frontera para la humanidad (Baird, 2006). Por todo ello, la Oceanografía, como ciencia multidisciplinar que

se dedica al estudio de los océanos, los fenómenos que ocurren en él, así como su interacción con los continentes y la atmósfera, está llamada a alcanzar un gran desarrollo futuro.

En base al mapa de superficie del mundo, con exactitud los océanos cubren el 71% del globo. A pesar de nuestra proximidad al mar la mayor parte de los océanos y sus fondos, a día de hoy, permanecen sin explorar, ya que según estima La Administración Oceánica y Atmosférica Nacional estadounidense (NOAA), una cifra comprendida entre el 95 y el 99 por ciento de los fondos marinos se encuentra inexplorado (NOAA, 1998). La Oceanografía trata de cubrir ese vacío, resultando sus estudios de especial interés por los motivos que identifica Periáñez (2010):

- Debido a la obtención de recursos en forma de alimentos a través de la pesca y la acuicultura
- El empleo del océano como infraestructura por parte del transporte marítimo o en actividades recreativas y deportivas
- La explotación de los recursos materiales de sus fondos, como la extracción de gas y petróleo mediante la utilización de estructuras en la costa o en mar abierto.
- Como consecuencia de que el océano afecta al tiempo atmosférico y climático
- Buscando conocer el impacto de los contaminantes que, en el desarrollo de nuestras actividades, arrojamos en el mar.

A todo esto habría que añadir la reciente inicio en la explotación de las energías renovables de origen marino (ENERMAR).

Para esta actividad de investigación la Oceanografía cuenta con una plataforma móvil que permita la realización de los experimentos necesarios: el buque de investigación oceanográfica (BIO). La evolución en el papel que juegan estos buques de exploración como instrumentos científicos ha sido estudiada por Adler (2014). Que sostiene la tesis de la pasada evolución del BIO, como buque instrumento a una nueva situación de buque laboratorio, hasta convertirse en el tiempo presente en un técnico invisible, "*que tiene como misión desplegar equipos de teledetección, reuniendo datos que no serán analizados a bordo*".

Muy a groso modo, se puede observar que los buques oceanográficos (BIO) se dividen en tres grandes grupos: ***los buques de investigación oceanográfica, los buques de pesca de investigación biológica y los buques de sondeos sísmicos***. Sin embargo, ni el primer tipo de

buque carece de capacidad de investigación biológica o sondeos sísmicos y batimétricos, ni los dos otros grupos carecen de capacidades de investigación oceanográfica general, sencillamente se especializan temporalmente en esos campos según las necesidades de los países y/o universidades que los contratan (Miranda, 2015).

Otras características de la actividad que determinarán el BIO serán las relativas al tipo de equipamiento, la disposición y la autonomía requerida. Basándose en estos aspectos Oliveira et al (2014) establece la clasificación contenida en la tabla 1.

Tabla 1 – Clasificación de los BIO atendiendo al ámbito de sus posibilidades de operación. Fuente: Oliveira et al, 2014).

Ámbito de Operación	***Global***	***Oceanica***	***Regional***
Autonomía (días)	50	40	30
Alcance (km)	2500	2000	1500
Eslora (m)	70 - 90	55 - 70	40 - 55
Tripulación (per.)	+ 30	+ 25	+ 20

Como parte de los equipos auxiliares de la investigación de los BIO, los chigres científicos, fijos al buque o portátiles, permiten remolcar mediante cables los instrumentos de investigación. En estas circunstancias el buque y sus chigres científicos constituyen elementos de trascendental importancia.

Los chigres empleados para la realización de experimentos científicos a bordo, consisten en maquinillas de accionamiento eléctrico o hidráulico, dotados de carreteles para el manejo líneas de remolque, redes o cables umbilicales de sensores de medición. Como características comunes a todos ellos, tendremos: el manejo de elevadas longitudes de cable con una precisión importante a la hora de controlar las velocidades de largado y cobrado, así como una cuidadosa estiba y manejo debido a la particularidad de manejar cables coaxiales que transmiten datos.

En cuanto a su disposición a bordo, es muy común que todos estos equipos se encuentren en un local de chigres, en el que se pueden encontrar motores que accionan grupos de dos

carreteles a cada lado, siendo poco común los equipos individuales (fig.1) (García del Valle, 2007).

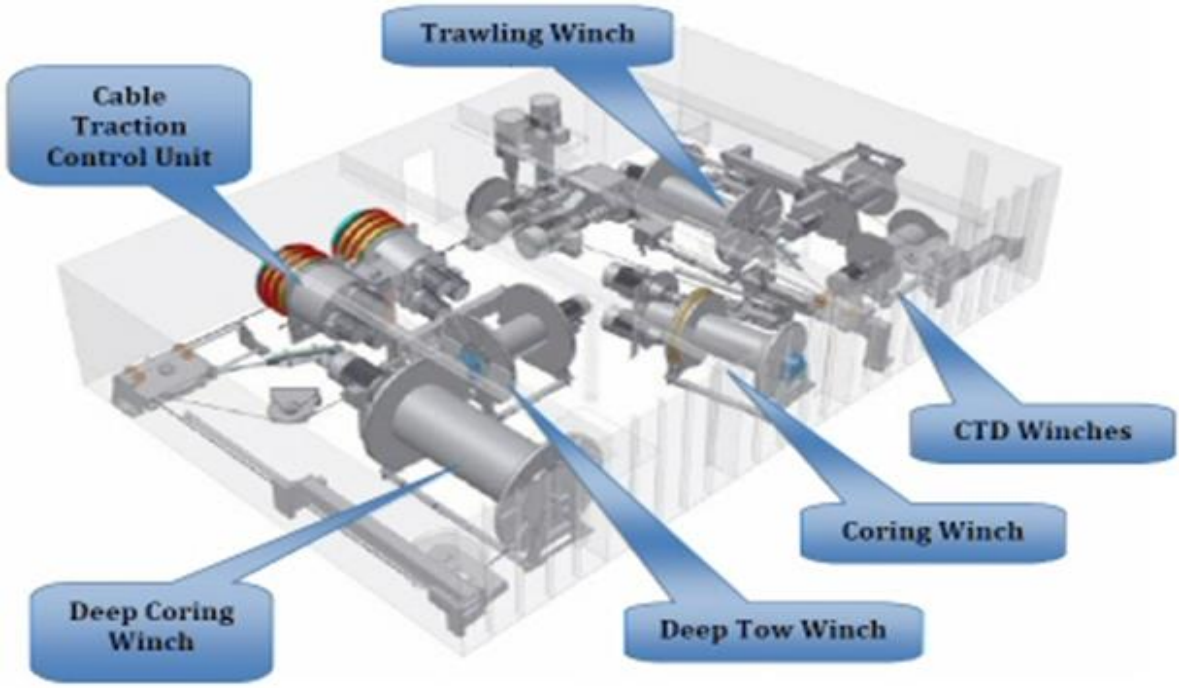


Fig.1 -Local de chigres científicos del buque, mostrando los equipos necesarios para la realización de experimentos. Fuente: web NOC. AC.UK

2. BUQUES DE INVESTIGACION Y EXPERIMENTOS A REALIZAR.

Las técnicas utilizadas para la investigación, excepción hecha de las que se apoyan en el uso de satélites, requieren de algún tipo de apoyo por parte del BIO. Por ello la flota de investigación constituye el principal activo para la consecución de los objetivos científicos y las tareas asociadas a la comprensión de los procesos en alta mar. Esta circunstancia unido al elevado coste de construcción y de funcionamiento de estas unidades, hace que en su proyecto y explotación se persigan objetivos de optimización y operatividad (Oliveira et al, 2014), que finalmente nos conduce al diseño de buques polivalentes con un marcado carácter multi-propósito (Miranda P., 2015); (Costal M., 2015).

Cubriendo esta filosofía multifunción, los buques deberán contar con instalaciones básicas para el desarrollo de las disciplinas marinas que incluye la actividad de la Oceanografía (Oliveira et al, 2014):

Geología y Geofísica Marina: estudio del lecho marino y estructura del fondo mediante la recogida y análisis de muestras y por sus propiedades gravitatorias, térmicas, magnéticas y acústicas, así como mediante técnicas sísmicas.

Oceanografía Física: estudio de los movimientos de las masas de agua, (olas, mareas y corrientes). Medida de las propiedades térmicas, acústicas, ópticas y radioactivas del agua de mar. Descripción de las propiedades básicas del océano, tales como condiciones de límites costeros, profundidad del agua, perfil del lecho marino y estudio de la variación de las propiedades del agua de mar entre océanos.

Oceanografía Química: análisis químico del agua de mar y de las partículas de materia en suspensión incluyendo contaminantes.

Biología Marina: recogida y análisis de fitoplactón y zooplancton, peces, etc.; muestreos bentónicos y pelágicos. Estudio integrado de ecosistemas. Investigación pesquera.

A estas actividades, la referencia (Garcia del Valle, 2007) añade la Meteorología: observación del tiempo atmosférico, monitorización de las radicaciones y mediciones del aire en zonas del océano, y el Salvamento y Trabajos Marítimos en general: servicios de salvamento de buques. Rescate de náufragos. Rescate de material procedente de naufragios. Operaciones marítimas en pecios. Con estas incorporaciones finales el BIO reafirma su carácter multipropósito.

2.1 ESCENARIOS Y MISIONES CIENTÍFICAS.

Este carácter multidisciplinar determina que la realización de los trabajos de investigación en las misiones científicas, precisen de la organización de los equipos y servicios del buque atendiendo a diferentes escenarios que cubran el desarrollo de las investigaciones (García del Valle, 2007):

- Escenario de Pesca, cubriendo la biología marina
- Escenario Oceanográfico, en aspectos de oceanografía física y química.
- Escenario Sísmico, en geología y geofísica.
- Escenario ROV
- Escenario Acústico
- Escenario de Salvamento y Trabajos en general

En lo relativo a las posibilidades de su operación y las características de sus instalaciones, Oliveira et al (2014); Rosenblatt (1960); ECORYS (2014) determinan una serie de requisitos como comunes al diseño de los BIO, y que deben permitir el empleo de aparatos y procedimientos de investigación actuales:

- Aceleraciones verticales menores que los limites operativos que indiquen los instrumentos científicos;
- Espacio en cubierta necesario con zonas protegidas de amplitud suficiente;
- Espacio para laboratorios de usos múltiples, cuidando los accesos;
- Autonomía suficiente;
- Francobordo adecuado para permitir el trabajo en cubierta;
- Maniobrabilidad;
- Comportamiento en la mar;
- Amplio rango de operación a través de todas las zonas climáticas;
- Cabinas en número adecuado y confort para la tripulación técnica y científica;
- Amplia gama de operatividad mediante chigres y grúas;
- Cartografía del fondo marino excelente y sensores ambientales capacidades;
- Sistemas de distribución avanzada de datos, almacenamiento y comunicaciones;
- Sistemas de navegación y posicionamiento dinámico.

Resulta reseñable que se incluya entre los requisitos de la operación de estos buques, la operatividad de chigres y grúas, esta circunstancia determina su importancia y justifica el interés del objetivo de este trabajo. Por último indicar que el BIO en su actividad, deberá ser capaz de operar durante un máximo de 200 días al año, al restar tiempos muertos debidos a tránsitos, mantenimiento y la estancia en puerto.

En cuanto a la disponibilidad, tamaño y carácter de las instalaciones de los BIO, se han indicado tres categorías en función del alcance y rango de sus operaciones (tabla 1). Ciñendo nuestro estudio a Europa, se puede decir que en este continente se cuenta con alrededor de 260 buques de investigación, divididos en categorías de acuerdo con la figura 2. Indicar que la mayoría de ellos resultan de propiedad / operados por las instituciones públicas de investigación, repartiéndose de acuerdo a nacionalidades, tal y como la figura 3 muestra. Países como el Reino Unido (45 buques), Rusia (32), Francia (20), Alemania (29), España (19 buques) e Italia (20) tienen la flota con el tamaño más significativo, de modo que se podrá

indicar que las flotas de investigación son operadas y planificadas a nivel nacional (ECORYS, 2014).

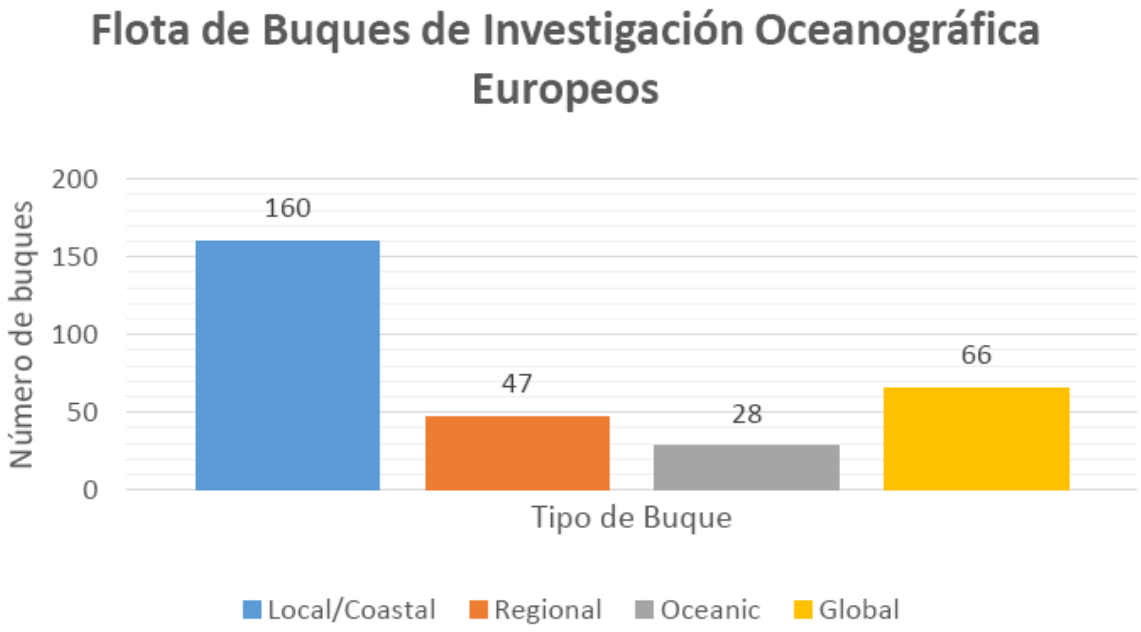


Fig. 2 -Flota de buques de investigación europeos – distribución por rangos de operación. La categoría "regional" englobará también el ámbito "local". Fuente: European research vessels infobase

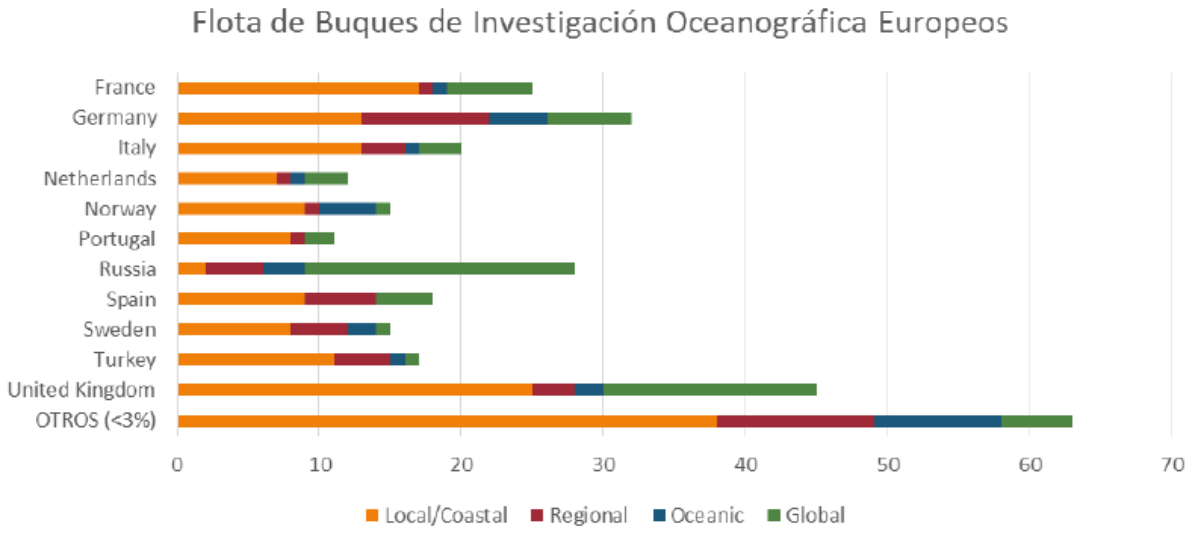


Fig. 3 – Número de BIO por países y clases en Europa. Fuente: European research vessels infobase.

2.2 CARACTERÍSTICAS INNOVADORAS NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DE LAS MISIONES.

La tabla 2 muestra las características principales de los BIO recientemente construidos en España con un cálculo de las medias correspondientes a sus parámetros de diseño. Se aprecia un fuerte impulso a los estudios oceanográficos en este país, como consecuencia del hecho de construir 5 barcos en un periodo de 6 años, presentando 4 de ellos un carácter oceánico o global. En relación con sus dimensiones se aprecia una concentración en valores de 47 y 70 m. de eslora, lo que significa valores intermedios dentro de las categorías señaladas por Oliveira et al, (2013), y valores elevados en cuanto al personal científico embarcado. Señalar de igual modo la importante coincidencia entre las dimensiones principales de las unidades referenciadas.

Tabla 2- Características principales de los buques oceanográficos construidos en España en los últimos años. Fuente: elaboración propia.

AÑO	*BUQUE*	*LOA*	*LPP*	*B*	*T*	*D*	*V*	*GT*	*TRIPULACIÓN*	*AUTONOMÍA (Días)*
-	**Carácter regional**									
2006	**EMMA BARDÁN**	29	25,5	7,5	2,6	3,7	12	200	11	16
	Valor medio regional									
-	**Carácter oceánico**									
2012	**ÁNGELES ALVARIÑO**	46,7	43,84	10,5	4,73	7,2	11	951	27	20
2011	**RAMON MARGALEF**	47,3	43,72	10,5	4,6	4,6	12	988	23	10
	Valor medio oceánico	*47*	*43.8*	*10.5*	*4.7*		*11.5*	-	*25*	*15*
-	**Carácter global**									
2007	**MIGUEL OLIVER**	70	63	14,4	4,8	8,5	14	2480	-	-
2006	**SARMIENTO DE GAMBOA**	70,5	62	15,5	4,9	7,9	14	-	42	40
	Valor medio global	*70.25*	*62.5*	*15*	*4.85*	*8.2*	*14*	-	-	-

A estas dimensiones principales habrá que añadir características operacionales. De acuerdo con el documento (Garcia del Valle, 2007) se presentan como características innovadoras en el proyecto de estos buques, los aspectos siguientes:

-***Relacionadas con las características técnicas-constructivas del buque*** (control de vibraciones).

Relacionadas con los medios e instrumental para investigación (muestreo en condiciones limpias).

-***Máxima automatización, flexibilidad y capacidad de manejo de cargas con precio de explotación reducido***

-***Entorno de trabajo y habitabilidad ergonómico.***

Dentro de la tercera categoría se incluirá la innovación en la operatividad de chigres y grúas, circunstancia que, de nuevo, determina la importancia de este aspecto en la explotación de los BIO y justifica el interés del objetivo de este trabajo

3. CHIGRES OCEANOGRÁFICOS: FUNCIONES Y COMPONENTES.

Los BIO, en sus diversas configuraciones o escenarios, cuentan con chigres dotados de carreteles con capacidad para manejar la totalidad del cable necesario para la realización de los experimentos. En estos equipos el carretel es accionado mediante un motor eléctrico o hidráulico, cuyas revoluciones y par se adaptan a las requeridas velocidades de izada y tracción mediante la interposición de un reductor de varias etapas. El equipo se completa mediante la acción de un freno de cinta. La operación se realiza manteniendo el chigre frenado (mediante la característica de tracción al freno) y remolcando los dispositivos el buque, de ahí la necesidad de la acción del freno para poder realizar el experimento. En el momento presente con la utilización de reductores epicicloidales cuya capacidad resistente en parado es elevada, la tendencia será la de disponer de frenos estáticos de discos múltiples entre el motor y el reductor (Carral et al., 2013a)

3.1 SINGULARIDADES EN SU DISEÑO.

Los chigres están diseñados adaptados, en igual medida, al tipo de línea (cabo o cable) que esté manejando y al dispositivo que ha de traccionar o arrastrar en su extremo (Carral, 2005).

Sin embargo en el caso de los equipos de investigación, en ocasiones se manejan cables coaxiales conteniendo conductores que transmiten la información de los sensores de investigación al buque. Cables compuestos de un núcleo central de conductores aislados dentro de un relleno de material plástico y un recubrimiento exterior de cables de alambre El cable no admite empalmes, debiendo ser en toda su longitud de una pieza. Esto unido a su elevado precio, obliga a que su manejo y estiba deba ser especialmente cuidadoso (NSF, 2001). Las singularidades en su diseño vendrán dados por alcanzar los siguientes aspectos:

- Manejo de líneas de materiales muy diversos: cabo sintético o metálico, para el remolque de equipos o bien cables coaxiales que además del arrastre transmiten datos.

- Posibilidad de contener una elevada cantidad de cable (trabajo en aguas ultra profundas) realizando una eficaz estiba del cable en el carretel. Esta necesidad de estiba eficaz estará motivada por tres circunstancias de importancia; ser capaz de almacenar la totalidad del cable, evitar los daños al cable durante el funcionamiento y finalmente conseguir la adecuada uniformidad en la velocidad de operación actuando sobre las revoluciones del carretel.

- Desarrollar, con gran exactitud y uniformidad, velocidades variables en el carretel.

- Necesidad de contar con el control e indicación de la tracción ejercida por el carretel sobre el cable durante la operación.

- Disponer de un sistema que transmita los datos del cable a un sistema de recepción (ordenador, memoria, etc,)

- Disponer de un sistema que limite la tracción en el cable evitando su rotura.

- Ligereza de los materiales a emplear en su construcción, en el caso de chigres portátiles, y en todos los casos inalterabilidad de estos ante el ambiente marino (acero inox. y aluminio)

- Necesidad de contar con un funcionamiento silencioso y en ausencia de vibraciones (necesario control sobre el ruido irradiado).

- En algunos chigres multipropósito el carretel se debe poder desmontar del chigre con todo su cable, permitiendo que se puedan utilizar varios carreteles con diferentes tipos de cable.

3.2 TIPOS DE CHIGRES OCEANOGRAFICOS.

Los chigres se podrán clasificar atendiendo a su función (tipo de experimento a realizar que condicionará sus parámetros de funcionamiento) (tabla 3) o bien considerando el principio de funcionamiento (modo en que se produce la tracción del cable). Contemplando este segundo aspecto, básicamente podrán ser de dos tipos; tracción directa y de fricción. La tracción directa significa que el carretel almacena y tracciona el cable, siendo su uso frecuente en los casos en los que las tracciones a ejercer no resulten extremas. La tracción mediante fricción, significa dotar al equipo de unas poleas adicionales que resultan tractores del cable arrollado en ellos. Con este sistema el carretel principal únicamente adopta funciones de almacenamiento. El uso de este último sistema conduce al aumento en la duración del cable. (Capitulo 11- NSF, 2001) (Fig. 15).

Tabla 3 – Relación entre experimentos y tipo de chigre empleado con indicación de sus características principales de tracción y capacidad. Fuente: elaboración propia.

Tipo de experimento	**Denominación del chigre**	**Rango Tracción (KN)**	**Capacidad carretel(m)**
Manejo de la roseta CTD	Chigre de maniobra CTD	28 - 60	7000-8000
Extracción de muestras de plancton	Chigre de extracción de muestras de plancton	30 - 200	1000-8000
Extracción de muestras del fondo	Chigre para manejo del CORER	30 - 200	1000-8000
Muestreo de pesca	Chigres de pesca Tambor de red Chigre de lanteón (volteo del copo) Chigre malletero Chigre sonda de red	50 -300	2500-8300
Manejo del ROV	Chigre para manejo del ROV	-	-
SISMICO	-	-	-

3.3 EVOLUCION.

Se han descrito los experimentos en los que participan los chigres oceanográficos, sin embargo con el tiempo se han modificado los protocolos de investigación a seguir para realizar estos experimentos, afectando con ello a los equipos en estudio (Pepin and Shears, 1997; Weinberg et al, 2002: Baumgartner, 2003: Studervant et al, 2011). La referencia Studervant et al (2011) cita distintos campos de variación, tales como: avances en el diseño de las redes de muestreo (Silver, 1983; Chou et al, 1993), en los instrumentos de muestreo oceanográfico (Rudnick and Klinke, 2007), vehículos operados remotamente y equipos acústicos. Estos cambios han significado el desarrollo e incremento de los dispositivos de tipo electrónico de control en los chigres (sensores) que han debido integrarse con los dispositivos eléctricos, hidráulicos y mecánicos (Dempke and Griffin, 1997; Gardon et al., 1998; Hooker and Maritorena, 2000).

Studervant et al (2011) citan de igual modo las efectos que sobre los chigres presenta el desarrollo de la investigación oceánica en mares australes y aguas ultra-profundas, lo que significa una exigencia extra a los chigres en aspectos de potencia y prestaciones (Griffin and Nishimura, 2007; Griffin, 2009)

3.4 ACCIONAMIENTO.

Las características del accionamiento resultará trascendental en su funcionamiento, ya que determina las propiedades de velocidad y par entregado por el equipo al cable. Por este motivo se hace necesario instalar motores con amplias posibilidades de control del tipo eléctrico (AC, DC) o hidráulico (Carral et al, 2015c)

3.4.1 Características del accionamiento eléctrico.

En el accionamiento eléctrico el equipo de control envía periódicamente información al convertidor de frecuencia vectorial, para que este inyecte la corriente a la frecuencia requerida. Con ello se obtiene el par y la velocidad deseada en el motor eléctrico, presentando características de control tales como:

- *Control completo de la tracción del cable a bajas velocidades de izada del chigre*. Los controles permiten velocidad variable sin escalonamientos del 2%, al 200% o más de las rpm del motor (trabajan desde 0 hasta 120 Hz o más) (Pearlman et al, 2015). La

única limitación inferior, será la de la corriente máxima que puede soportar el motor y que limitará su par. Como limitación superior de la velocidad máxima de giro que el rotor es capaz de soportar (fuerza centrífuga), tendremos el grado de equlibrado.

- *Lances automatizados, en los que la tensión y la velocidad se establecen mediante perfiles pre-programados* con controles basados en microprocesadores con entradas RS232 (Pearlman et al, 2015).

3.4.2 Hidráulica.

Se utiliza cuando se presentan algunas, o varias, de las circunstancias siguientes: espacio disponible reducido, no se exija un control fino de la velocidad, las condiciones climáticas a que va a estar sometido el chigre sean muy adversas o bien el ruido emitido no sea un factor determinante. La práctica conduce a la utilización de motores y bombas con control electrónico de la cilindrada y eventualmente del par.

3.5 FRENOS.

En el desarrollo de los experimentos la operación de remolque de los dispositivos se realiza actuando el cable con el carretel frenado, por ello un sistema de frenado estático fiable es indispensable para la operación correcta y segura del chigre. Recientes avances en el control y accionamiento de los chigres han conducido a que, en determinadas maniobras, la operación del chigre se realice manteniendo una tracción constante (Carral et al, 2013a), esto significa su actuación como un freno en régimen dinámico.

El control sobre la maniobra se realiza mediante la actuación sobre la tracción del equipo, de modo que si el valor de la tracción disminuye el chigre actúa cobrando cable hasta alcanzar el valor de consigna de la tensión, resultando la acción contraria en caso de incremento en la tensión. El operador tiene en todo momento una indicación visual del valor de la tensión de la línea. Cuando por causa del oleaje y/o bandazos, el movimiento del buque haga que el cable pueda quedar flojo o en banda, automáticamente el tambor cobrará el cabo para evitar que la estrepada lo rompa (Berteaux et al., 1985). Como sea que la longitud es inferior a la fijada; posteriormente y con el cabo templado el sistema corregirá la longitud largando el cabo que haya podido cobrar con anterioridad.



Fig. 10 - Chigre oceanográfico para el manejo de la roseta CTD con accionamiento eléctrico y reductor. Fuente: Carral Desing

-F*reno dinámico*, presentando un control constante de la tracción prefijada en base a largar o cobrar cable. Al existir un control sobre la tracción, una vez que el buque se encuentra en la posición adecuada, al actuar el modo tensión constante se mantendrá una tensión establecida por el usuario, que se debe ajustar previamente en el panel de control. De este modo se puede mantener la tracción sobre el cable de remolque en un valor deseado (Carral et al., 2015a).

-*Freno negativo*, permite en caso de interrupción en el suministro de energía al accionamiento que se produzca el frenado automático del quipo

3.6 ESTIBADOR.

Se hace necesario disponer de medios de asistencia para estibar el cable de manera uniforme en toda la longitud del carretel. El interés crece cuando la distancia entre el tambor del chigre y la pasteca de largado situada en la borda sea relativamente corto o el tambor del chigre sea muy ancho. O bien en aplicaciones que requieren alta velocidad de recuperación manejando grandes longitudes de cable.

La aplicación de un sistema de husillo estibador en punta de diamante (fig. 11), permite suavidad e uniformidad en la estiba con independencia del diámetro del cable, la velocidad de recuperación, la tensión de la línea y la distancia de la polea de la borda (limitado a ángulos de cable inferiores a 5º con respecto a la perpendicular al eje de carretel). Mediante este sistema de estibado el chigre almacena cable o estacha ordenadamente en el carretel. Cada carretel dispondrá de su propio carro estibador, ambos carros comparten un eje motriz el cual los desplazará a una banda y otra a través de un moto-reductor eléctrico. El conexionado / desconexionado mecánico de cada estibador será manual y a través de una concha guía que permitirá que el carro se mueva acorde con el eje, o que se quede estático aun cuando el eje gire (en oceanográficos el carro estibador no se suele desconectar del husillo). Sin embargo deberán existir disposiciones diferencias para aplicaciones especiales.

Un sistema de *doble estibación* se hace necesario cuando el diámetro del cable no es constante o puede cambiar con frecuencia. El control del avance se hace de modo electrónico a través de dos encoders, uno que mide la velocidad del carretel y otro que lo hace con la del husillo estibador. Las señales de los encoders se envían a un autómata o sistema de control que las procesa y a su vez envía una señal al convertidor de frecuencia para que este varíe la velocidad del motor eléctrico adecuándola al diámetro del cable y la velocidad del carretel.

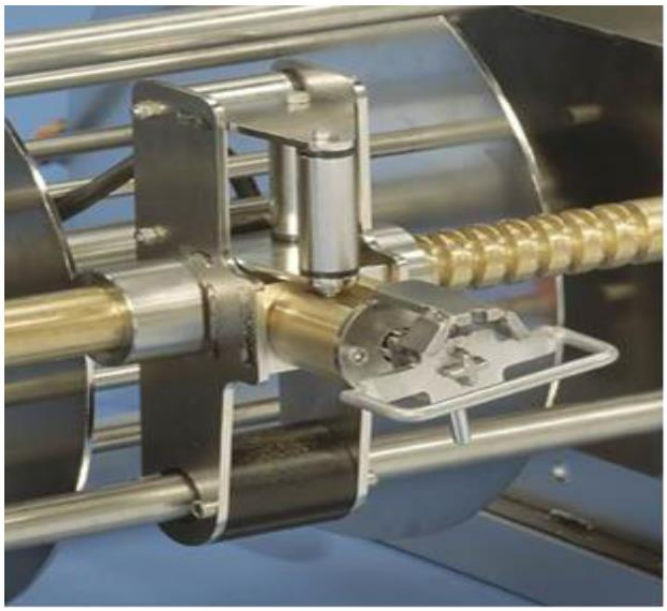


Fig 11- Estibador de husillo. Fuente: Carral Desing

S*istema electrónico de control de estibado*. Los parámetros que definen al estibador, son el avance del husillo y la longitud recorrida. Esta longitud ha de tener un valor acorde a la longitud del carretel. Por cada rpm que el carretel gire, el estibador en concordancia avanzará una vez su paso. (fig. 12). Esto significa que la relación entre las velocidades angulares de los ejes de carretel y de estibador debe mantenerse constante. Si acelera el carretel deberá acelerar el estibador en igual medida. A diferencia de lo que pudiera parecer, como el desarrollo del cable en el carretel depende de la capa en la que se arrolla, la relación entre la velocidad lineal del cable y el avance del estibador no es constante. El eje del estibador dispondrá de un encoder (fig. 12) de generación de pulsos para indicar al sistema donde se encuentra y a qué velocidad está trabajando. El sistema utilizará ese encoder para sincronizar velocidad angular del carretel (rpm) y la velocidad lineal del estibador (y en consecuencia su avance por vuelta).

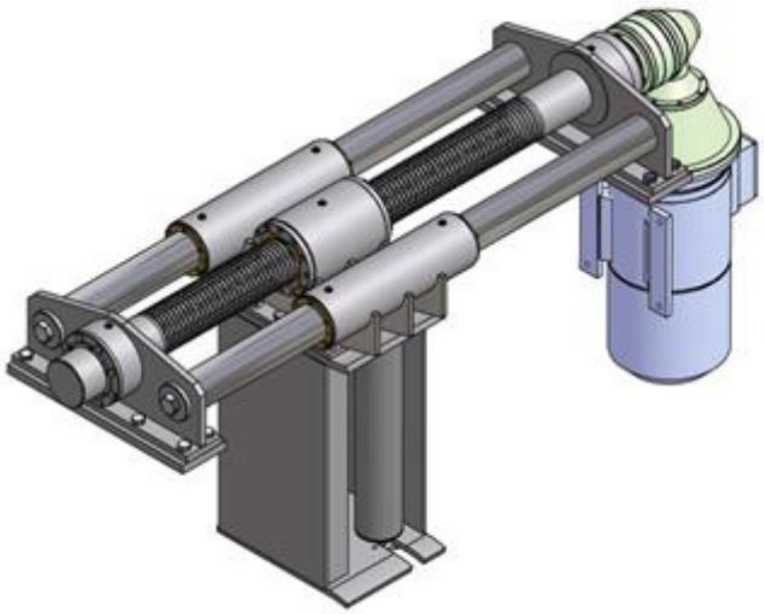


Fig. 12 – Sistema de estibación mediante control electrónico. Fuente: (Scantrol, 2015)

El control permite una precisa estibación incluso cuando varía el diámetro del cable. El mecanismo de estibado es controlado por un autómata programable, lo que permite conseguir los mejores resultados, ahorrar tiempo durante el estibado y hasta aumentar la vida útil de los cables.

El sistema está formado por una unidad de control (fig, 13), una botonera para control manual, y un panel de alarma (opcional) para instalar en el puente. El sistema se conecta a los sensores de rotación del tambor del chigre, a los sensores del husillo de e estibación, y al

variador de frecuencia del motor eléctrico o a las válvulas solenoides de presión (en el caso de un sistema hidráulico) que mueve el husillo. Las señales de los sensores de rotación del tambor son usadas para calcular la posición deseable para el dispositivo de estibado. Las señales del husillo se usan para calcular la posición actual del dispositivo de estibado. Con esta información se genera la señal de control que se envía al motor del estibado para obtener la posición correcta. Si se controlan varios chigres se instala un selector en la cabina que permite elegir con cual se opera.

Los encoders para la medida de la rotación del husillo son montados junto con la transmisión, o alternativamente en el lado opuesto (final) del husillo. Los sensores para contar las vueltas del tambor y husillo, son los usados habitualmente para saber la longitud de cable utilizada.

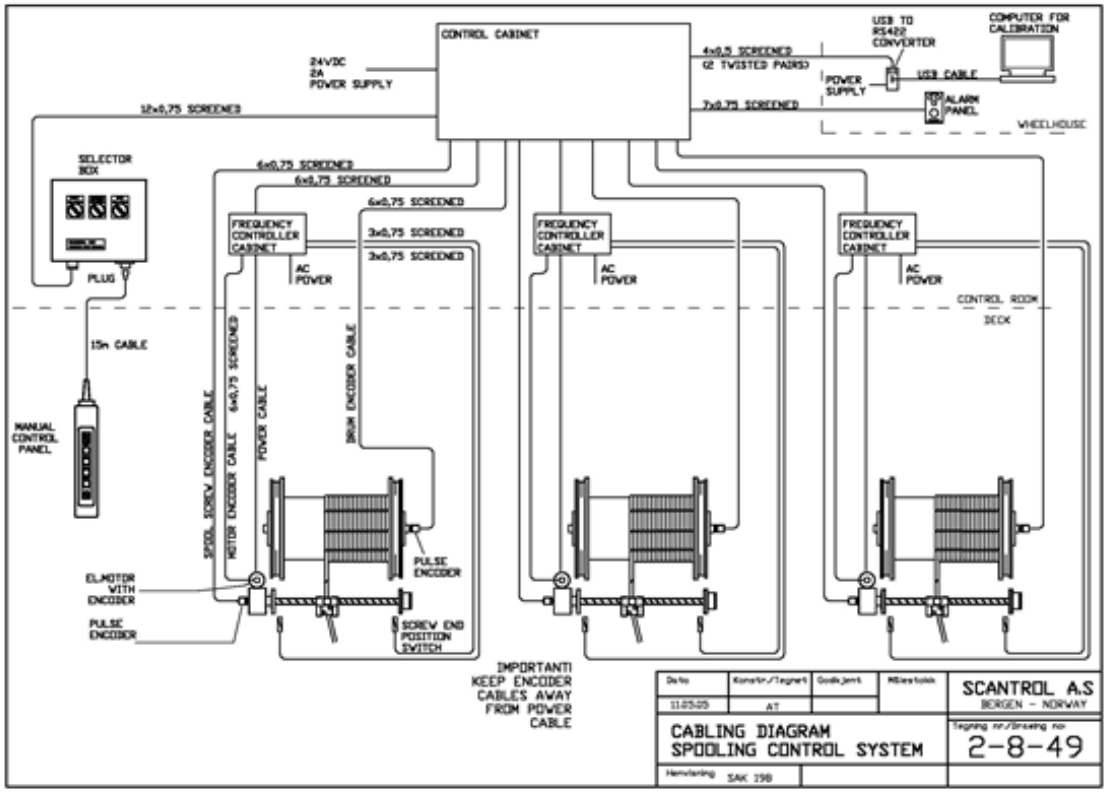


Fig. 13 – Diagrama de control de estibado. Fuente: (Scantrol, 2015)

3.7 SUPERVISIÓN Y CONTROL.

-*Sistema de control de la tracción del cable, longitud largada, velocidad del tambor*, se establece un control de la maniobra a través de mantener dentro de unos márgenes ajustables los valores de la tensión del cable y la longitud total largada. Una vez que el operador ha fijado en el sistema valores para la tracción y longitud de cable deseado, el chigre actuará largando cabo mientras la tensión supere la prefijada. En el momento en el que la tensión quede por debajo del valor de consigna, cobrará línea hasta alcanzar la longitud inicial fijada por el operador.

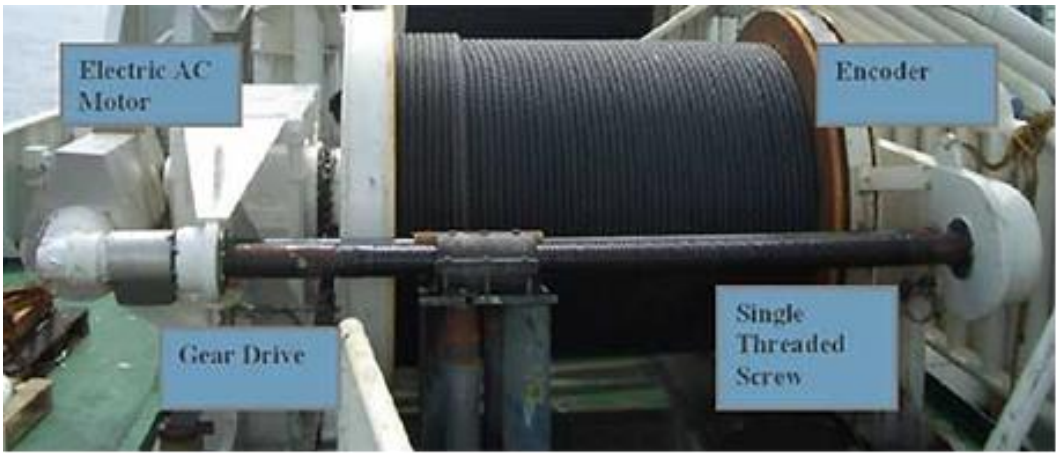


Fig. 14 – Chigre dotado de un sistema de control electrónico del estibado. Fuente: (Scantrol, 2015)

3.8 CHIGRES DE FRICCION.

Frente al sistema habitual de tracción directa, en el que el cable trabaja sobre un conjunto de múltiples envolturas de capa, en los chigres de fricción las poleas de tracción absorben las cargas de la línea, al permitir que el cable trabaje sobre sí mismo en una ranura formada en ellas. De ahí su ventaja, ya que el cable trabaja en unas condiciones mejores que las que corresponden a la tracción directa en la que la capa superior presiona a las inferiores. Uno de los beneficios de un sistema de chigre de tracción es que la velocidad del cable, tracción y el rendimiento del equipo es el mismo, independientemente de la cantidad de cable largado Los diseños de sistemas de chigres de tracción incluye una doble polea de tracción, el chigre de almacenamiento, la polea de reenvío en ángulo recto y la unidad de potencia.

El dispositivo de accionamiento de fricción, al mantener un arco suficiente de contacto bajo un coeficiente de fricción y una tensión adecuada en el extremo interior de la línea, el movimiento del cable se ve afectado por el efecto de las poleas de fricción. El diámetro de las poleas se determina mediante el radio mínimo de curvatura del cable (NSF, 2001), teniendo en cuenta que aumenta a medida que las cargas resultantes se acercan al 100% de la resistencia a la rotura del cable.

La relación entre las tensiones de entrada y salida vendrá dada por utilizar la fórmula propuesta por (NSF, 2001 capítulo 11; Carral et al, 2013b):

$$T_1 = T_2 . e^{\mu . \beta} \qquad (1)$$

B = ángulo formado por el arco de contacto del cable con la polea (radianes)

μ = coeficiente de fricción

e = 2,718

T_1 = tracción en la salida

T_2 = tracción en la entrada al carretel

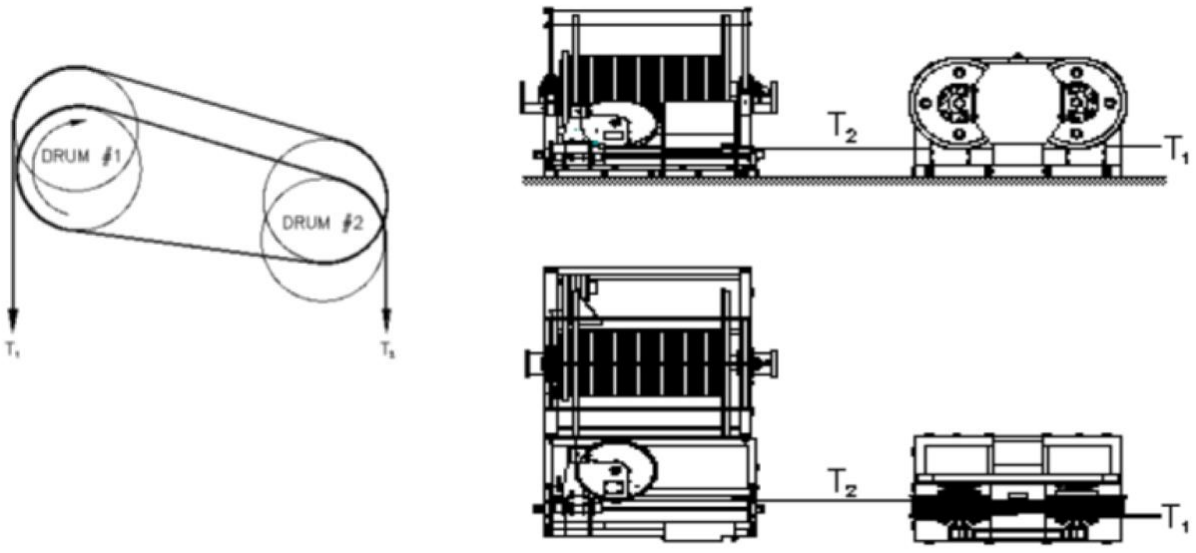


Fig. 15 – Dispositivo de accionamiento mediante fricción mostrando las poleas. Fuente: (NSF, 2001)

Se tendrá en cuenta que si T_2 se anula, T_1 también lo hace. Otra consideración importante es que además del coeficiente de fricción, la tracción depende del arco de contacto, resultando

independiente del diámetro de la polea y no produciendo ningún efecto la longitud de contacto entre la línea y la polea.

El cálculo del número de poleas que se deben disponer en el dispositivo de tracción vendrá dada por la expresión anterior, con la consideración del ángulo abrazado como incógnita, además se deberá tener en cuenta el valor del coeficiente de fricción (cable engrasado de acero sobre acero, la referencia (Oberg et al, 1992) indica un coeficiente de fricción para este caso de 0,16, mientras que (Carral et al, 2013b) propone un coeficiente 0.1 para el caso de cabo.

Ahora para determinar el número de ranuras en las poleas, utilizamos la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{ln\left(T_1/T_2\right)}{\mu} \quad (2)$$

ln = logaritmo natural

T_1= tracción en la salida

T_2 = tracción en la entrada del carretel

μ = coeficiente de fricción, en este caso 0,10

θ = radianes polea de contacto

Por otra parte el cable se almacena en múltiples capas en un chigre de almacenamiento, cuya tracción será aproximadamente un 10 a 15% de la tracción de las poleas. La estiba se produce de modo uniforme en múltiples capas, siendo por ello este sistema utilizado en el manejo de grandes longitudes de cable (fig. 15).

3.9 CARRETELES.

3.9.1 Consideraciones previas.

El INSHT (2000) determina el arrollamiento de cable en tambores y poleas considerando la fatiga por flexión del cable en relación con el diámetro de su arrollamiento. Para evitar que estos valores sean excesivos es conveniente tener en cuenta dos mínimos:

a. Relación entre el diámetro de la polea o tambor y el del cable (*D/d).*

b. Relación entre el diámetro de la polea o tambor y el del mayor alambre (*D/δ).*

En la ref. (INSHT, 2000) se indica el interés en que el diámetro de los tambores de izar no sea inferior a 30 veces el del cable, siempre que sea también 300 veces el diámetro del alambre mayor. Para las poleas, los fabricantes recomiendan que en la relación entre su diámetro y el del cable se cumpla D/d. ≥22, donde el diámetro de la polea se considera medido desde el fondo de la garganta.

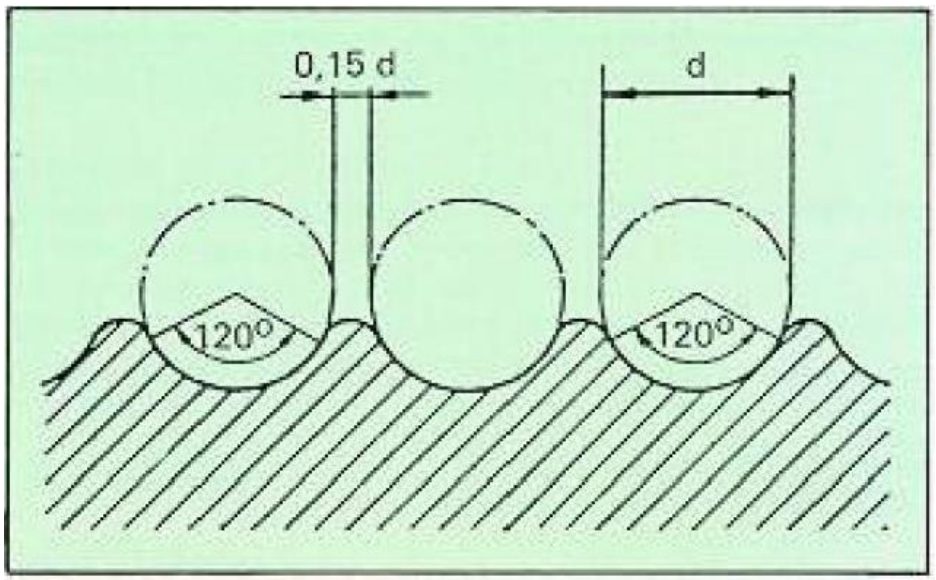


Fig. 16 - Fuente (INSHT, 2000) – NTP 155

Es conveniente que los tambores sean de tipo acanalado y tengan la disposición que se refleja en la figura y el ángulo α de desviación lateral que se produce entre el tambor y el cable debe ser inferior a 1,5º.

3.9.2 Proceso de cálculo.

El proceso de diseño del carretel, determinará el cálculo de los parámetros siguientes:

Diámetro mínimo del tubo **(mm)**. Que se obtiene a partir del diámetro del cable como resultado de la expresión:

$$d_{min} = r.d_{cable} \qquad (3)$$

d_{cable} = diámetro del cable

r = relación diámetro del carretel / diámetro cable (*D/d)*

Para que el cable metálico o línea de cabo no sufra al arrollarse en el carretel, la relación entre el diámetro de ellos (cable/línea) y el diámetro del tubo debe ser mayor de 10 para la línea, y de 20 para el cable. En el caso concreto de los cables se obtienen valores más precisos en función de su composición, esto de acuerdo con la tabla 4.

Tabla 4 – Relaciones D/d para diversos trenzados de cable. Fuente: elaboración propia

Aplicación	Composición del cable	Relación D/d	Relación D/δ
Pesca	6 x 12 + 1 Normal	29	345
Amarre y pesca	6 x 19 + 1 Normal	25	378
Amarre	6 x 19 + 1 Seale	27	330
Amarre	6 x 25 + 1 Relleno	21	345
Remolque	6 x 37 + 1 Normal	17	360

Diámetro máximo de la lateral del carretel (mm), se obtendrá **a** partir del diámetro del tubo y de la bandera del carretel como aplicación de la expresión;

$$D_{max} = B.d_{\min} \quad (4)$$

d_{min} = diámetro del tubo (m

B = bandera del carretel (D_{max}/d_{min})

Siendo la bandera del carretel (D_{max}/d_{min}), la relación entre el diámetro de la lateral de carretel y el diámetro del tubo. Para un mismo número de revoluciones del carretel, esta relación define la variación de la velocidad lineal del cable al cambiar la capa de trabajo. Por todo ello el valor de la relación depende del tipo de aplicación del chigre, así los chigres oceanográficos y de elevación, se consideran de importancia alta (tabla 5).

Tabla 5 – Relaciones entre D_{max}/d_{min} (bandera del carretel) para diversas aplicaciones. Fuente. Elaboración propia

Tipo de accionamiento	**Importancia de la velocidad**		
	Alta	Media	Baja
Velocidad constante	1,5	2	3
Velocidad variable	2	3	5

Anchura del carretel (mm). La obtenemos a partir de la capacidad conocida del carretel. En su cálculo dejamos una holgura en el sentido del radio de una capa y media de cable, lo que es lo mismo, 1,3 veces el diámetro del cable.

$$L_{carretel} = 1520.d_{cable}^2.C_{cable} \Big/ \left[(D_{\max} - 2.6.d_{cable})^2 - d_{min}^2\right].k_{ext} \qquad (5)$$

d_{cable} = diámetro del cable (mm)

C_{cable} = capacidad de cable (m)

Dmax = diámetro máximo del carretel (mm)

dmin = diámetro mínimo del carretel (mm)

k_{est} = coeficiente de estiba

Donde el Coeficiente de estiba k_{est}- será un valor por el que se multiplica la capacidad teórica del carretel para obtener su capacidad real. Presentará dependencia del empleo de estibador y del material de la línea a estibar (cable o línea de cabo). La tabla 6 nos indica los valores que toma.

Tabla 6 – Valores del coeficiente de estiba para diversas aplicaciones. Fuente. Elaboración propia

	Coeficiente de estiba	
	Cable	Estacha
Carretel con estibador	1,15	1,15
Carretel sin estibador	1	1,05

Número de filas de cable por capa: Será el número de hileras de cable que caben en cada capa del carretel, dejando una holgura mínima entre cada fila del 3% del diámetro del cable, siendo este dato de importancia para conseguir un buen estibado del cable. Se calcula como aplicación de la expresión;

$$Número_{\ filas\ n} = {}^{L_{carretel}\ .\ k_{est}}/_{1.9.\ d_{cable}} \qquad (6)$$

Lcarretel = anchura del carretel (mm)

k_{est} = coeficiente de estiba

d_{cable} = diámetro del cable (mm)

***Número de capas*:** Es el número de capas de cable que caben en el carretel. Es importante que la holgura libre desde la última capa no sea excesiva. Para ello, descontando la holgura de una vez y medio el diámetro cable (Carral et al, 2015d) , el número de capas que entren en el carretel debe ser un valor entero.

$$Número_{\ capas\ m} = \left({}^{D_{\max} \quad - d_{min} - 44.6.\ d_{cable}}/_{2.\ d_{cable}.\cos 30} \right) + 1 \qquad (7)$$

Dmax = diámetro máximo del carretel (mm)

dmin = diámetro mínimo del carretel (mm)

d_{cable} = diámetro del cable (mm)

Anchura recomendada del carretel (mm): Es la anchura del carretel para que en todas las capas contengan el mismo número de filas y así se consiga un estibado óptimo. Para ello la anchura interior del carretel debe ser múltiplo de (m + 0,5) veces del diámetro del cable, es decir; 12.5, 16.5, 20.5, etc.

$$L = [E(m) + 0.5].\ {}^{1.19.\, d_{cable}}\Big/_{k_{est}} \qquad (8)$$

E [m] = parte entera del nº de capas

d_{cable} = diámetro del cable (mm)

k_{est} = coeficiente de estiba

3.10. POTENCIA REQUERIDA POR EL CHIGRE.

Será la potencia media que debe entregar el motor de accionamiento del chigre. Depende de la velocidad media de izada, de la tracción correspondiente a esa velocidad y del tipo de accionamiento que se va a emplear. Se deberá determinar si el accionamiento es directo o mediante reductora, así como el rendimiento de la transmisión. Se utilizará la fórmula siguiente:

$$P\ (W) = \frac{T \cdot V_s}{\eta_t} \qquad (9)$$

Si la velocidad de izada no viene definida por la especificación de contrato, se pueden tomar los valores contenidos en la tabla 11. A falta de datos experimentales y para una primera aproximación puede tomarse como rendimiento de la transmisión el producto del rendimiento de la caja reductora por el rendimiento del carretel (Carral, 2005). El rendimiento de la caja reductora depende del número y tipo de engranajes que tenga cada etapa de reducción. Si el accionamiento es directo, evidentemente, el rendimiento será la unidad. Valores típicos de rendimientos se podrán encontrar en la ref. (Carral et al, 2015c).

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS CHIGRES INSTALADOS EN BUQUES OCEANOGRÁFICOS.

La clasificación de los equipos, atendiendo a la función o experimento que realice el dispositivo que manejan, ha quedado indicada en la tabla 3. Ahora profundizaremos en las caracterísicsa de cada uno de ellos.



Fig. 17 - Disposición de chigres oceanográficos. Fuente: (Ibercisa, 2015)

4.1 CHIGRES PARA EL MUESTREO DE LA PESCA - CHIGRE DE TRACCIÓN Y MANIOBRA PARA PESCA Y TAMBOR DE RED.

Los chigres destinados al muestreo de los caladeros de pesca, se corresponderán con los necesarios para la maniobra del aparejo de pesca; tracción de los cables de arrastre, de las malletas, de los cables de izado del copo, el manejo de la propia red y su contención a bordo (tambor de red) (Carral et al, 2015b). La disposición en cubierta de estos equipos adopta diversas disposiciones (Fig. 18). La primera posibilidad contempla la colocación de dos chigres independientes, una a cada costado, así como el tambor de red en una cubierta superior. En el segundo caso se monta un chigre único y centrado, que incorpora los carreteles de tiro a ambos lados y deja espacio en el centro para el tambor de red. (Carral, 2005). Respecto al cable de arrastre y las malletas, podrán estibarse de forma conjunta en

carreteles comunes o bien mediante estiba individualizada en carreteles separados (Nuñez and Santos, 1994. P. 138). En relación con el chigre para el izado del copo es habitual disponerlo en una zona lateral de la cubierta (Carral et al., 2015b); (Carral, 2005).

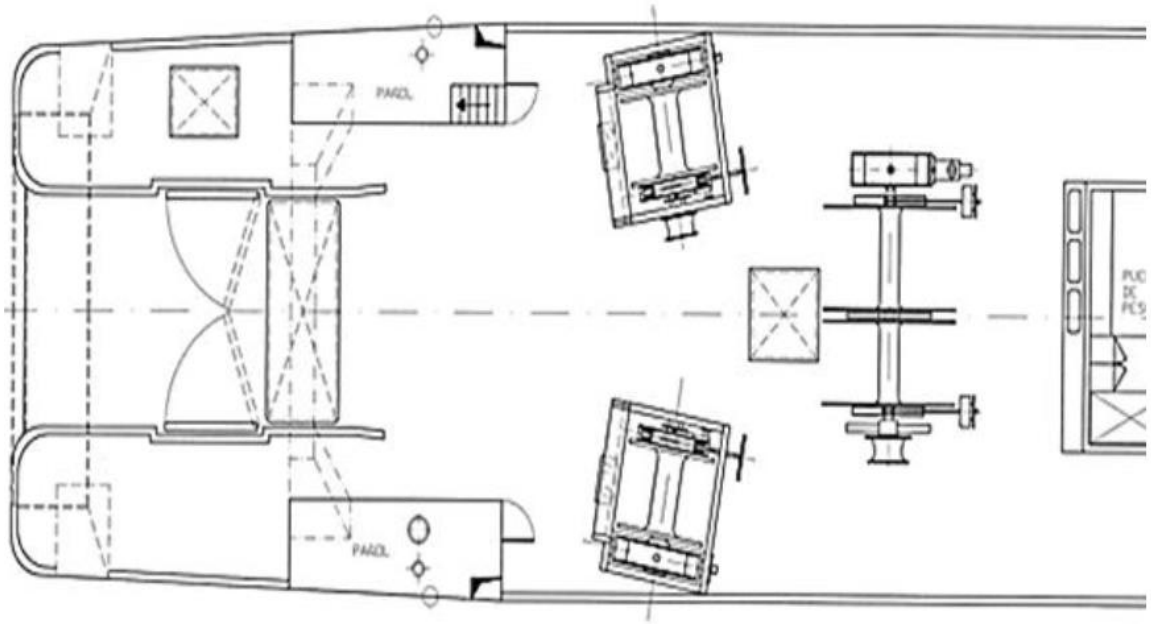


Fig. 18 - Disposición en cubierta de la maquinaria de pesca: Chigres de pesca independientes y chigre único. En ambos casos existe tambor de red. Fuente: (Carral and Carral, 1999b)

La composición característica para el manejo de redes de arrastre para investigación, puede consistir en el conjunto de equipos siguientes:

- Chigres de arrastre (2),

- Tambor de red (1),

- Chigres auxiliares de lanteón y malleta (2),

- Chigre de sonda de red con cable (1)

Las características han quedado recogidas en las tablas 7 y 11.

Tabla 7- Se corresponde con las características de los chigres de pesca embarcados en buques oceanográficos de reciente construcción. Fuente: elaboración propia

Buque	Tipo	Tipo de cable	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Tiro (T)	Velocidad (m/s)
RRS Discovery	Chigre de pesca	Acero	8300	14,5	11,5	2
	Chigre de pesca	Acero	4350	16,5	16.5	2
	Chigre de pesca	Acero	2350	18	12,5	2
RRS James Cook	Chigre de pesca	Acero	8300	14,5	11,5	2
	Chigre de pesca	Acero	4350	16,5	16,5	2
	Chigre de pesca	Acero	2350	18	12,5	2
Sarmiento de Gamboa	Chigre de pesca	Acero	10000	14		1
Ángeles Alvariño	Chigre de pesca	Acero	3000	18	12	2
	Chigre de pesca	Acero	3000	18	12	2
	Chigre de Sonda de Red	Acero	2500	11	30	
	Tambor de red		2 x 3 m3			
Ramón Margalef	Chigre de pesca	Acero	3000	18	12	2
	Chigre de pesca	Acero	3000	18	12	2
	Chigre de Sonda de Red	Acero	2500	11	30	
	Tambor de red		2 x 3 m3			
Emma Bardán	Chigre de pesca		1500	14	5,4	2
	Chigre de pesca		1500	14	5,4	2
	Tambor de red		2 x 1 m3			
R V Belgica	Chigre de pesca	Acero	4000	14	6.4	1
	Chigre de pesca	Acero	4000	14	6.4	1
	Tambor de red		7 m3			
ORV Sagar Nidhi	Maquinilla oceanográfica	Acero	10000	18	25	
	Maquinilla oceanográfica	Acero	10000	18	25	
Maria S Merian	Chigre Fricción		-	18	15	2
	Chigre Fricción		-	18	15	2
	Chigre Almacén		7200	18	2	2
	Chigre Almacén		7200	18	2	2
Cefas Endeavour	Chigre de pesca	Acero	19500			
	Chigre de pesca	Acero	19500			
	Tambor de red		7.7 m3			
	Tambor de red		7.7 m3			
	Tambor de red		8 m4			
Celtic Explorer	Chigre de pesca	Acero	4500	26	34,5	
	Chigre de pesca	Acero	4500	26	34,5	
	Tambor de red		10 m3			
	Tambor de red		8,78 m3		17	
	Tambor de red		8,78 m4		18	
	Maquinilla de Sonda de Red	Acero (Armadura)	4600	11	6	

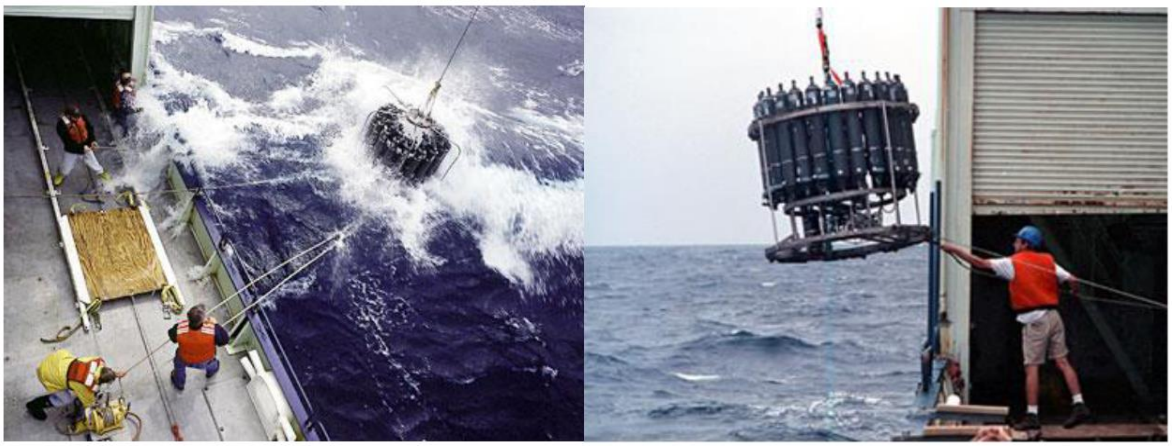


Fig. 19 – Maniobra para cobrar a bordo la roseta CTD mediante el correspondiente chigre

4.2 CHIGRE DE MANIOBRA DE LA ROSETA CTD.

En este experimento el chigre debe manejar un elemento denominado "roseta" (Fig. 19), para ello se utilizan disposiciones como las contenidas en la tabla 8:

Tabla 8- Características correspondientes a los chigres para maniobra de la roseta CTD en diversos buques de reciente construcción. Fuente: elaboración propia

Buque	*Tipo*	*Tipo de cable*	*Longitud (m)*	*Diámetro (mm)*	*Tiro (T)*	*Velocidad (m/s)*
RRS Discovery	CTD - 1	Acero (Armadura)	8000	11,43	5	2
	CTD - 2	Acero (Armadura)	8000	11,43	5	2
RRS James Cook	CTD - 1	Acero (Armadura)	8000	11,43	5	2
	CTD - 2	Acero (Armadura)	8000	11,43	5	2
Sarmiento de Gamboa	CTD	Coaxial	7000	10		2
Miguel Oliver	CTD	Acero	8000	8,15	4,7	5
Celtic Explorer	CTD	Acero	7000	8,3	6	
Cefas Endeavour	CTD	Acero	8000	9	2,8	2

4.3 CHIGRE DE MUESTRAS DE PLANCTON.

Los buques realizan las operaciones de extracción de muestras de plancton por medio de una red de plancton que se arrastra por un cable no conductor. Para ello suelen utilizar la maniobra formada por los siguientes equipos: un pórtico tipo A *frame*, situado en un costado y a popa del brazo de la roseta, un chigre para la extracción de muestras de plancton, todo ello dotado de un sistema local y remoto de control manual. Se recogen las características en las tablas 9 y 11

Tabla 9- Características correspondientes a los chigres para muestreo de plancton en diversos buques de reciente construcción. Fuente: elaboración propia

Buque	**Tipo**	**Tipo de cable**	**Longitud (m)**	**Diámetro (mm)**	**Tiro (T)**	**Velocidad (m/s)**
RRS Discovery	Muestreo (Aguas Profundas)	Sintético (Plasma®)	8000	22	20	2
RRS James Cook	Muestreo (Aguas Profundas)	Sintético (Plasma®)	8000	22	20	2
Sarmiento de Gamboa	Muestreo Plancton		6000	6		2
Maria S. Merian	Muestreo		6200	11	3	2
Cefas Endeavour	Muestreo	Cable	1000	20	2,8	
	Muestreo	Cable	2000	12	2,8	

4.4 CHIGRE DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DEL FONDO.

El sacatestigos es un tubo de longitud variable, dotado de un cabezal y presentando un peso elevado, que se estiba en la cubierta superior, y se maneja mediante el correspondiente chigre.

Tabla 10 - Características correspondientes a los chigres para maniobra del sacatestigos o Corer en diversos buques de reciente construcción. Fuente: elaboración propia

Buque	Tipo	Tipo de cable	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Tiro (T)	Velocidad (m/s)
RRS Discovery	Muestreo (Aguas Profundas)	Sintético (Plasma®)	8000	22	20	2
RRS James Cook	Muestreo (Aguas Profundas)	Sintético (Plasma®)	8000	22	20	2
Sarmiento de Gamboa	Muestreo (aguas profundas)		10000	14		1
Maria S. Merian	Muestreo (simple)		6200	11		
Cefas Endeavour	Muestreo	Cable	1000	20	2,8	
	Muestreo	Cable	2000	12	2	

5. CONCLUSIONES.

Distintas referencias: Oliveira et al (2014); Rosenblatt (1960); ECORYS (2014), coinciden a la hora de determinar requisitos comunes al diseño de los buques de investigación oceanográfica (BIO), incluyendo entre ellos la necesaria operatividad de chigres y grúas. Este hecho, a la vez que confirma la importancia de este aspecto, justifica el interés del objetivo de este trabajo. Por su parte Garcia del Valle (2007) incide en la necesidad de innovar en la operatividad de chigres y grúas.

Las singularidades que presenta el diseño de los chigres destinados a los BIOS, vienen dados por que en la operación se consiga alcanzar los aspectos siguientes:

- Manejo de líneas de materiales muy diversos: cabo sintético o metálico, para el remolque de equipos o bien cables coaxiales para arrastrar y transmitir datos.

- Posibilidad de contener una elevada cantidad de cable (trabajo en aguas ultra profundas) realizando una eficaz estiba del cable en el carretel. Esta necesidad de estiba eficaz viene motivada por tres circunstancias de importancia; ser capaz de almacenar la totalidad del cable, evitar los daños durante el funcionamiento y

finalmente conseguir la adecuada uniformidad en la velocidad de operación actuando sobre las revoluciones del carretel.

- Desarrollar, con gran exactitud y uniformidad, velocidades variables en el carretel.

- Necesidad de contar con el control e indicación de la tracción ejercida por el carretel sobre el cable durante la operación.

- Disponer de un sistema que transmita los datos del cable a un sistema de recepción (ordenador, memoria, etc,)

- Disponer de un sistema que limite la tracción en el cable evitando su rotura.

- Ligereza de los materiales a emplear en su construcción, en el caso de chigres portátiles, y en todos los casos inalterabilidad de estos ante el ambiente marino (acero inox. y aluminio)

- Necesidad de contar con un funcionamiento silencioso y en ausencia de vibraciones (ya que se hace necesario el control sobre el ruido irradiado).

- En algunos chigres multipropósito el carretel se debe poder desmontar del chigre con todo su cable, permitiendo que se puedan utilizar varios carreteles con diferentes tipos de cable.

La modificación en el transcurso del tiempo de los protocolos de investigación a seguir para realizar los experimentos ha afectado a los equipos en estudio. Estos cambios han significado el desarrollo e incremento de los dispositivos de tipo electrónico de control en los chigres (sensores), que han debido integrarse con los dispositivos eléctricos, hidráulicos y mecánicos.

Los chigres se podrán clasificar atendiendo a su función (tipo de experimento a realizar que determinará sus parámetros de funcionamiento) (tabla 3).

Del análisis de los equipos instalados en BIOS de reciente construcción (tablas 7, 8, 9 y 10) se obtienen los valores medios contenidos en la tabla 11.

Los chigres de mayor tracción serán los correspondientes al muestreo de pesca, seguido del muestreo de fondo y plancton. El manejo de la roseta CTD será el que menor exigencia de tracción presente. Sin embargo este último ensayo CTD, será el más exigente en aspectos de

capacidad del carretel y velocidad del equipo, ya que ambos parámetro presentan relación (Carral et al, 2015b).

Tabla 11 – Valores medios de los chigres científicos empleados en BIO de reciente construcción. Fuente: elaboración propia.

Tipo de Chigre	*Longitud/Capacidad almacenamiento*	*Tiro (KN)*	*Velocidad (m/sg)*
Muestreo Pesca – Chigre arrastre	6000 m	150.6	1.84
Muestreo Pesca – Tambor de Red	5.6 m^3	-	-
Manejo de la roseta CTD	7750 m	47.9	2.43
Muestreo Plancton	5200 m	97.2	2
Muestreo Fondo	6370 m	112	1.75

BIBLIOGRAFÍA

Adler A., 2013. The ship as laboratory: Making space for field science at sea. *Journal of the history of Biology*.(2014) 47; (333-362)

Baumgartner, M. 2003. Comparisons of Calanus finmarchicus fifth copepodite abundance estimates from nets and an optical plankton counter. Journal of Plankton Research 25:855–868.

Baird S. 2006. Deep-Sea Exploration: Earth's Final Frontier:: The Technology Teacher Vol 65, nº 4 - | December 2006.|

Berteaux H., Walden R., Bonde l., Bird J., 1985. Improvement of Intermediate Oceanographic Winches, Woods Hole Oceanographic Institution

Carral Couce L., 2005, Influencia de la maquinilla de pesca en el buque de arrastre por popa, Actas del XIX Congreso Internacional Copinaval, Guayaquil, Instituto Panamericano de Ingeniería Naval.

Carral Couce J., Carral Couce L., Fraguela Formoso J., Fernández Soto J., 2013a, El chigre de remolque en las maniobras de altura y de escolta: propuesta de armonización en sus parámetros de diseño, *DYNA – Industria y Energía* 88, 395 - 399. ISSN: 0012-7361

Carral Couce L., Carral Couce J. Fraguela Formoso J. González Filgueira G. Lamas Pardo G., 2013b. Winche con caracteristicas de control avanzadas para labores de maniobra en superyates In: *IPIN Actas del XXIII Congreso Internacional Copinaval* , Isla Margarita, 30 septiembre – 4 octubre 2013, pp. 366. Isla Margarita: IPIN

Carral Couce L., Carral Couce J. C., Fraguela Formoso J., 2015a, Operation and handling of escort tugboats with the aid of automatic towing winch systems, *The Journal of Navigation,* 68 , 1, 71 – 88. doi:10.1017/S0373463314000435

Carral Couce J., Carral Couce L, Fraguela Formoso J.A, Rodríguez Guerreiro M., 2015b. Fishing grounds' influence on trawler winch design Ocean Engineering 102 (195). 136-145. doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.04.055.

Carral Couce J., Carral Couce L., Fraguela Formoso, J, Villa Caro R., 2015c. Anchor Windlasses, a desing proposal to standardise regulation. International Journal of Maritime Engineering (RINA Transactions Part A) 157,95-104.2015

Carral Couce J.,Carral Couce L., Fraguela Formoso, J, Villa Caro R, 2015d Forthcoming, "*Standardising the design and production of mooring winches through more cohesive regulations: a necessary step*", International Journal of Maritime Engineering (RINA Transactions Part A), 2015

Committee on Exploration of the Seas Ocean Studies Board. 2003. Exploration of the Seas, Voyage Into the Unknown. In www. nap.edu/catalog/10844.html Accesed june 2015

Costal M. 2015. Proyecto fin de Carrera buque Oceanográfico. Repositorio Universidade da Coruña - UDC

Choat, J. H., P. J. Doherty, B. A. Kerrigan, and J. M. Leis. 1993. A comparison of towed nets, purse seine, and light-aggregation devices for sampling larvae and pelagic juveniles of coral reef fishes. U.S. National Marine Fisheries Service Fishery Bulletin 91:195–209.

Dempke, B., and B. Griffin. 1997. Smaller winch technology: winches-inspired by focus on nearshore processes-are more compact, lightweight for operations on smaller research vessels. Sea Technology 38(7):34–38.

Eurocean RV. European research vessels infobase. http://www.rvinfobase.eurocean.org/index.jsp. Acceso julio 2015

ECORYS , 2014 Study to investigate state of knowledge of deep sea mining. In www. /webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/sites/maritimeforum/files/FGP96656 DSM Interim report 280314.pdf, accesed june 2015

Gordon, D., M. D. Pearlman, and S. M. Pearlman. 1998. Winch technology: past, present, and future winch design principles and developments; an amalgamation of old and new. Sea Technology 39(7): 17–24.

Griffin, B. 2009. Commercial marine deck machinery: 30 years of change. Pacific Maritime Magazine (July): 1–3.

Griffin, B., and G. Nishimura. 2007. How to design a big new winch: design methodology of winches for use in dynamic seas. Pacific Maritime Magazine (July): 1–4.

Hooker, S. B., and S. Maritorena. 2000. An evaluation of oceanographic radiometers and deployment methodologies. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 17:811–830

Garcia del Valle J., 2007, Proyecto fin de Carrera buque Oceanográfico. Repositorio Universidade da Coruña -UDC

Ibercisa, http://www.ibercisa.es/b12-p12-maquinaria-barco-oceanogr_fico.html, acceso julio 2015

INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo), 2000. NTP 155 – Cables de acero, – Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

Markey Machinery. 2004. COM-winch installation profile #2: NOAA (Auke Bay Laboratory). Markey Machinery, Seattle. Available: markeymachinery.com/PDF/Articles/AukeBayMarkeyCOM-7_2004.pdf. (September 2010).

Mulcahy, M. 1981. Winch technology matches evolving oceanographic demands. Sea Technology 22:10–11.

Nishimura, G., Sturdevant M.. 2011. Portable winch technology: increased use of small and chartered vessels creates new winch requirements. Sea Technology 52(7):21–24.

Miranda P., 2015 – Proyecto fin de Carrera buque Oceanográfico. Repositorio Repositorio Universidade da Coruña - UDC

National Science Foundation (NSF) , 2001. Handbook of oceanographic winch, wire and cable technology, OCE 9942973 John F. Bash, Editor

Oberg E., Green R.(editor), Ryffel H., 1992. Machinery Handbook. 24 edición ISBN: 9780831124922

Oliveira D., Passos F., Karuka G., Tancredi T., 2014, Synthesis and optimization of oceanographic ship design, Editado por: Soares, CG; Pena, FL

Conferencia: 15th International Congress of the International-Maritime-Association-of-the-Mediterranean (IMAM) Ubicación: A Coruna, SPAIN Fecha: OCT 14-17, 2013 Patrocinador(es): Int Maritime Assoc Mediterranean

DEVELOPMENTS IN MARITIME TRANSPORTATION AND EXPLOTATION OF SEA RESOURCES, VOL 1 Páginas: 491-500

Pepin, P., and T. H. Shears. 1997. Variability and capture efficiency of bongo and Tucker trawl samplers in th collection of ichthyoplankton and other macrozooplankton. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 54:765–773.

Periáñez R., 2010. Fundamentos de Oceanografía Dinámica. Secretariado de publicaciones – Universidad de Sevilla. ISBN 978 84 472 1253 4

Pearlman S., Gordon D., Pearlman M., A Summary of Winch Design Principles and Developments, in http://www.interoceansystems.com accesed june 2015

Rosenblatt 1960- The Design of Modern Oceanographic Research Ships, SNAME, Transactions TRANS January 01, 1960 12:00 am

Scantrol. http://www.scantrol.com/ispool-electronic-wire-spooling-2, acceso julio 2015

Siler, J. 1983. Description of a trawl handling structure for a bow-fished Tucker trawl. Progressive Fish-Culturist 45:217–220.

Santos L., Nuñez Basañez J., 1994, Fundamentos de pesca, Fondo Editorial de Ingeniería Naval F.E.I.N, Madrid.

ANÁLISE E REDUÇÃO DA CAVITAÇÃO EM VÁLVULAS DE CONTROLE

Moreira Pinto Cunha, Davi [1]; Cruz Luz, Edelson da [2]; Chaves de Lemos, Victor Hugo [3]

[1]Aluno de Ciências Náuticas com ênfase em máquinas na EFOMM-CIABA. davimpc@hotmail.com. Telefone: +55 85 9638-7698
[2]Doutor em Geofísica pela UFPA. Professor da EFOMM-CIABA. edelson_81@hotmail.com. Telefone: +55 91 9168-6896
[3]Professor EFOMM-CIABA. hugochaves97@hotmail.com. Telefone: +55919991-9077

RESUMO.

A cavitação é um fenômeno que ocorre em um fluido devido ao decaimento imediato da pressão, geralmente o fato é observado em sistemas hidráulicos. A associação entre a pressão, a temperatura e a velocidade ocasiona o surgimento de bolhas de vapor no fluido e posteriormente o colapso dessas com a parede do tubo levando a liberação de ondas de choque com grande energia, causando a aparição de altas tensões mecânicas, a elevação da temperatura e, consequentemente, o acarretamento de danos na superfície atingida. O fenômeno citado ocasiona um grande desgaste do equipamento, desta forma, há uma diminuição da vida útil e uma geração de gastos em manutenção e reposição de peças. O trabalho consiste no estudo do fenômeno da cavitação em uma válvula de controle, para tal manipulou-se a redução da variação da pressão, a mudança de temperatura, a análise da velocidade do fluido e mudança de geometria. A modelagem foi realizada utilizando as plataformas AutoCAD 2013 e COMSOL Multiphysics, os escoamentos foram totalmente desenvolvidos em redes de tubulação 3D, com elementos de borda podendo também visualizar as velocidades do fluido na tubulação. Os resultados obtidos através do software COMSOL Multiphysics vieram a demostrar a correta predição das hipóteses.

1. INTRODUÇÃO.

O emprego de válvulas é bastante comum, nos dias atuais, praticamente todos os sistemas hidráulicos utilizam-se de tais mecanismos de controle. O aumento na utilização gerou a observância de fatos que costumam ocorrer nos mecanismos, o qual um dos fenômenos mais corriqueiros nas válvulas é a cavitação. Hoje em dia, há uma busca cada vez maior por

otimização de lucros, neste contexto encontra-se a busca por soluções à problemática da cavitação, pois tal fenômeno gera uma corrosão e, consequentemente, a necessidade da troca dos citados mecanismos.

Para a análise da válvula foi realizado uma modelagem utilizando o software COMSOL Multiphysics, o referido programa possibilita a criação de escoamentos em redes de tubulação 3D. A partir de uma simulação do fechamento da válvula, é possível visualizar em qual porcentagem da válvula fechada (para dados parâmetros de pressão e temperatura) inicia-se o processo de cavitação.

2. CAVITAÇÃO.

Mesmo que a cavitação tenha sido observada por Euler (1755), em sua teoria das turbinas, e descrita por Reynolds (1873 – 1874), em ensaios laboratoriais utilizando-se tubulações com estrangulamento (venturi), tal fenômeno ganhou notoriedade com os efeitos visíveis nas hélices de navios transoceânicos.

Os danos causados pela cavitação assemelham-se a corrosão (figura 1). Os estragos ocasionados pela cavitação podem ser visualizados em turbinas hidráulicas, propelentes de navio, impelidores de bomba, medidores de vazão, válvulas de controle e outros equipamentos onde são encontradas variações de pressão, temperatura e vazão. (RIBEIRO, 2003).



Figura 1- Danos por cavitação no obturador.
Fonte:http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/brochures/d351912x012

Consideremos um cilindro cheio d'água percorrido por um pistão, quando ocorre o afastamento do pistão da água, a pressão é reduzida e a água se evapora, formando bolhas. No momento que o mecanismo volta a posição anterior, aumenta-se a pressão do cilindro, as bolhas se condensam e geram colapso. O colapso dessas bolhas libera uma quantidade de energia muito grande, a energia emanada é capaz de retirar camadas da superfície do material desgastando-o, uma ilustração de tal fato segue-se a baixo (Figura 2).(RIBEIRO,2003)

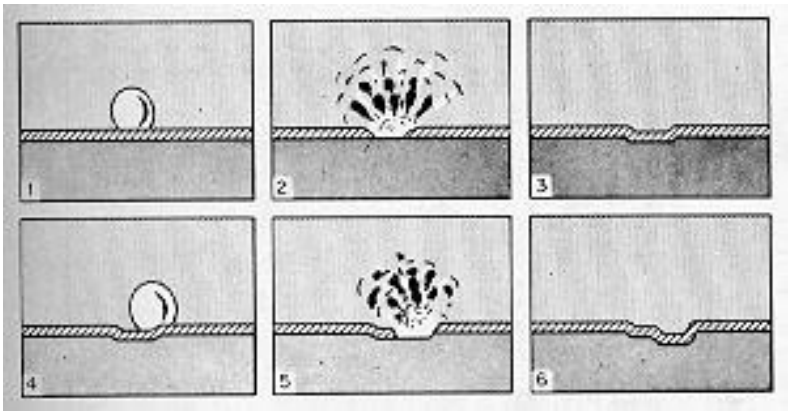


Figura 2 – Fenômeno da cavitação. Fonte: (RIBEIRO,2003)

Há vários métodos conhecidos de evitar a cavitação, tomando-se por base o estudo de (Ribeiro, 2003), destaca-se a diminuição da pressão hidrodinâmica nas tubulações e o controle para diminuição da temperatura do processo.

3. ANÁLISES COMPUTACIONAIS.

Segundo Maliska(2004) interfaces mais amigáveis e códigos mais robustos foram surgindo com o advento da tecnologia reduzindo assim o tempo de processamento devido o desenvolvimento de hardwares mais eficientes. Desse modo, simulações usando dinâmica dos fluidos computacionais (CFD) vêm sendo empregada em vários ramos de pesquisa.

As simulações de CFD que analisam por métodos numéricos e resolve equações que regem o escoamento do fluido, são retroalimentadas com o fito de as condições de contorno serem adaptadas durante o processamento interativo, assim a consistência é aumentada.

Segundo Hjertager e Morund, (1995) os modelos matemáticos são com base de conservação da massa, energia e quantidade de movimento submetidos a uma geometria e condições iniciais que representam um problema particular e a complexidade da modelagem vai

aumentando de acordo com as variáveis de modelagem macroscópica, máximos de gradientes, múltiplos de gradientes, microscópica e molecular (STREETER, 1997).

4. METODOLOGIAS DA ANÁLISE.

4.1. Geradores de Geometrias.

A geometria é geralmente desenvolvida em programas CAD (Computer Aided Design) que permitem modelar qualquer objeto no espaço tridimensional. Nesse trabalho foi utilizado o próprio COMSOL Multiphysics.

4.2. Geradores de Malha.

Após a criação da geometria do domínio devem-se criar pequenos grupos de subdomínios afim de discretizar regiões da válvula que necessitam de mais ênfase, assim criando a chamada sequência de malha para que não consuma todos os recursos computacionais. A sequência de malhas permite uma mistura de elementos tetraédricos, prismáticos ou hexaédricos e pode ser parametricamente orientada. O programa escolhido possui elementos especializados e códigos de estabilização numérica e também uma abordagem exclusiva que separa o formato geométrico dos elementos finitos das "funções de forma dos elementos finitos". A vantagem dessa ferramenta é a maximização da flexibilidade e para cada formato geométrico abrangendo funções de primeira, segunda e terceira ordem e em casos particulares podendo suportar até ordens maiores, correspondendo a elementos finitos tradicionais lineares, quadráticos ou cúbicos respectivamente.

4.3. Pré-processamento.

Cifra-se em estruturar informações como fenômenos físicos, propriedades características do fluido e condições do contorno adequado para o "solver" usar sem erros.

4.4. Solvers.

O COMSOL Multiphysics usa de avançados métodos de análise numérica para montar e resolver modelos fazendo uso de computação multicore. Outros métodos diferentes são usados nos módulos complementares tais como análise de elementos finitos, método de elementos de contorno e métodos de rastreamento de partículas, entretanto o software utilizado prioriza método de elementos finitos. Esse método é patenteado e exclusivo do

programa que gera elementos finitos dinamicamente é exatamente o que permite interações multifísicas. O software possui também uma ferramenta de controle de erros usando vários métodos de resolução numérica: métodos de resolução em matriz esparsa direta e iterativa, métodos de multigrade algébrica e geométrica, além dos pré-condicionadores.

4.5. Pós-processamento.

Os problemas cotidianos que podem ser resolvidos com CFD hoje contam com softwares que possuem recursos de visualização de representações de superfície, fatia, isosuperfície, plano de corte, setas e linhas de escoamento, além de muitos outros tipos de representações gráficas.

O software utilizado no pós-processamento foi o próprio COMSOL Multiphysics o qual possibilita o desenvolvimento do estudo com diferentes ferramentas de visualização e análise de dados.

4.6. Modelagem Matemática.

O modelo apresentado já é conhecido e já fora estudado por (WERLE,2009) o qual considera que fluxos de gás e líquido podem ser tratados com as equações de continuidade de massa e momento para resolver esse problema. Segundo Liu(2000) para resolver esses é necessário adicionar e utilizar a equação de fluxo de impulso considera-se que as variações de turbulência consiste em pequenos "enxames" para ser formada e para ser disperso, e que as tensões de Reynolds pode ser relacionada linearmente com a média de gradientes de velocidade (hipótese viscosidade turbulenta) semelhante à relação entre o estresse e a tensão no fluxo laminar newtoniano. Desse modo, utilizamos o modelo padrão k-ε de turbulência (modelo de turbulência para o fluxo multifásico) segundo Nikou(2008).

4.6.1. Equações de continuidade.

A equação de continuidade parte do princípio de conservação de massa, em que a massa é conservada desde que não haja fonte nem sorvedouro, assim temos que:

$$\partial/_{\partial t}\,(f_k\rho_k) + \nabla \times (f_k\rho_k v_k) = 0 \qquad (1)$$

Onde f_k,ρ_k e v_k, representam respectivamente fração de volume, densidade macroscópica e velocidade do vetor para k fases. As frações de volume de gás e líquido, f_g e f_l, estão relacionados através do somatório da restrição:

$$f_g + f_1 = 1 \quad (2)$$

4.6.2 – Equação de momento

O momento é uma grandeza física fundamental e necessária à correta descrição do inter-relacionamento entre dois entes ou sistemas físicos. Essa grandeza pode ser equacionada como:

$$\partial/_{\partial t}\,(f_k \rho_k v_k) + \nabla \times (f_k \rho_k v_k v_k) = -f_k \nabla P_k + \nabla \times [f_k \mu_k (\nabla v_k + \nabla v_k^T) + M_{g,1} + f_k \rho_k g] \quad (3)$$

Onde μ_k e g são, respectivamente, viscosidade molecular para k-ésima fase e vetor gravidade. P_k é o campo de pressão. O $M_{g,1}$ representa a transferência de momento entre o gás e as fases líquida e o momento de fluxo adicional devido à turbulência foi constituída no prazo de difusão. Para se resolver as equações de continuidade e momento é necessária uma equação adicional que relaciona a interfase de transferência de momento.

$$M_{g,1} = \frac{3 f_g \rho_1}{4 d_g} C_D |v_g - v_1| (v_g - v_1) \quad (4)$$

Onde d_g é o diâmetro da bolha e CD é o coeficiente de arrasto.

4.6.3– Modelo de Turbulência e Modelo k – ε

Por aplicação do procedimento de média de tempo nas equações de Navier-Stokes, um termo extra aparece devido ao fluxo turbulento, que deve ser representada por uma equação constitutiva, este termo é conhecido de fluxo de Reynolds. Consideramos que a turbulência consiste de pequenos "enxames" a ser formado e ser dispersos, e que as tensões de Reynolds podem ser linearmente relacionada com gradientes de velocidade (hipótese viscosidade turbulenta) semelhante à relação entre o estresse e os tensores de deformação em fluxo laminar newtoniano, uma viscosidade efetiva pode ser assumida:

$$\mu_{ff} = \mu + \mu_t \quad (5)$$

e os fluxos de Reynolds de um escalar são linearmente relacionado com o gradiente escalar significativo. O modelo k-ε padrão está ligado com uma energia cinética turbulenta e sua taxa de dissipação dessa forma:

$$\mu^t = C_\mu \rho \left({}^{k^2}/_{\varepsilon} \right) \tag{6}$$

Onde k é a energia cinética turbulenta e ε é a taxa de dissipação de energia cinética turbulenta. A equação de conservação de energia cinética turbulenta e sua taxa de dissipação podem ser escritas como:

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_\alpha \rho_\alpha k_\alpha) + \nabla \bullet \left(r_\alpha \left(\rho_\alpha U_\alpha k_\alpha - \left(\mu + \frac{\mu_{t\alpha}}{\sigma_k} \right) \nabla k_\alpha \right) \right) = r_\alpha (P_\alpha - \rho_\alpha \varepsilon_\alpha) + T_{\alpha\beta}^{(k)} \tag{7}$$

Ou

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_\alpha \rho_\alpha \varepsilon_\alpha) + \nabla \bullet \left(r_\alpha \rho_\alpha U_\alpha \varepsilon_\alpha - \left(\mu + \frac{\mu_{t\alpha}}{\sigma_k} \right) \nabla \varepsilon_\alpha \right) = r_\alpha \frac{\varepsilon_\alpha}{k_\alpha} (C_{\varepsilon 1} P_\alpha - C_{\varepsilon 2} \rho_\alpha \varepsilon_\alpha) + T_{\alpha\beta}^{(\varepsilon)} \tag{8}$$

onde $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, C_μ, σ_k e $\sigma_{\varepsilon 1}$ são as constantes do modelo e $T_{\alpha\beta}^{(k)}$ e $T_{\alpha\beta}^{(\varepsilon)}$ coeficientes de transferência entre as fases.

Constantes	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	C_μ	σ_k	σ_ε
Valores	1,44	1,92	0,09	1	1,3

5. GEOMETRIAS.

A geometria foi importada para o COMSOL Multiphysics (Figura 3) para fazer a análise e com o fito de melhorar o tempo computacional foi selecionado apenas o volume preenchido pelo fluido (figura 4). A geometria o qual está representado na figura 4 é a mais usada no mercado e tendo em vista os estudos de Babinsky, 2003 fizemos modificações na geometria original e obtivemos os modelos 1 e 2 demonstrados nas figuras 5 e 6.

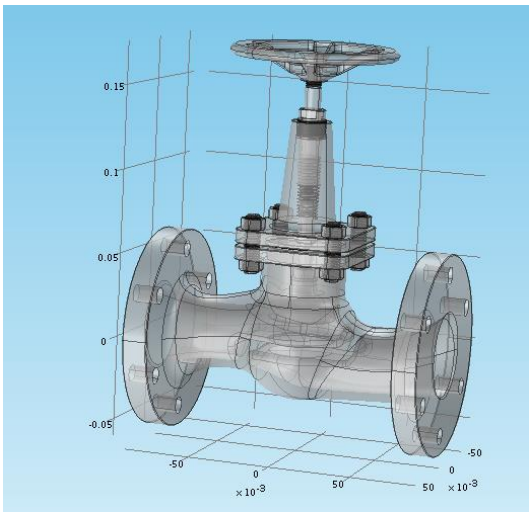


Figura 3 – Visualização da válvula no COMSOL Multiphysics

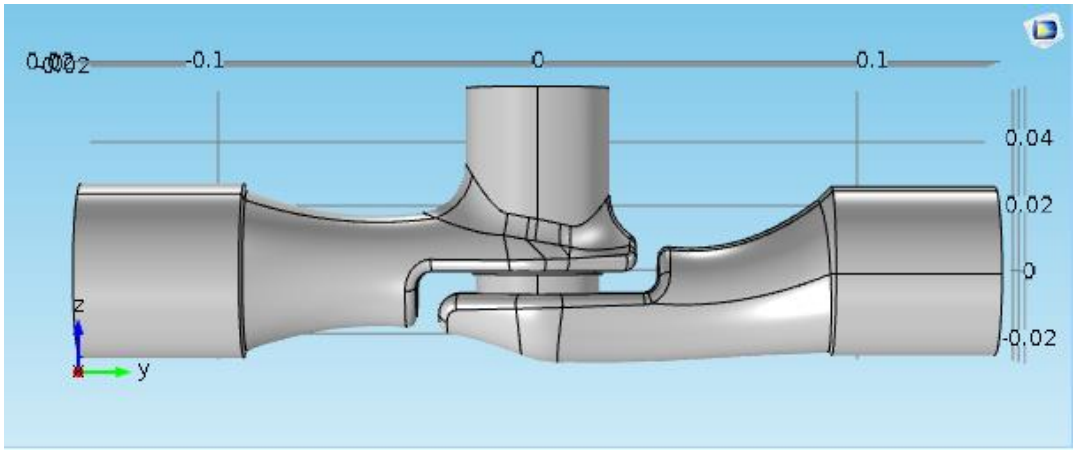


Figura 4 – Caminho do fluxo nos internos da válvula original

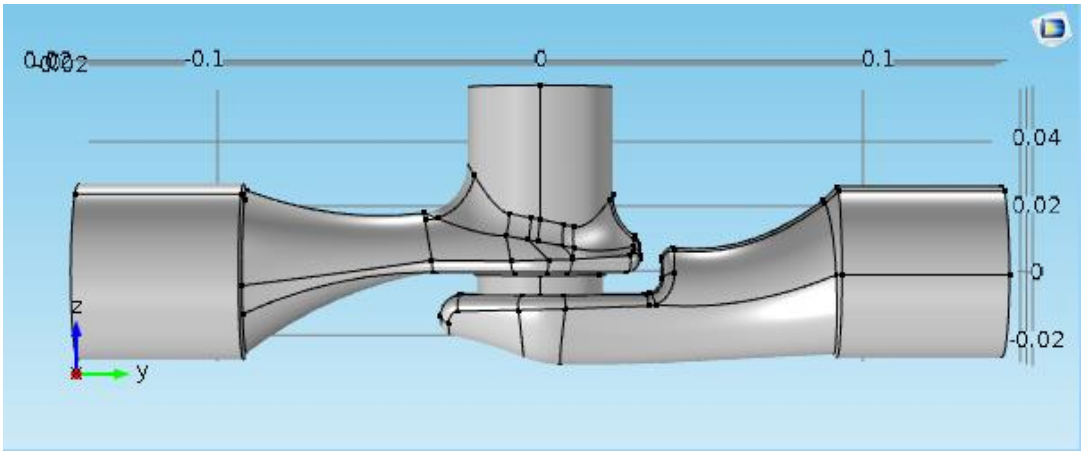


Figura 5 – Caminho do fluxo nos internos da válvula modelo 1

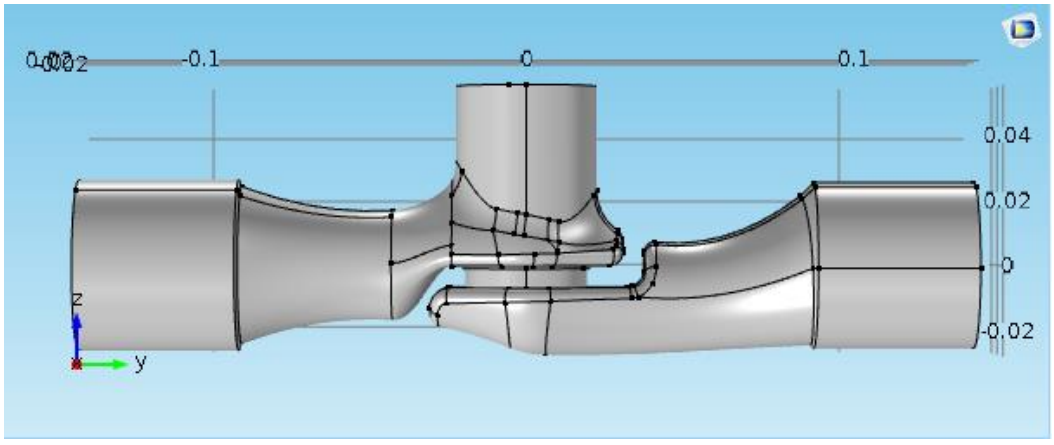


Figura 6 – Caminho do fluxo nos internos da válvula modelo 2

6. GERAÇÕES DE MALHA.

Para gerar a malha do "caminho" do fluido usamos o próprio COMSOL Multiphysics e foram pré-selecionadas regiões de entrada (inlet), saída (outlet) e paredes (wall). A malha gerada em um modelo foi usado o mesmo padrão para os demais.

6.1. Condições de Contorno

Foram levadas em conta as seguintes condições de contorno:

1. Escoamento isotérmico a 80 ºC.
2. Escoamento no estado estacionário.
3. Sem transferência de calo.
4. Equilíbrio termodinâmico entre as fases.
5. Completo desenvolvimento da turbulência na entrada e na saída.
6. Cálculos realizados considerando a válvula parcialmente aberta com 7 mm de abertura.
7. Pressão de entrada de 100 KPa.
8. Pressão de saída de 60 KPa.

7. ANÁLISES DOS RESULTADOS

A análise foi realizada com uma visualização em 3D mostrando todos os pontos o qual a pressão no fluido cai abaixo da pressão de vapor, que para a água a 80 ºC é de 47 kPa.

Observando a análise de resultado do modelo original de Pinto et al., 2014 e nas figuras 7 e 8 vemos uma baixa de pressão na saída da vena contracta pelas bordas do obturador e vemos também um ponto crítico na saída da válvula. Este ponto crítico (de menor pressão), é devido à curvatura que o fluido descreve, fazendo existir uma força centrípeta e com ela um gradiente de pressão aumentando a velocidade do fluido nas regiões onde existe curvas (Babinsky, 2003).

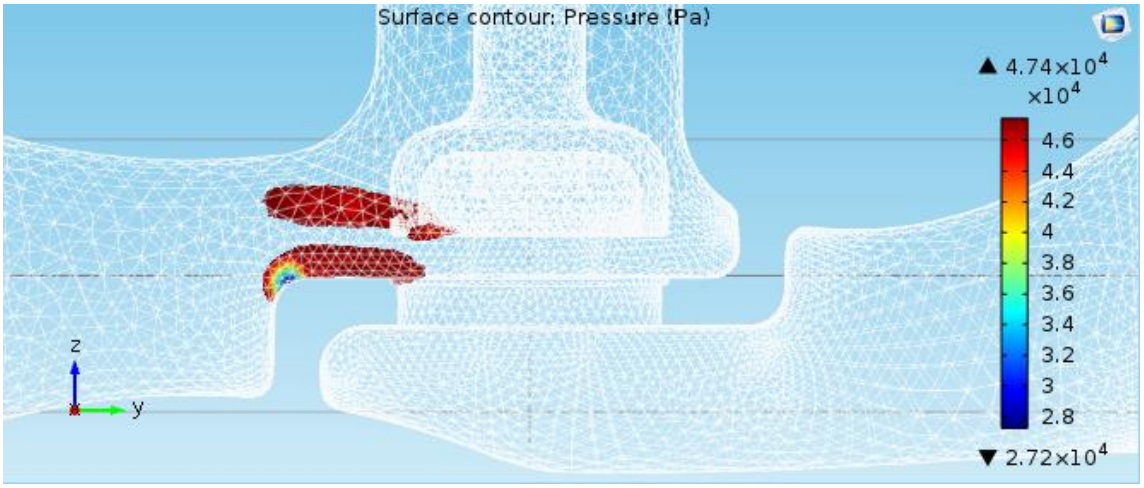


Figura 7 – Pontos onde a pressão cai abaixo da pressão de vapor da água (visão lateral válvula original)

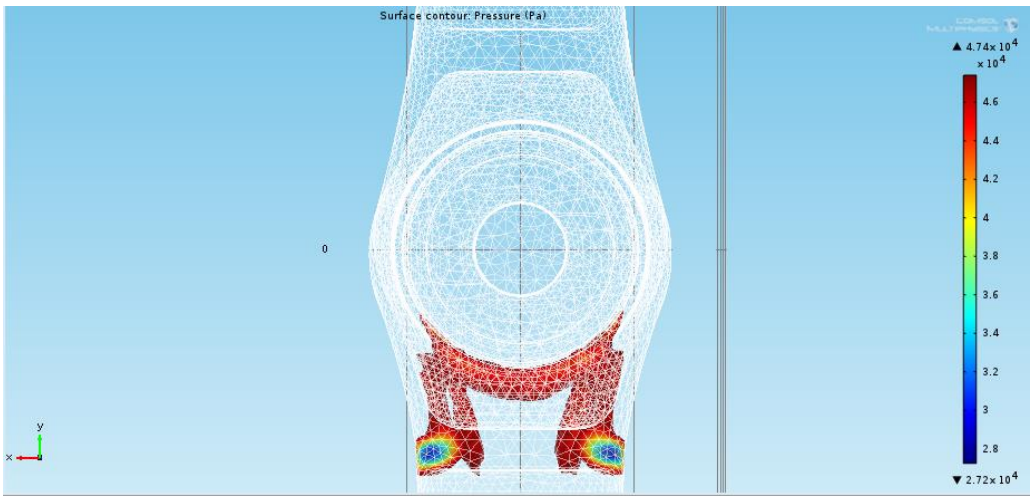


Figura 8- Pontos onde a pressão cai abaixo da pressão de vapor da água (visão inferior válvula original)

Dessa forma fizemos modificações no boleamento da estrutura interna com o intuito de aumentar o raio de curvatura e diminuir a força centrípeta atuante no fluido fazendo com que o gradiente de pressão diminuísse nos modelos 1.

Analisando o resultado do modelo 1 (figuras 9 e 10) numericamente temos um aumento na pressão mínima na válvula, entretanto, fazendo-se uma análise de volume da região é possível verificar visivelmente uma região consideravelmente maior de decaimento de pressão e de pontos críticos não focalizados próximos a região dos pontos críticos da válvula original.

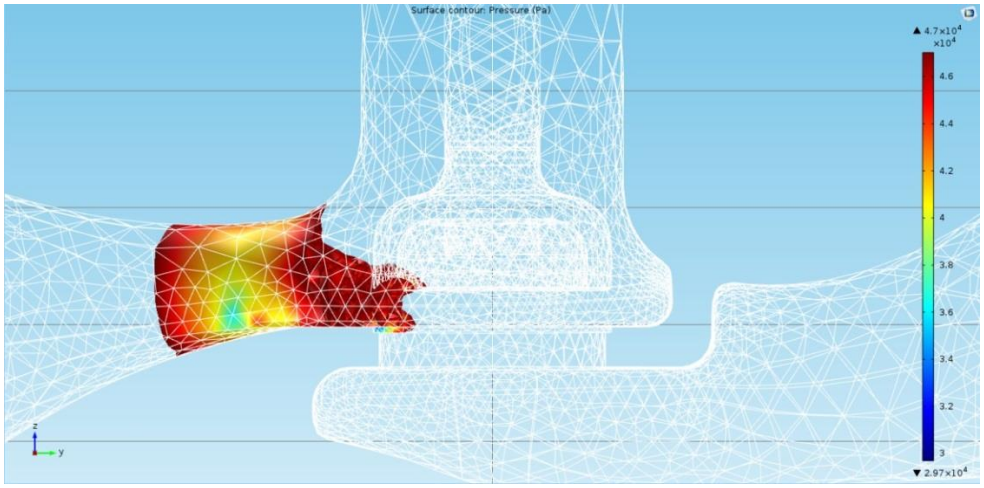


Figura 9 – Pontos onde a pressão cai abaixo da pressão de vapor da água (visão lateral válvula modelo 1)

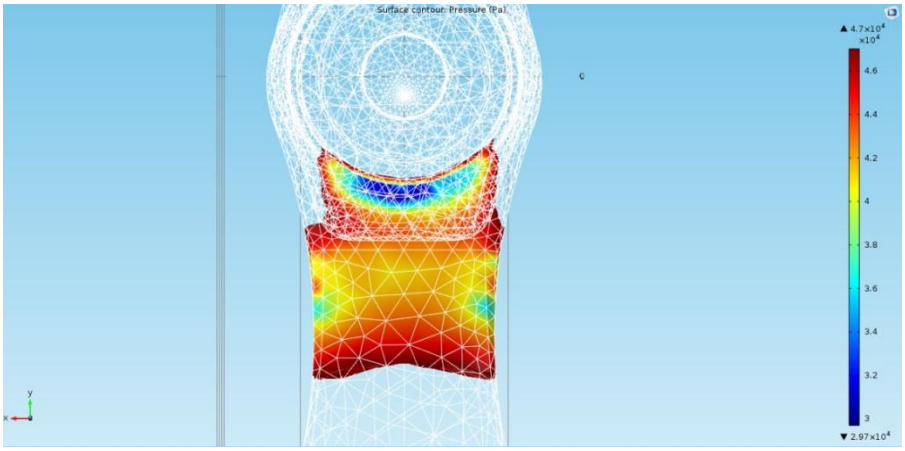


Figura 10 – Pontos onde a pressão cai abaixo da pressão de vapor da água (visão inferior válvula modelo 1)

Tendo em vista os resultados obtidos na válvula original e no modelo 1 fez necessário a criação do modelo 2 , pois no modelo 1 conseguimos amenizar a curvatura na saída da válvula, entretanto ao limitar a área de secção de saída, pelo principio da continuidade, aumenta-se a velocidade do fluido e reduz a pressão em um volume considerável.

Analisando o modelo 2 (figuras 11 e 12) vemos que a mudança da geometria aumenta consideravelmente a pressão mínima no interior da válvula e o volume afetado por pressões abaixo da pressão de vapor é quase irrisório quando comparamos com o modelo original e o modelo 1. Podemos verificar também a concentração em uma pequena área das regiões críticas em azul na saída da vena contracta.

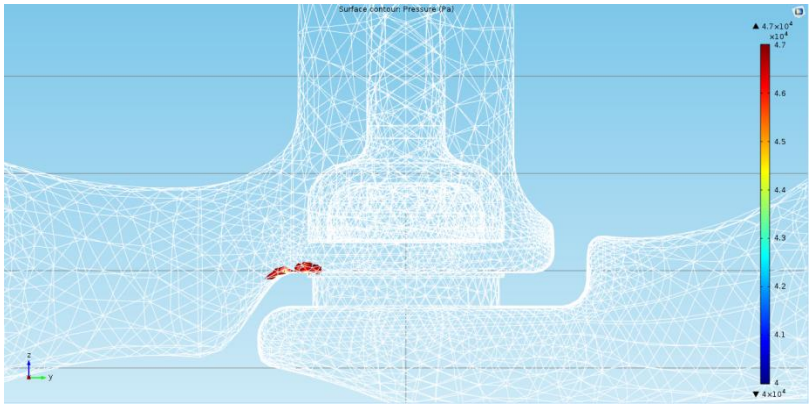


Figura 11 – Pontos onde a pressão cai abaixo da pressão de vapor da água (visão lateral válvula modelo 2)

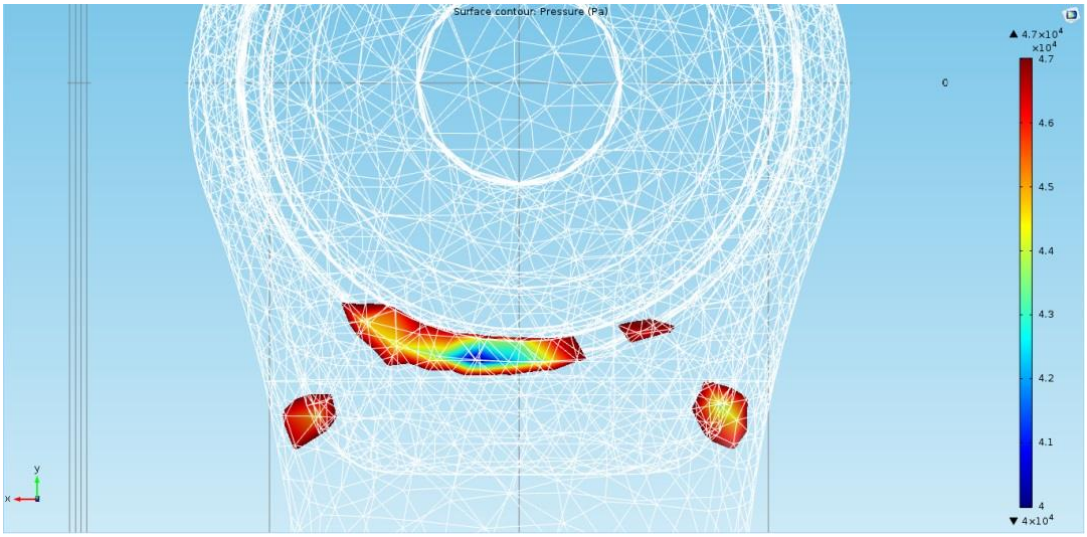


Figura 12 – Pontos onde a pressão cai abaixo da pressão de vapor da água (visão inferior válvula modelo 2)

8. CONCLUSÃO.

Usamos COMSOL Multiphysics para estudar a cavitação em uma válvula controle (tipo globo) modificando sua geometria, aferindo as pressões mínimas e verificando regiões mais prováveis para o surgimento da cavitação.

Analisando os modelos podemos perceber que a análise 3D da situação é indispensável para o problema em questão, pois o qual torna possível a visualização de todo o espaço volumétrico que em a pressão decai abaixo da pressão de vapor corroborando no fenômeno da cavitação.

Tendo em vista a análise computacional do modelo original e do modelo 1 fez-se necessário a criação do modelo 2 que se mostrou mais adequado para a diminuição da cavitação.

Desse modo, o modelo 2 é o modelo mais adequado para o uso, pois o fenômeno da cavitação é bem reduzido e focalizado no interior da válvula. Assim, no caso da fabricação da válvula modelo 2 faz-se necessário uma peça de sacrifício na saída do obturador para não ser necessário a troca de toda a válvula e sim somente da peça onde foi premeditado o desgaste.

Nosso estudo é importante para vermos o quanto e como o fenômeno da cavitação deve ser evitado, pois do ponto de vista econômico é muito custoso a troca de equipamentos danificados e a manutenção constante do obturador.

9. BIBLIOGRAFIA.

BABINSKY, H. *Physics Education*: How do wings work? Cambridge: Number 4, July 2014 (497-503).

PINTO, DAVI ;CRUZ, EDELSON ;HUGO, VICTOR. Análise 3D da Cavitação em Válvula de Controle por Variação de Pressão 25º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, 2014.

HJERTAGER, B. H., MORUND, K., Computational Fluid dynamics of bioreactors. Mod. Indent. Control, v.16, p. 177, 1995.

LIU, C. J. X.; YUAN, G.; YU, K. T.; ZHU, X. J. A fluid-dynamic model for flow pattern on a distillation tray, Chem. Eng. Sc., 200Ç0.

MALISKA,C. R. Maliska. Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional.LTC, segunda edição, 2004.

NIKOU, M. R. K.; EHSANI, M. R. Turbulence models application on CFD simulation of hydrodynamics, heat and mass transfer in a structured packing, International Communications in Heat and Mass Transfer, 2008.

RIBEIRO, M. A; Válvulas de Controle e Segurança. Salvador, 2003.

WERLE, L.O. Fluid Dynamic Model in a Sieve Tray in Distillation: Pilot Plant. Energy and Fuels, set, 2009

www.br.comsol.com/landing/cfd-module

www.samson.de/pdf_en/l351en.pdf

PREDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA GERADA POR EMPURRADORES/REBOCADORES

Marcião Vieira, Ayna Caroline[1]; Kuwahara, Nelson[2]; Teixeira Araújo Neto Santos, José[3]

[1]ACMV. Universidade Federal do Amazonas. Av. General Rodrigo Octávio, 6200 - Coroado I, Manaus - AM, 69077-000, Brasil. ayna.cmv@gmail.com

[2]NK. Universidade Federal do Amazonas. Av. General Rodrigo Octávio, 6200 - Coroado I, Manaus - AM, 69077-000, Brasil. nelsonk@ufam.edu.br

[3]JTANS. Rua Ferreira Pena 1.144-A - Sala 106 - Centro, Presidente Vargas, Manaus, AM, 69010-140, Brasil. *Instituto* de *Pesquisa em Transportes*. teixeira.santos@intra.org.br

RESUMO.

A malha hidroviária da região Amazônica confere uma conexão intermunicipal e com os demais estados do Brasil. A carência de rodovias nesta região é um dos fatores que favorece substancialmente o transporte hidroviário, entretanto o mesmo apresenta problemas de organização e estrutura. Dada a importância desse tipo de transporte para a localidade este artigo se baseia em predizer os níveis de pressão sonora emitidos por empurradores operantes na bacia amazônica, com o objetivo de diagnosticar se há excedentes de ruídos que possam comprometer a saúde e bem-estar dos indivíduos expostos a esse modal, tendo como respaldo os danos físicos e psíquicos gerados, os quais podem variar de moderados a severos. O método para estimar os níveis de pressão e potência sonora baseia-se na aplicação de formulas considerando que a potencialidade de pressão sonora é ambientada para uma área hipotética refletora. As variáveis fundamentais para definir a pressão sonora são por definição a distância da fonte emissora "r", a diretividade da fonte "Q" e a área do local "R". Para a distância "r" adotaram-se duas distancias da fonte emissora, sendo o comprimento total e ½ do comprimento do empurrador. Como hipótese considera-se que todas as embarcações não apresentem isolamento acústico estando em um mesmo patamar de avaliação para aplicação do método do cálculo de pressão sonora estimada, sendo possível através desse método verificar que as embarcações estão sujeitas a níveis de ruídos que excedem o proposto pelas normas regulamentadoras, Os resultados obtidos através da

estimativa da pressão sonora dos empurradores ultrapassam o limite da de 85 dB(A) proposto pela NR15, portanto conclui-se necessário o investimento em medidas de atenuação para assegurar o conforto acústico.

1. INTRODUÇÃO.

O Brasil apresenta uma extensa malha hidroviária, sendo a Amazônia uma região que a utiliza primordialmente para conectar-se ao resto do país. Esse processo é justificado pela carência de rodovias elevando a importância deste modal, ponderando que não há vias deste tipo em condições de transportar cargas e passageiros de maneira consistente para outros estados brasileiros, principalmente no estado do Amazonas, o que faz com que a maioria dos municípios adjacentes a capital Manaus estejam isolados geograficamente, Frota (2008).

Apesar de atualmente ser a única solução viável para o transporte interestadual na região Amazônica a malha hidroviária ainda possui problemas de caráter básico, tais como portuário, de navegabilidade, embarcações e carga, Frota (2008).

Dada a importância desse tipo de transporte para a localidade, o objetivo deste trabalho é estimar os níveis de pressão sonora em embarcações (empurradores) que operam na bacia amazônica, a fim de analisar e buscar possíveis causas para os excedentes, tendo como motivação a adoção futura de medidas de proteção à saúde aos usuários deste meio.

O método para estimar os níveis de pressão e potência sonora baseia-se na aplicação de fórmulas descritas por Nilsson (2008) considerando os cálculos de pressão sonora ambientados para áreas hipoteticamente refletoras e sem isolamento acústico em todas as embarcações.

A estimativa foi realizada para 342 empurradores, levando em consideração a potência sonora, a distância da fonte emissora "*r*", a diretividade da fonte à posição do maquinário na embarcação "*Q*" e a constante do local "*R*". Para a distância "*r*" adotaram-se duas distâncias da fonte emissora, sendo o comprimento total e ½ do comprimento do empurrador, tomando como base a hipótese da posição do motor na extremidade, De Freitas (2014).

Observa-se que os resultados obtidos através da estimativa da pressão sonora dos empurradores ultrapassam o limite das NR15 que define em 85 dB (A) o nível máximo permitido para um período de oito horas de exposição diária, sopesando que as viagens de

barco são longas e podem durar dias. Em análise, demasiada exposição em ruído pode provocar efeitos ou danos auditivos e extra-auditivos sobre o indivíduo exposto a estas condições diariamente.

Deve-se ressaltar que o mecanismo de mensuração ideal se dá com a utilização de um equipamento de medição de níveis de pressão sonora, decibelímetro, logo o diferencial deste artigo é expor de forma a predizer o comportamento dos empurradores sem necessitar inicialmente o uso de tal equipamento *in loco*.

As medidas de prevenção contra os níveis elevados ruídos estão relacionadas à inserção de barreiras acústica na casa de maquinas e/ou o uso de EPIs como protetores auriculares, abafador, etc. As barreiras acústicas funcionam como obstáculos entre as fontes geradoras de ruídos e os receptores.

2. TRANSPORTE HIDROVIÁRIO NA REGIÃO AMAZÔNICA.

A bacia Amazônica em extensão é a maior do mundo o que impulsiona a utilização transporte hidroviário, tornando-se um recurso atrativo para estimular o desenvolvimento da região amazônica, Padula (2008). Outro fator que contribui para a utilização deste modal se dá pela carência de rodovias nos estados da região, principalmente o Amazonas, que se conectem ao restante do país, desta forma é evidente a necessidade de explorar a malha hidroviária, interligando municípios adjacentes, Sathler (2009).

O transporte hidroviário na Amazônia está vinculado principalmente à manutenção de serviços básicos para a população, isto conduz para utilização do transporte misto (carga e passageiro) que na maioria das vezes é gerenciado por organizações familiares, e ainda enfrenta desafios como a precariedade das embarcações, operações inadequadas, a imprudência dos tripulantes, superlotação, entre outros, Padovezi (2003). A solução desses problemas traria à população local conforto e confiabilidade no transporte hidroviário. É possível notar que um dos grandes desafios para as autoridades competentes e o campo cientifico é buscar métodos que modifiquem e aprimorem o sistema sem elevar os custos das passagens ou do transporte de cargas, Padovezi (2003).

Segundo Frota (2008), apesar da crescente demanda do transporte hidroviário na região amazônica não existem tantos métodos práticos de aperfeiçoamento aplicados à qualidade em

relação a critérios como serviços, passageiros, cargas, tarifas e rotas. Também são encontrados problemas no que se refere à estabilidade e maquinário de uma embarcação, dificultando a viabilização e organização do sistema. Padovesi (2003) acrescenta que à estrutura de uma embarcação também é um dos fatores para atestar confiabilidade na saúde, bem-estar e segurança dos usuários, em vista disso as normas técnicas definem parâmetros para serem cumpridos no transporte aquaviário que vão desde alojamentos adequados ao limite de vibrações e ruídos.

Quintas (2009) ressalta a problemática dos excedentes de ruídos voltados para o transporte aquaviário fazendo menção a NR15, explanando que para tal norma uma jornada de trabalho de 8 horas possui um nível máximo de 85 dB (A), e para excedentes de 5 dB (A) o tempo limite de exposição se limita pela metade do anterior, ou seja caso um trabalhador ou usuário fique exposto a 90 dB (A) seu tempo limite de exposição ao ruído intermitente cai para 4 horas. Além disso afirma que para navios o valor máximo de pressão sonora equivalente se limita a 111,0 na praça de maquinas, decaindo substancialmente para 89,8 e 88,7 na cozinha e refeitório, e 88,5 no camarote do armador. O ruído estrutural é um problema de grandes proporções devendo ser sanado para evitar distúrbios de saúde futuros aos indivíduos expostos, e através da análise correta do problema podem ser encontrados os focos de ruídos e caminhos de propagação com a finalidade de tratar acusticamente o ambiente, Quintas (2009).

Segundo Araújo Júnior (2014), para pessoas que trabalham embarcadas por vários dias estão submetidos a problemas decorrentes dos ruídos que afetam sua produtividade ou saúde, portanto a predição dos ruídos satisfaz a necessidade de estimar os níveis desses ruídos em um determinado local levando em consideração sua funcionalidade (equipamentos) ou estrutura (paredes, materiais, disposições geométricas, entre outros), para através dessa verificação garantir economia e principalmente a segurança para um determinado ambiente de trabalho.

Para Quintas (2009), o ruído pode comprometer a audição afetando a saúde física e mental de um modo geral, sendo a normatização é capaz assegurar e prevenir os danos. Não somente a audição pode ser comprometida, como existem os efeitos extra-auditivos gerados no organismo pelo ruído que podem ser imediatos e diversificados incluindo: a aceleração da pulsação, aumento da pressão sanguínea, estreitamento de vasos sanguíneos, comprometimento do sono, problemas na comunicação, tremores, manifestações

neurológicas, dificuldade no equilíbrio e na marcha entre outros, Izumi (2006).

É importante identificar as frequências nos caminhos de propagação das ondas sonoras e para aprimorar materiais convencionalmente apropriados a essa finalidade a fim de conter acusticamente as acomodações da embarcação, bem como descobrir os níveis de pressão sonora, Izumi (2006).

3. POLUIÇÃO SONORA E RUÍDO.

A poluição sonora ocorre em qualquer meio e se torna um transtorno quando causa danos a vida humana de modo a perturbar o sistema auditivo ou trazer para o meio ambiente interações desfavoráveis, logo a preservação do bem-estar e da saúde dependem de forma direta e indireta da emissão de ruídos, Petian (2008).

De acordo com Fernandes e Morata (2002), o ruído pode ser definido fisicamente por uma interferência destrutiva de ondas sonoras de várias fontes, sem ordenação no seu espectro. E quanto a sua classificação De Ávila (2007) referiu-se como: estacionário com variações até 3 dB, intermitente variando durante um intervalo de tempo, e de impacto com duração inferior a um segundo e intervalos entre os picos superior a um segundo. Podendo ser classificados também quanto ao mecanismo de propagação, são aéreos quando ocorre a transmissão de vibração da superfície fonte de emissão sonora para o meio geralmente contendo ar, e estrutural quando a propagação da energia surge da base da estrutura alastrando-se em forma de vibração pelas estruturas do equipamento e adjacências.

A norma Regulamentadora 15 (1979) estabelece que para uma emissão de pressão sonora acima de 85 dB deve-se levar em consideração o tempo de exposição e para uma exposição superior a 115 dB recomenda-se o uso de EPI (Equipamento de proteção individual), conforme mostra Figura 1.

Assim como a NR15 (1979) a NR30 (2002) de um modo geral cita a prevenção para condições de ruído excessivo, e estabelece que para as acomodações (camarotes e acomodações provisórias) de uma embarcação são aceitáveis até 60 dB (A) de pressão sonora levando em consideração sempre manter os menores índices possíveis, e caso os níveis de pressão sonora cheguem a 85 dB (A) devem ser adotadas medidas para atenuação significativa do ruído.

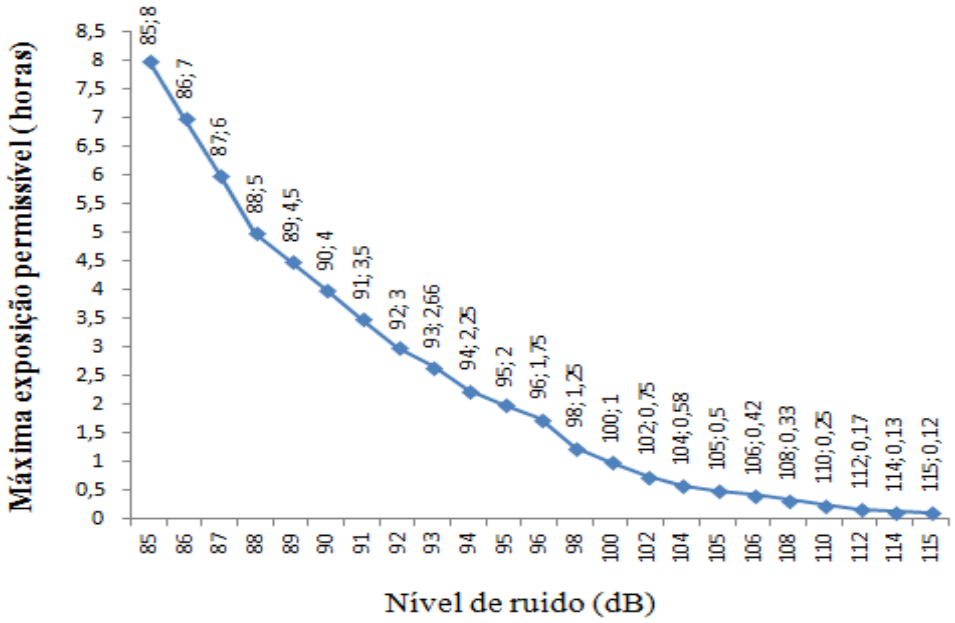


Figura 1: Limite Máximo de ruído intermitente por uma exposição limite em horas. Fonte: NR15, adaptado pelos autores.

Para avaliar a perda auditiva faz-se a aplicação de uma faixa de frequências conferindo as respostas de identificação sonora no organismo do indivíduo por meio da pressão sonora. O teste comumente usado é o audiograma tonal limiar.

Segundo os experimentos realizados por Alano et. al. (2002) com trabalhadores em um fábrica de solventes, a perda auditiva é um fator que está associado a exposição diária aos ruídos estando representada pela Figura 2. Um jovem de 20 anos é capaz de distinguir mais facilmente sons de frequências menores a medida que a fisiologia humana se altera por conta da idade ou de distúrbios no aparelho auditivo nota-se a redução da capacidade de ouvir níveis de pressão sonora elevados. Na Figura 2 o ouvido direito (OD) do trabalhador de 47 anos não consegue distinguir sons em 56 dB (A) a uma frequência de 4.000 Hz, significa que sua perda da capacidade auditiva comparada a um idoso de 60 anos é 16 % maior.

Como exemplificado no caso um trabalhador exposto a um excedente de 85 dB (A) máximos durante oito horas (valor regulamentado pela NR15, 1979) sofreu perda de audição significativa sem estar na terceira idade.

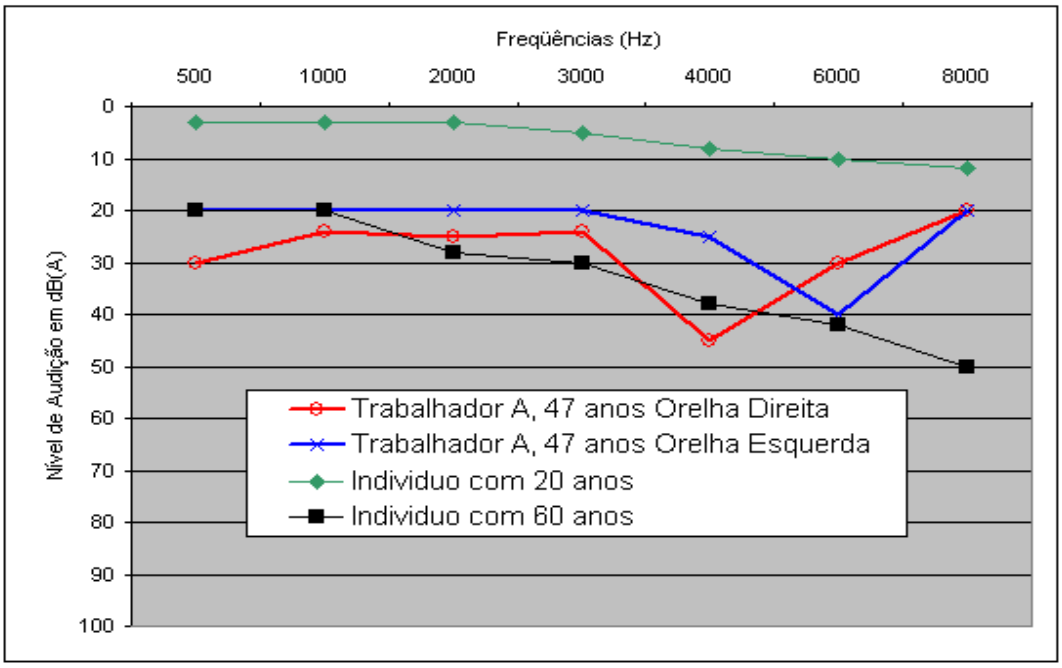


Figura 2: Gráfico de correlação entre a frequência e o nível de audição em dB(A). Fonte: ALANO ET AL. (2002)

Observando o caso é evidente a preocupação com a saúde de trabalhadores ou indivíduos de maneira geral que se exponham a altos níveis de ruído, considerando que a percepção sonora nos seres humanos está na faixa de 10 a 130 decibéis em frequências que variam de 20 a 20.000 Hz. Se houver perda auditiva os reflexos não respondem a frequências superiores, por consequência também há limitações em pressões sonoras mais elevadas, causando alterações na discriminação da fala e pouca distinção de sons, o que prejudica demasiadamente os reflexos do organismo que funcionam como mecanismo de proteção e defesa, Palma (1999).

4. ESTIMATIVA DE POTÊNCIA E PRESSÃO SONORA.

Os conceitos de pressão e potência sonora podem ser descritos respectivamente como, uma perturbação no meio atmosférico que gera uma resposta ao organismo humano através de uma fonte sonora sendo a distância dessa fonte proporcional a pressão gerada, e potência sonora é uma característica intrínseca da fonte emissora correspondente à energia propagada na forma de ondas sonoras emitidas pelo equipamento, De Freitas (2014).

Na verificação da pressão sonora leva-se em consideração parâmetros como a distância da fonte emissora, propagação em um meio aberto ou fechado, absorções (isolamento acústico) e

reflexões (dispersão do som no ambiente), já para os níveis de potência sonora é avaliado somente o potencial de forma quantificada que um determinado equipamento tem de gerar a propagação de energia, De Freitas (2014).

Nilsson (2008) se baseia na predição dos níveis de pressão sonora pelos métodos outdoors e indoors, os quais consistem em estimar os níveis de pressão sonora para um ambiente interno e externo, respectivamente, conforme equações (1) e (2) a seguir.

$$Lp = Lw + 10 * LOG\left(\frac{Q}{4*\pi* r^2}\right) \quad (1)$$

Em que *Lp:* pressão sonora [dB];

Lw: potência sonora [dB];

Q: diretividade da fonte; e

r: distância da fonte emissora [m].

No método *outdoors* (1) fonte sonora é assumida como tendo a mesma propagação de energia em todas as direções e sem reflexões, e para o caso de ambiente interno formulado (2), há existência de um campo de reverberação, que é reflexão continua e múltipla de uma frequência até atingir um nível estacionário, Nilsson (2008).

O método aplicado ao problema é o *indoors* que considera o local como um ambiente interno onde há interferência acústica gerada hipoteticamente pelas barreiras que são no caso as "paredes" das embarcações, considerando-as como superfícies refletoras.

$$Lp = Lw + 10 * LOG\left(\frac{Q}{4*\pi* r^2} + \frac{4}{R}\right) \quad (2)$$

Em que *Lp:* pressão sonora [dB];

Lw: potência sonora [dB];

Q: diretividade da fonte;

r: distância da fonte emissora [m]; e

R: área do local [m²].

Os níveis de pressão e potência sonora são dados em escala logarítmica expressos em decibéis decorrentes das características da audição humana, Dinato e Schaal (2010), e para calcular a pressão sonora é necessário ter conhecimento do valor da potência sonora, geralmente os resultados são dados em dB (A). Para casos onde não há a possibilidade da verificação desses níveis aplica-se a fórmula de potência sonora descrita por De Freitas (2014) e Nilsson (2008).

$$Lw = 10 * LOG_{10} \frac{Potência\ (W)}{10^{-12}w} \quad (3)$$

Em que *Lw:* potência sonora [dB]; e

Potência (w): potência do motor [w].

O nível de intensidade (potência sonora) *Lw* é em Watts, onde corresponde a um cálculo logarítmico da potência real emitida pela potência de referência da fonte "10-2 W", gerando um resultado em decibéis, como está representado abaixo, Dinato e Schaal (2010). Os dados para a predição dos níveis de pressões sonoras foram extraídos da ANTAQ (Frota Registrada das Empresas Autorizadas à Navegação Interior no Transporte Longitudinal de Cargas, 2011).

Para o cálculo de pressão sonora foi usado *Q* como constante de uma superfície esférica uniforme, as áreas das embarcações foram calculadas considerando a largura da boca máxima pelo comprimento, e para o distanciamento da fonte emissora foram considerados os comprimentos total e parcial em relação à distância do motor, Nilsson (2008).

5. RESULTADOS.

Os resultados baseados nos cálculos de estimativas de pressão sonora apontam que todas as embarcações se encontram fora dos limites de tolerância máxima permitida pela NR15 (1979), para um tempo de exposição de 7 minutos a 115 dB (A), onde 5 empurradores apresentam uma faixa de pressão sonora de 130 a 140 dB, 39 empurradores apresentam uma faixa de 150 a 160 dB e 298 empurradores estão entre 160 a 170 dB.

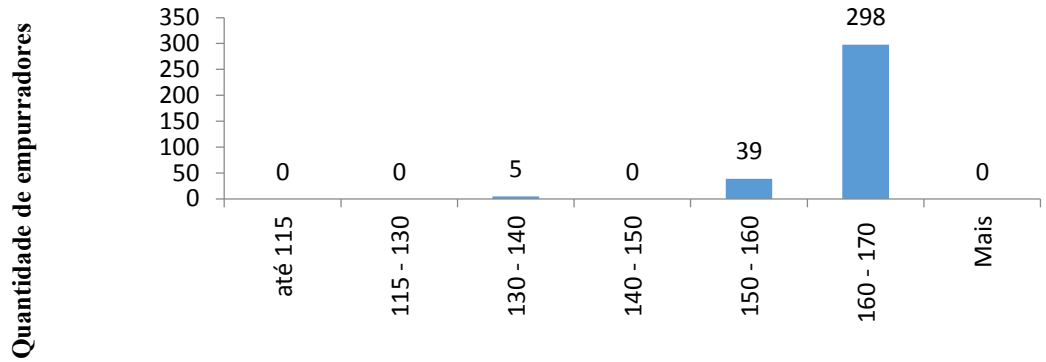


Figura 3: Quantidade de embarcações dentro das faixas de ruído encontradas.

A Figura 3 representa o comportamento das pressões sonoras dos empurradores que foram calculadas com o objetivo se fazer um comparativo com o limite de exposição máxima de 115 decibéis regulamentado pela NR15 (1979).

Os cálculos utilizando o comprimento parcial e total geraram resultados muito próximos o que indica a pouca diferença de pressão sonora quando a distância da fonte emissora é variada (Figura 4).

Considerando um tempo de exposição hipotético de 3 dias de viagem que corresponde a 72 horas ininterruptas de ruído intermitente, os resultados apontam 71,8 horas a mais que o permitido para valores de 115 dB. Tendo como estimativa média acima do permitido de pressão sonora dos empurradores para o cálculo com o comprimento parcial 46,60 dB e 46,52 dB para cálculo com o comprimento total da embarcação em um tempo de 7 minutos de exposição.

Para o caso dos empurradores verificados o valor médio de pressão sonora é: comprimento parcial → média = 161,60 dB e comprimento total → média = 161,52 dB. Para 8 horas o nível máximo de pressão sonora tolerado pela NR15 (1978) é de 85 dB, sendo os valores de pressão sonora encontrados: comprimento parcial → 76,6 dB acima do permitido para 8 horas e comprimento total → 76,52 dB acima do permitido para 8 horas.

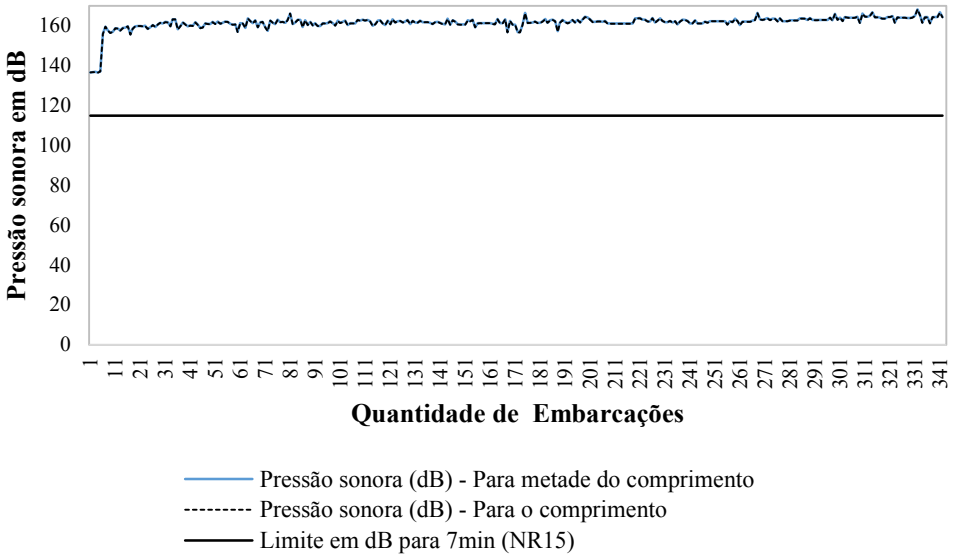


Figura 4: Limiar de pressão sonora regulamentado, e pressão sonora para comprimento total da embarcação.

Barcos com comprimento superior a 26,5 m devem possuir um centro de vivencia com isolamento acústico para assegurar que os níveis máximos de ruídos do local não ultrapassam 65 dB, Ministério do Trabalho, Brasil (2002).

O ideal é que para os empurradores analisados haja um local com contenção acústica adequada evitando a exposição prolongada e contínua aos ruídos. E nota-se que há diferença entre os níveis de propagação de ruído, à medida que a estimativa sugere uma aproximação da fonte emissora os valores de pressão sonora crescem, portanto para um ambiente totalmente exposto e esses índices de ruídos sem barreiras acústicas considera-se a intensificação da pressão sonora relativa a posição do motor.

Existem vários fatores que indicam a presença de ruído estrutural em uma embarcação, e para Contreras (2013) apresentam características como a potência de trabalho, revoluções por minuto, comprimento e largura da fundação e posição dentro do arranjo geral do modelo, porem os principais fatores os quais podem ser levados em consideração são os equipamentos, a transmissão de energia vibracional e a interação das estruturas vibrantes.

O ruído estrutural pode se manifestar por várias formas tendo como principal alvo embarcações que possuam baixa manutenção e por consequência que tenham uma idade avançada, devido aos fatores descritos por Contreras (2013) tornam-se mais propensas. No

caso analisado observa-se que a maioria das embarcações se concentram em uma faixa de idade que compreende de 3 a 35 anos.

Contreras (2013) ressalta que o ruído estrutural para navios pode ser analisado levando em consideração a geometria da embarcação, características da fonte emissora e características dos materiais.

As embarcações na faixa de 3 a 25 anos apresentam altos índices de ruídos e o outlier dessa faixa corresponde a um valor de 168,21 dB de pressão sonora com 9 anos de idade, como observado na Figura 5. Por ser um empurrador "novo" o ruído estrutural pode estar relacionado ao motor e comprimento da embarcação.

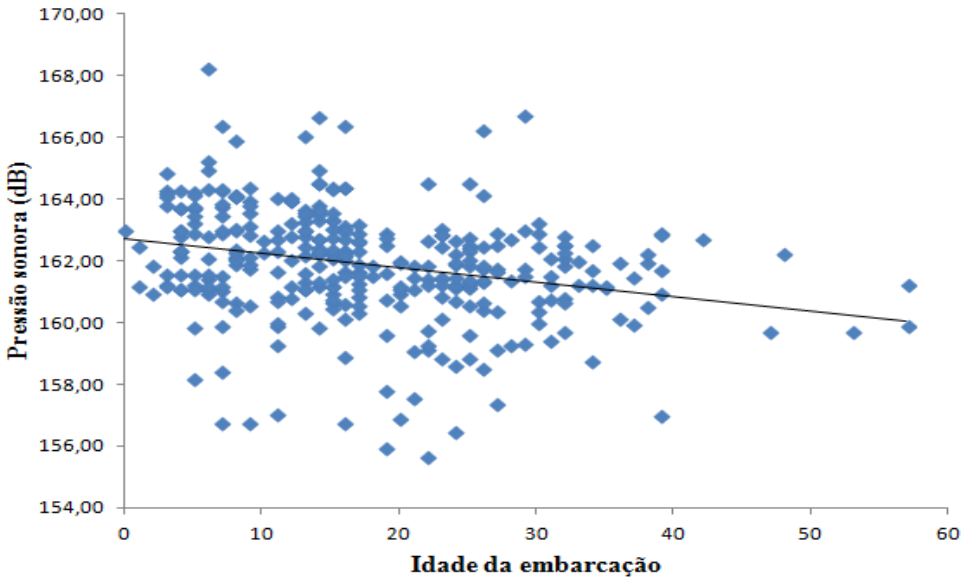


Figura 5: Gráfico da pressão sonora pela idade da embarcação.

Para Contreras (2013) a interação entre as estruturas reverberantes é o fator de risco para ampliação de ruído, devido ao fluxo de energia vibracional ser irradiada em forma de energia sonora. Como mencionado à estrutura de uma embarcação pode facilitar a propagação de ruídos internos e a descontinuidade do ruído estrutural pode ser um indicativo para o problema. Como o estudo em questão não qualifica através de testes físicos o ruído estrutural nos empurradores é plausível a elaboração de hipóteses que possam indicar a fonte do problema para os altos índices encontrados.

Outro fator a ser analisado está vinculado à potência sonora dos motores. Observa-se na

Figura 6 a correlação entre a pressão sonora e a potência em cavalos (HP) do motor, apesar de serem parâmetros distintos e representarem situações divergentes a potência do motor pode indicar que os altos níveis de pressão ligados a fatores inerentes da embarcação como o comprimento e a distância da fonte sonora emissora de ruído, sendo a pressão sonora principalmente influenciada pela capacidade do motor de gerar vibração e por consequência ruídos.

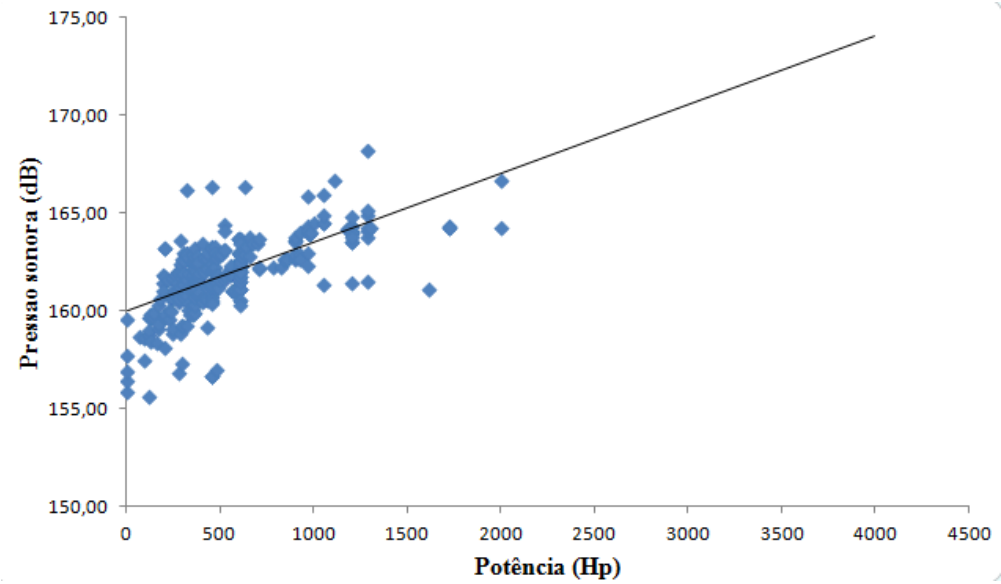


Figura 6: Gráfico da pressão sonora pela potência do motor.

Em analise embarcações com um comprimento pequeno e um motor potente tenderão a emitir índices de ruídos elevados, pois o distanciamento da fonte emissora e a reverberação irão aumentar.

O agravante dos resultados se dispõe a exposição ao ruído intermitente por vários dias, que tem como consequência a perda auditiva e problemas que vão desde complicações cardiovasculares a distúrbios neurológicos graves. A vibração gerada pelo ruído também pode ser um fator de alto risco visto que não só afeta o sistema nervoso periférico como afeta o sistema nervoso central, Fernandes e Morata (2002).

De acordo com a Portaria n°. 19 da Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho (2002), a perda auditiva ocorre por níveis de pressão sonora elevados, causados por uma exposição ocupacional gerando irreversibilidade e progressão gradual decorrente do tempo de exposição. Advertindo que os limiares auditivos que proporcionam os danos estão entre a faixa de

frequência de 3.000 a 6.000Hz.

A perda auditiva induzida geralmente é causada pelo ruído ocupacional nas frequências de 6.000, 4.000 ou 3.000 Hz, e após um dia de exposição nota-se uma redução temporária da capacidade auditiva que pode ser recuperada sendo possivelmente recuperada pelo descanso, porém se houver constante exposição à perda de capacidade auditiva pode ser irreversível. No caso dos índices de ruídos gerados pelos empurradores os trabalhadores são expostos a condições continua e sem interrupções e que possivelmente traria uma perda irreparável, Dinato e Schaal (2010).

6. CONCLUSÃO.

A importância do transporte fluvial para a região amazônica proporciona seu desenvolvimento de modo que estimulou esse estudo a verificar os riscos aos quais estão submetidos os passageiros ou tripulantes quanto a exposição demasiada sob ruídos excessivos, atingindo o objetivo proposto em predizer valores que determinem os níveis de pressão sonora em empurradores, considerando uma situação hipotética na qual os empurradores encontram-se sem isolamento acústico, acima do nível de ruído regulamentado pela NR15.

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado o método descrito por Nilsson (2008), onde através da formula de potência sonora foi possível calcular a pressão sonora emitida pelas embarcações a uma distância da fonte emissora que correspondia ao comprimento total da embarcação e comprimento parcial, considerando a área ambientada para o problema idealmente refletora.

Dos 342 empurradores, todos encontraram-se acima do esperado quanto aos níveis de ruídos, ultrapassando o limite máximo de uma exposição continua a 85 dB (A) por oito horas. As análises realizadas com base nos resultados das pressões sonoras indicam índices preocupantes e alarmantes para uma exposição prolongada de trabalho.

Levando em consideração que o intervalo de tempo das viagens são longos, o indivíduo exposto a ruídos intermitentes, em frequências que variam de 3.000 a 6.000Hz, se sujeita a uma pressão de aproximadamente 160 dB por 3 dias de viagem. Nestas condições provavelmente ocorrerão efeitos adversos, tais como surdez temporária ou permanente e problemas extra-auditivos, como citado por Araújo Júnior (2014) as situações de riscos

quanto ao ruído necessitam de atenção e controle.

Uma forma de prevenir as consequências geradas pelos ruídos e tentar solucionar ou ao menos amenizar o problema é através da atenuação de ruídos pela contenção acústica apropriada a embarcações, assegurando um conforto acústico. As regulamentações nacionais priorizam a prevenção e atenuação de ruídos intermitentes ou contínuos aderindo ao uso de EPIs como medida emergencial, no entanto podem ser ineficazes em determinadas situações a longo prazo.

Tendo em vista a carência ou insuficiência de prevenção quanto ao conforto acústico em empurradores da região amazônica, surge a necessidade de explorar medidas de mitigação sonora como barreiras acústicas capazes de atenuar o problema, e que atendam as especificações quanto aos materiais adequados, custo benefício, temperatura do ambiente e montagem do material.

AGRADECIMENTOS.

Universidade Federal do Amazonas, Laboratório Transportar, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), PROTEC/UFAM (apoio ao projeto desenvolvido pelo PAITI) e Instituto de Pesquisa em Transportes (INTRA).

REFERÊNCIAS.

Alano, A. S.; Ludwig, L. S.; Ludwig M.; Arbo, M. D. e Simões, F. M. (2002) *Ambiente de Trabalho: um local de riscos.* Pan-American/Iberian Meeting on Acoustics, Cancun, Mexico.

ANTAQ (2011). Frota Registrada das Empresas Autorizadas à Navegação Interior no Transporte Longitudinal de Cargas. Agência Nacional de Transportes aquaviário. Brasília.

Araújo Júnior, J. C. C. (2014) *Ruído estrutural em sistemas oceânicos através da análise estatística de energia*. 136 f. Tese de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ - Rio de Janeiro.

BRASIL (1998) Ministério do Trabalho (BR). Portaria n°. 19 da Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho – Anexo I.

BRASIL (1979) Ministério do Trabalho. Norma regulamentadora 15. Atividades e operações, Anexo I - Limites de Tolerância para Ruído Contínuo ou Intermitente, Portaria SSST n.º 12, 12 de novembro.

BRASIL (2002) Ministério do Trabalho. Norma regulamentadora 30. Segurança e saúde no trabalho aquaviário, Portaria SIT n.º 34, de 04 de dezembro.

Contreras, V. M. P. (2013) *Estimativa de ruído estrutural através de fórmulas empíricas: aplicação em navios e plataformas offshore.* 111 f. Dissertação de doutorado, COPPE/UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

De Ávila, D. M. (2007) *Avaliação da qualidade de vida dos trabalhadores expostos ao ruído ocupacional*. 43 f. Monografia, Universidade Guarulhos, São Paulo.

De Freitas, W. C. G. (2014). *Estimativa de Potência Sonora de Equipamentos de Navios de Apoio Offshore*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

Dinato. A., Schaal C. (2010) Abordagem alternativa para aferição de ruído sonoro no entorno de aeroportos. Revista Minerva, v. 63, p. 247-254.

Fernandes M., Morata, T. C. (2002) *Estudo dos efeitos auditivos e extra-auditivos da exposição ocupacional a ruído e vibração.* Revista Bras Otorrinolaringol. v.68, n.5, p.705-713.

Frota, C. D. (2008) *Gestão da qualidade aplicada às empresas prestadoras do serviço de transporte hidroviário de passageiros na Amazônia ocidental: uma proposta prática.* Dissertação de doutorado, COPPE/UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

Izumi, R. (2006) *Efeitos de vibrações e níveis de pressão sonora elevados na mudança temporária de limiar auditivo*. 107 f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, BH.

Nilsson, B. (2008) *Formulae for sound and vibrations. Linnaeus University,* Kalmar e Växjö, Sweden*.*

Padovezi, C. D. (2003) *Conceitos de embarcações adaptados a via aplicado a navegação fluvial no Brasil.* Escola politécnica. 283 f. Dissertação de doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo.

Padula, R. (2008) *Infra-estrutura I: Transportes fundamentos e propostas para o brasil*. Confea, 2008. 215p. – (Pensar o Brasil - Construir o Futuro da Nação), Brasília.

Palma, D C. (1999) *Quando o ruído atinge a audição*. Monografia - Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica–Audiologia, Porto Alegre.

Petian, A. (2008) *Incômodo em relação ao ruído urbano entre trabalhadores de estabelecimentos comerciais no município de São Paulo*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina, Departamento de Patologia.

Quintas, J. P. R. (2009) *Metodologia para avaliação de ruído e vibração no corpo humano em navios de transporte de cargas perigosas.* 169 f. Dissertação de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Sathler, D. (2009) *Cidades médias e redes urbanas na Amazônia Brasileira: especificidades e desequilíbrios regionais* - Cedeplar/UFMG.

ANÁLISE E MODELAGEM DO SEPARADOR CENTRÍFUGO COM O INVERSOR DE FREQUÊNCIA PARA PARTIDA EM RAMPA

Pontes da Silva Filho José Antonio [1]; Moreira Pinto Cunha, Davi [2]; Cruz Luz, Edelson da [3]; Chaves de Lemos, Victor Hugo [4]

[1]Aluno de Ciências Náuticas com ênfase em máquinas na EFOMM-CIABA. dudusylvafilho@yahoo.com. Telefone: +55 91 98505-5050

[2]Aluno de Ciências Náuticas com ênfase em máquinas na EFOMM-CIABA. davimpc@hotmail.com. Telefone: +55 85 9638-7698

[3]Doutor em Geofísica pela UFPA. Professor da EFOMM-CIABA. edelson_81@hotmail.com. Telefone: +55 91 9168-6896

[4]Professor EFOMM-CIABA. hugochaves97@hotmail.com. Telefone: +55919991-9077

RESUMO.

Tendo em vista a importância do separador de água e óleo a bordo, pois o óleo combustível que chega a bordo possui baixa qualidade em relação a pureza, a utilização de óleos mais puros aumenta significativamente a durabilidade da máquina e consequentemente diminui os custos de manutenção. Vale também ressaltar que a utilização de um óleo com baixo teor de impurezas aumenta o rendimento da máquina de uma forma geral.

Entretanto, o acionamento dessa tipo de purificador requer o desprendimento de muita energia. Desde então, surgiu-se a necessidade de encontrar métodos os quais possam melhorar a eficiência energética. Com estudos realizados através do software COMSOL Multiphysics, foi verificada uma importância de controlar a velocidade de rotação no interior do separador, controle ao qual será realizado com a instalação de um inversor de frequência no processo de atuação da maquina que com a sua característica de partida em rampa nos oferece um maior controle da separação . No estudo, também foi analisada as consequências da variação de temperatura de entrada da mistura em trabalho, o qual percebeu-se um aumento significativo no rendimento da maquina, sabendo-se que a temperatura da mistura

esta diretamente ligada a sua própria densidade e viscosidade da mistura que são a base de projeção de todo processo.

1. INTRODUÇÃO.

A indústria naval ainda no século passado, devido à robustez do sistema de óleo lubrificante e de óleo combustível e notória não viabilidade da utilização do tanque de sedimentação como principal forma de separação de contaminantes de óleos em ambientes marítimos, haja vista a instabilidade do ambiente, bem como a demanda de óleos prontos para uso, fez com que a utilização dos separadores centrífugos se tornasse bastante comum. A centrifugação é um processo que utiliza a aceleração centrífuga em vez da aceleração gravitacional para a separação de misturas heterogêneas. Dentro de uma vasta aplicação na indústria são utilizadas em navios, indústrias alimentícias e farmacêuticas, entre outros.

Um processo de separação é um método pra obter de uma mistura de substâncias, a separação de uma ou mais substâncias de seus constituintes. Em alguns casos, dependendo das condições as quais fora submetida, obtém - se constituintes praticamente puros, provenientes da separação.

A consequência disto foi visto na prática e provado depois teoricamente que o óleo não contaminado, preserva o bom funcionamento dos equipamentos os quais utilizam-se dos mesmos, aumentando o tempo de vida útil do equipamento e necessitando de menos reparo.

No processo de separação centrifuga, os componentes mais densos da mistura se deslocam em direção das bordas da cuba, enquanto que os menos densos se deslocam em direção ao eixo.

Entretanto, o acionamento desse tipo de purificador requer o desprendimento de muita energia. Desde então, surgiu-se a necessidade de encontrar métodos os quais possam melhorar a eficiência energética. Com estudos realizados através do software COMSOL *Multiphysics*, mais especificamente com o método CFD (*Computacional Fluid Dynamics*) foi verificada uma importância de controlar a velocidade de rotação no interior do separador, controle ao qual será realizado com a instalação de um inversor de frequência no processo de atuação da maquina que com a sua característica de partida em rampa nos oferece um maior controle da separação. No estudo, também foi analisada as consequências da variação de temperatura de entrada da mistura em trabalho, o qual percebeu-se um aumento significativo no rendimento

da maquina, sabendo-se que os processos separação são baseados nas propriedades físicas e químicas da mistura em questão como tamanho, formato, massa, densidade, afinidade química. Essas particularidades são peça chave na obtenção do melhor processo.

2. SEPARAÇÃO ÁGUA-ÓLEO.

Quimicamente, uma mistura é um composto formado por duas ou mais substancias diferentes, na qual são revolvidos mas não combinam quimicamente. Os compostos são o produto de uma mistura mecânica ou uma mistura química, sem ligações ou transformações químicas, de modo que cada substancia conserva suas próprias composições e propriedades químicas.

Embora as propriedades físicas de uma determinada mistura podem ser diferentes das dos seus componentes (e isso dificulta a separação dos componentes), ainda sim com o auxilio de uma força externa qualquer atuante sobre a mistura, podemos fazer essa separação e distinguir seus componentes.

A bordo de embarcações, a separação água-óleo é muito importante e também constantemente utilizada, haja vista a demanda de combustível utilizada pelos navios. Essa separação, além de ser de larga escala, também precisa de qualidade, por isso se utilizam métodos como a sedimentação e a centrifugação (objeto de estudo de nosso trabalho).

2.1. Separação por centrifugação.

Um processo de separação é um método pra obter de uma mistura de substâncias, a separação de uma ou mais substâncias de seus constituintes. Em alguns casos, dependendo das condições as quais fora submetida, obtém - se constituintes praticamente puros, provenientes da separação.

Os processos separação são baseados nas propriedades físicas e químicas da mistura em questão como tamanho, formato, massa densidade, afinidade química. Essas particularidades são peça chave na obtenção do melhor processo.

Com o processo de separação de misturas por centrifugação, não utilizamos a aceleração da gravidade, mas sim a aceleração centrifuga.

2.1.1. Aplicação da centrifugação a bordo de embarcações.

A qualidade do óleo que é levado para bordo com o intuito de abastecer o MCP, MCA's e as maquinas auxiliares, é relativamente, de baixa qualidade, apresentando alto teor de impurezas, principalmente a água. O separador centrífugo é utilizado à bordo basicamente para a separação dessas impurezas de óleos combustíveis e lubrificantes que fluem para os tanques de serviço e de reserva do navio, garantindo assim, o melhor funcionamento e proteção das maquinas que necessitam desse óleo.

Dependendo do tipo de impureza extraída, altera-se sua configuração mecânica e é atribuído ao separador centrífugo uma nomenclatura diferente, podendo ser chamados de purificadores e clarificadores.

Purificadores centrífugos realizam o processo chamado de purificação, consistindo na separação de líquidos de uma mistura. Por exemplo, água do óleo diesel marítimo. Por isso há a necessidade da peça que chamamos de disco de gravidade, pois ela trabalha fisicamente para estabelecer e regular a interface água-oleo dentro do purificador.

Já os clarificadores centrífugos realizam o processo chamado de clarificação consistindo na separação de partículas sólidas contidos em uma mistura. Por exemplo, partículas provenientes de desgastes de peças em um óleo lubrificante. Desse modo, não há necessidade da utilização de disco de gravidade, já que uma interface liquido-liquido não é tão importante neste processo, mais sim a retirada de impurezas sólidas da mistura.

2.1.2. Constituintes principais de um separador centrifuga.

Em termos de estrutura, o separador centrífugo em geral pode ser descrito da seguinte forma. É formada por um corpo de formato cilíndrico com um tampão de formato cônico, que devido ao funcionamento do separador necessitam e são mantidos juntos através de um anel de fecho rosqueado. Essa estrutura composta por corpo cilíndrico, tampão cônico e o anel de fecho rosqueado é o que comumente chama-se de cuba do separador centrífugo.

Dentro da cuba temos uma espécie de suporte/tubo vazado no qual os discos cônicos são mantidos e que em seu interior possui um canal para alimentar a mistura na cuba. Este "tubo" é o que chamamos de distribuidor. O topo das estruturas as quais o distribuidor serve de

suporte, existe uma espécie de gargalo que influência no fluxo da fase pesada que irá sair da cuba, chamado de disco de gravidade.

2.1.3. Fatores que influenciam nos resultados de uma centrífuga.

1) Temperatura de separação: Quando há um aumento na temperatura de entrada do óleo, em geral, também há um aumento na capacidade de separação da mistura água-óleo. Isso se acontece devido a temperatura estar ligada diretamente com a viscosidade, quanto maior a temperatura do óleo menor sua viscosidade.
2) Viscosidade: Viscosidade baixa facilita a separação, pois um liquido com menor viscosidade torna-se mais fluídico facilitando o trabalho da maquina. Em contrapartida, uma viscosidade alta(óleo pesado) força o centrifugador a gastar mais energia para separação.
3) Diferença de densidade: A força centrífuga atua sobre todas as partículas nas proporções das densidades de cada uma, ou seja, se a água possuir uma densidade consideravelmente maior do que a do óleo, a força centrifuga será bem mais atuante nas partículas de água, o que melhora a definição da interface de separação água-oleo . Portanto, quanto maior a diferença de densidade, mais fácil a separação.
4) Proporções das fases: Um aumento na quantidade de água no óleo influenciará o resultado da separação, podendo ser compensado pela redução da taxa de transferência a fim de restaurar a separação ótima.
5) Taxa de Transferência: Regula o tempo permitido para a separação. Um melhor resultado de separação pode ser obtido pela redução da taxa de transferência, pois assim há mais tempo para processamento e definição da interface da mistura dentro do centrifugador, consequentemente o tempo de produção virá a aumentar.
6) Espaço de borra: O acúmulo de sedimentos na periferia com o tempo começará a influenciar no fluxo e na eficiência da separação.
7) Torre de pratos: Uma torre de separação deformada ou danificada influencia na separação dos resultados.
8) Disco de Gravidade: Um disco de gravidade com uma abertura maior leva a interface de separação dos líquidos em direção a periferia da cuba devido ao aumento do fluxo de saída de agua, enquanto um disco com uma abertura menor colocará a interface próxima ao centro da cuba, pois nesse processo há uma restrinção no fluxo de saída de água, aumentando assim o volume interno no separador .

9) Velocidade de rotação: A velocidade de trabalho do separador centrífugo influencia, pois influencia em fatores como interface de separação e capacidade de separação (ultra centrífugas, por exemplo, atuam em misturas que a velocidade de centrifugação comumente empregada não é suficiente para a separação. São muito utilizadas em indústrias farmacêuticas e pesquisas microbiológicas).

3. ESTABELECENDO UMA POSIÇÃO DE INTERFACE ENTRE ÁGUA E ÓLEO.

3.1. Importância da posição da interface de separação.

O selo líquido é formado através da força centrifuga gerada pela rotação da cuba, porém na estrutura física do purificador existem duas saídas de líquido, em uma delas sairá o óleo purificado e na outra a água que se encontrava no óleo sujo, e não existe nenhuma garantia que a água e o óleo saiam pelas suas respectivas saídas. O bom posicionamento da interface água e óleo dentro do purificador é a grande responsável para que os líquidos se encaminhem para suas respectivas saídas. Em determinados momentos da separação, com a movimentação de interface água e óleo, pode-se ocasionar a saída de água junto com as partículas de óleo, ou até mesmo a saída de óleo junto as partículas de água, tornando o resultado da separação indesejável e inviável para utilização.

Para que isso não aconteça, é necessário saber quais fatores influenciam no posicionamento da interface e como influenciam (se desloca a interface em direção ao eixo de rotação ou em direção a parede da cuba). Depois de determinados os fatores que influenciam, só então pode se determinar uma relação entre eles e o posicionamento da interface.

3.2. Variáveis que influenciam no posicionamento da interface.

Entre as variáveis que influenciam na posição da interface, a velocidade angular e a temperatura podem ser reguláveis de maneira prática em relação às variáveis estruturais. A temperatura de alimentação pode ser regulada através do aquecedor existente na rede, aquecendo mais ou menos as mistura dependendo da necessidade das características de densidade / viscosidade requeridas. Já a velocidade angular da centrífuga, pode ser controlada através de um inversor de frequência, adequando a velocidade de projeto a uma dada velocidade desejada.

As analises feitas com as grandezas velocidade e temperatura foram as seguintes: com o aumento relativo da velocidade de rotação temos diretamente o aumento do raio de interface. Já em relação a grandeza temperatura temos que com o seu aumento desencadeamos também a diminuição do raio de interface.

Então, se diminuirmos a velocidade de rotação da cuba do purificador teremos uma movimentação da interface água e óleo, diminuindo assim o raio de interface. Contudo, se junto a isso diminuirmos a temperatura, teremos assim um aumento no raio de interface. Com essa manipulação entre velocidade de rotação e temperatura poderemos escolher o ponto ideal da interface entre água e óleo.

4. CONTROLE DE VELOCIDADE DE UM SEPARADOR ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE UM INVERSOR DE FREQUÊNCIA.

Um inversor de frequência é um equipamento eletrônico capaz de variar a velocidade de giro de maquinas através de sua instalação nos motores trifásicos. O inversor de frequência em sua aplicação para motores de indução possui como característica o controle da velocidade feito de uma forma mais ou menos incisiva dependendo do tipo inversor. Outra característica especial para este processo é a possibilidade de realizar um tipo de partida com carga bastante interessante, pois a mesma não gera pico de tensão na partida. Esta partida é denominada de partida em rampa.

Quando falamos de uma separação customizada ou de um posicionamento especifico da interface de separação (na qual a velocidade pode ajudar no posicionamento), sem necessariamente modificar as partes físicas da maquina, o inversor de frequência passa a ser de extrema importância no caso do separador centrifugo.

A velocidade angular é uma variável importante na regulagem do posicionamento da interface nos casos que, a água ou o óleo estiverem sendo expurgados pelas saídas não designadas. Tendo em vista que o controle de rotação da maquina nos fornece o controle para que os constituintes da mistura saiam da maquina pelo local correto.

5. MODELO DE TURBULÊNCIA E MODELO k – ε

Por aplicação do procedimento de média de tempo nas equações de Navier-Stokes, um termo extra aparece devido ao fluxo turbulento, que deve ser representada por uma equação constitutiva, este termo é conhecido de fluxo de Reynolds. Consideramos que a turbulência consiste de pequenos "enxames" a ser formado e ser dispersos, e que as tensões de Reynolds podem ser linearmente relacionada com gradientes de velocidade (hipótese viscosidade turbulenta) semelhante à relação entre o estresse e os tensores de deformação em fluxo laminar newtoniano, uma viscosidade efetiva pode ser assumida:

$$\mu_{ff} = \mu + \mu_t \tag{5}$$

e os fluxos de Reynolds de um escalar são linearmente relacionado com o gradiente escalar significativo. O modelo k-ε padrão está ligado com uma energia cinética turbulenta e sua taxa de dissipação dessa forma:

$$\mu^t = C_\mu \rho \left({}^{k^2}/_{\varepsilon} \right) \tag{6}$$

Onde k é a energia cinética turbulenta e ε é a taxa de dissipação de energia cinética turbulenta. A equação de conservação de energia cinética turbulenta e sua taxa de dissipação podem ser escritas como:

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_\alpha \rho_\alpha k_\alpha) + \nabla \bullet \left(r_\alpha \left(\rho_\alpha U_\alpha k_\alpha - \left(\mu + \frac{\mu_{t\alpha}}{\sigma_k} \right) \nabla k_\alpha \right) \right) = r_\alpha (P_\alpha - \rho_\alpha \varepsilon_\alpha) + T_{\alpha\beta}^{(k)} \tag{7}$$

Ou

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_\alpha \rho_\alpha \varepsilon_\alpha) + \nabla \bullet \left(r_\alpha \rho_\alpha U_\alpha \varepsilon_\alpha - \left(\mu + \frac{\mu_{t\alpha}}{\sigma_k} \right) \nabla \varepsilon_\alpha \right) = r_\alpha \frac{\varepsilon_\alpha}{k_\alpha} (C_{\varepsilon 1} P_\alpha - C_{\varepsilon 2} \rho_\alpha \varepsilon_\alpha) + T_{\alpha\beta}^{(\varepsilon)} \tag{8}$$

onde $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, C_μ, σ_k e $\sigma_{\varepsilon 1}$ são as constantes do modelo e $T_{\alpha\beta}^{(k)}$ e $T_{\alpha\beta}^{(\varepsilon)}$ coeficientes de transferência entre as fases.

Constantes	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	C_μ	σ_k	σ_ε
Valores	1,44	1,92	0,09	1	1,3

6 – GEOMETRIAS.

A geometria utilizada para modelagem numérica foi criada no próprio software de análise COMSOL Multiphysics tendo embasamento na separadora centrífuga ALFA-LAVAL MAB104B(figuras 1 e 2). Recolhido as informações e dimensões necessárias foi feito a geometria em 2D com revolução em 3D como mostra as figuras 3 e 4.



Figura 1 – Visualização do separador centrífugo (vista top)



Figura 2 – Caminho do fluxo nos internos da válvula original

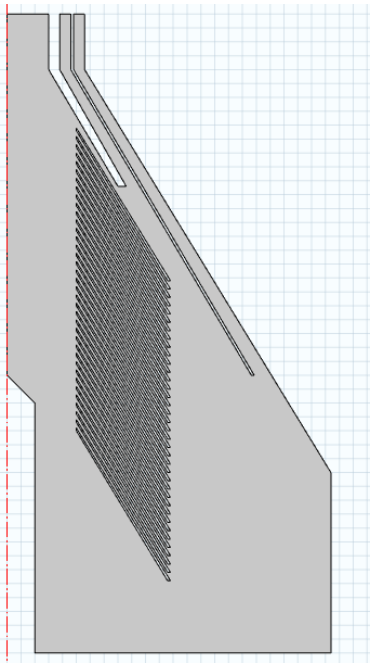


Figura 3 – Separador centrífugo 2D seccionado

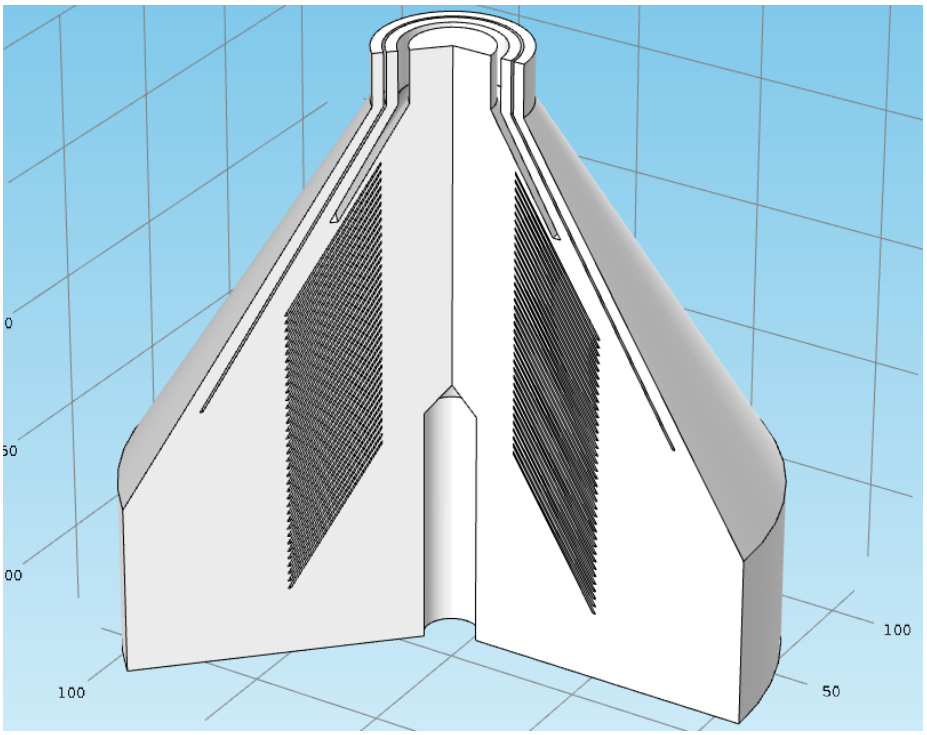


Figura 4 – Separador centrífugo 3D seccionado

7 – GERAÇÕES DE MALHA.

Para gerar a malha volume preenchido pelo fluido usamos o próprio COMSOL Multiphysics e foram pré-selecionadas regiões de entrada (inlet), saída (outlet) e paredes (wall).

8 – CONDIÇÕES DE CONTORNO.

Foram levadas em conta as seguintes condições de contorno:

1. Escoamento isotérmico.
2. Escoamento no domínio do tempo.
3. Sem transferência de calor.
4. Equilíbrio termodinâmico entre as fases.
5. Completo desenvolvimento da turbulência.
6. Variação de pressão de entrada e saída 100kPa.

9. ANÁLISES DOS RESULTADOS.

A análise foi realizada somente nos instantes iniciais, pois após a verificação do início da separação da água e do óleo podemos validar a necessidade de um inversor de frequência para o controle da velocidade de rotação do separador centrífugo. A visualização é em 2D rotacionada mostrando a geometria em 3D o qual temos demonstrado a concentração de água em gradiente de cores nas figuras seguintes.

Na figura 5 podemos observar que mesmo com a entrada do fluido a concentração de água dispersa constante há regiões de maior concentração devido ao modelo de turbulência, pois se utilizássemos modelo laminar tal fenômeno não poderia ser observado. Na figura 6 podemos facilmente observar a função da peça “distribuidor” que é facilitar a dispersão do fluido por todo o separador centrífugo.

Analisando as figuras momento da figura 7,8 e 9 vemos o começo da atuação da aceleração centrípeta levando as partículas mais densas para as extremidades do separador centrífugo.

Observando a parte inferior do separador centrífugo percebemos a condução da água para a extremidade comprovando a eficiência da aceleração centrífuga na separação dos fluidos.

No tempo final vemos que o a concentração de água é muito maior na extremidade tornando o estudo válido na comprovação da separação do fluido.

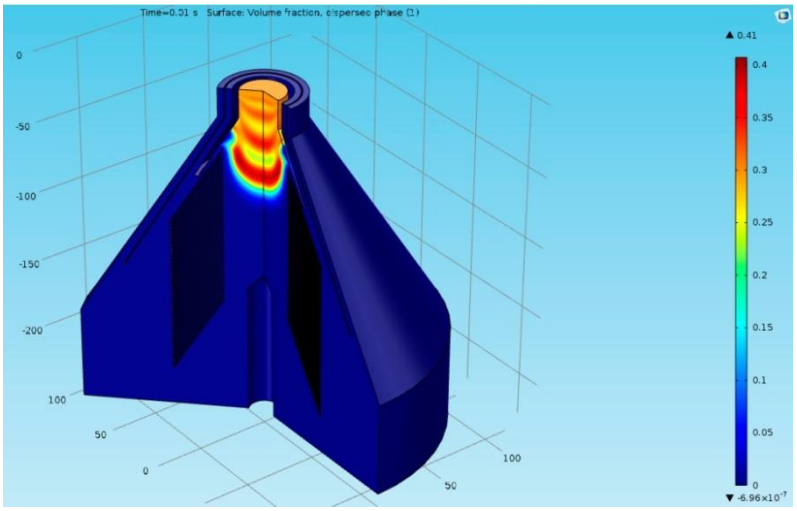


Figura 5-Comportamento do fluido em 0.01s (interior do separador centrífugo)

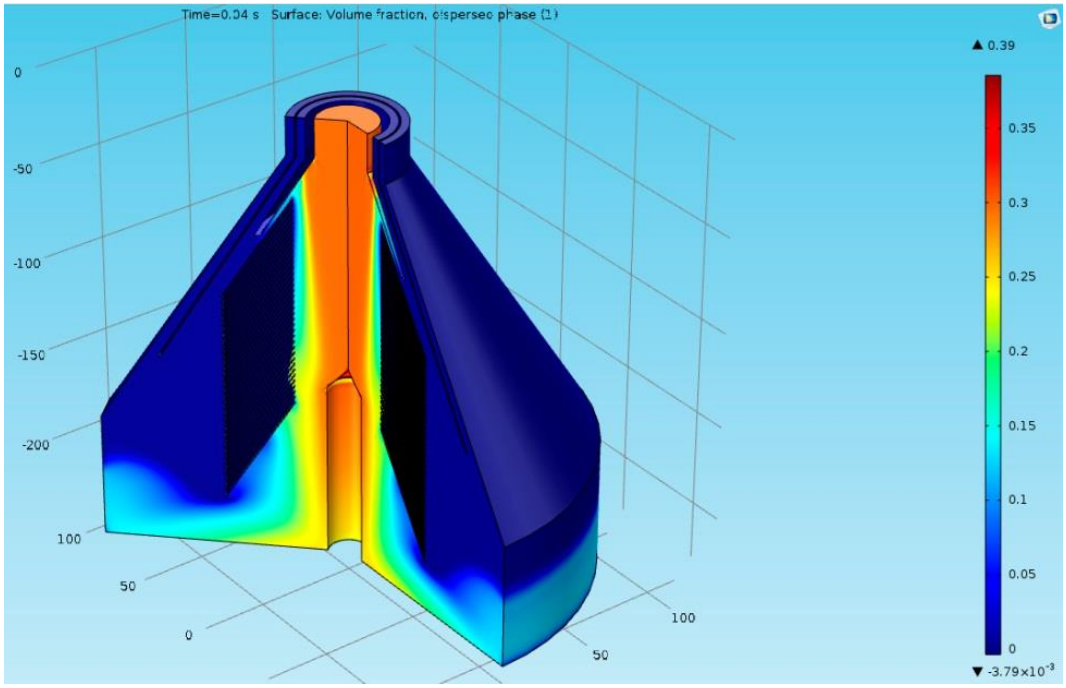


Figura 6-Comportamento do fluido em 0.04s (interior do separador centrífugo)

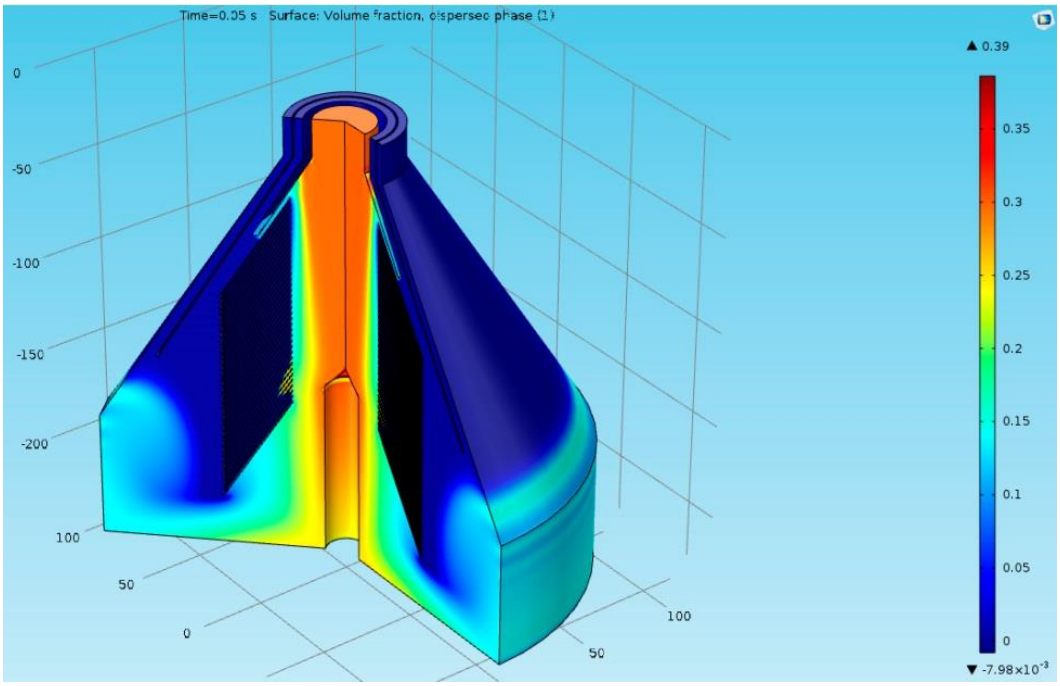


Figura 7-Comportamento do fluido em 0.05s (interior do separador centrífugo)

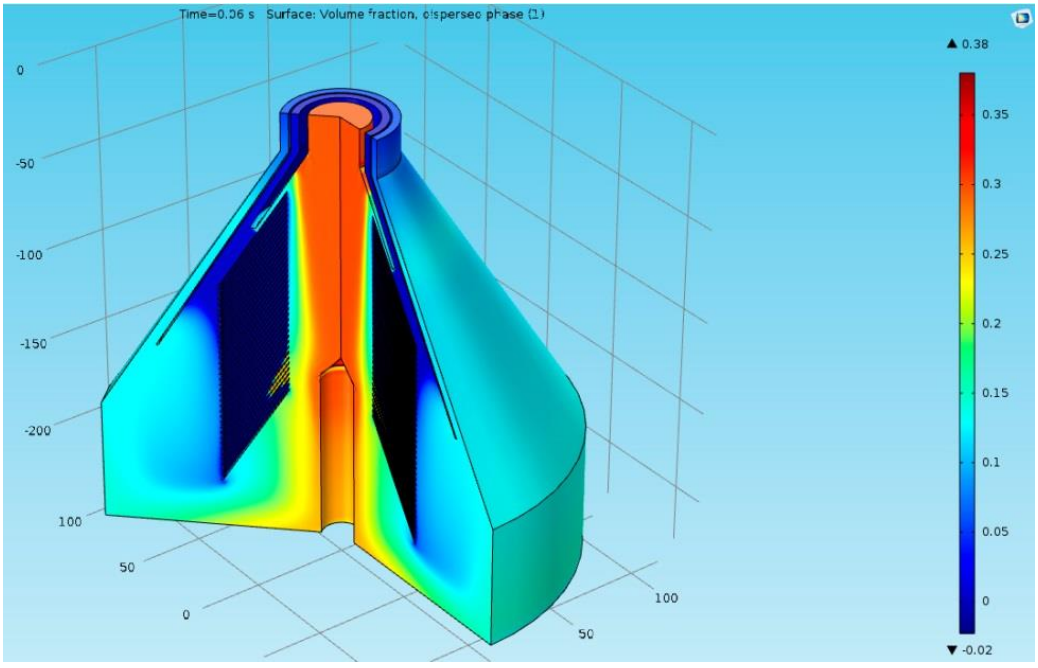


Figura 8-Comportamento do fluido em 0.06s (interior do separador centrífugo)

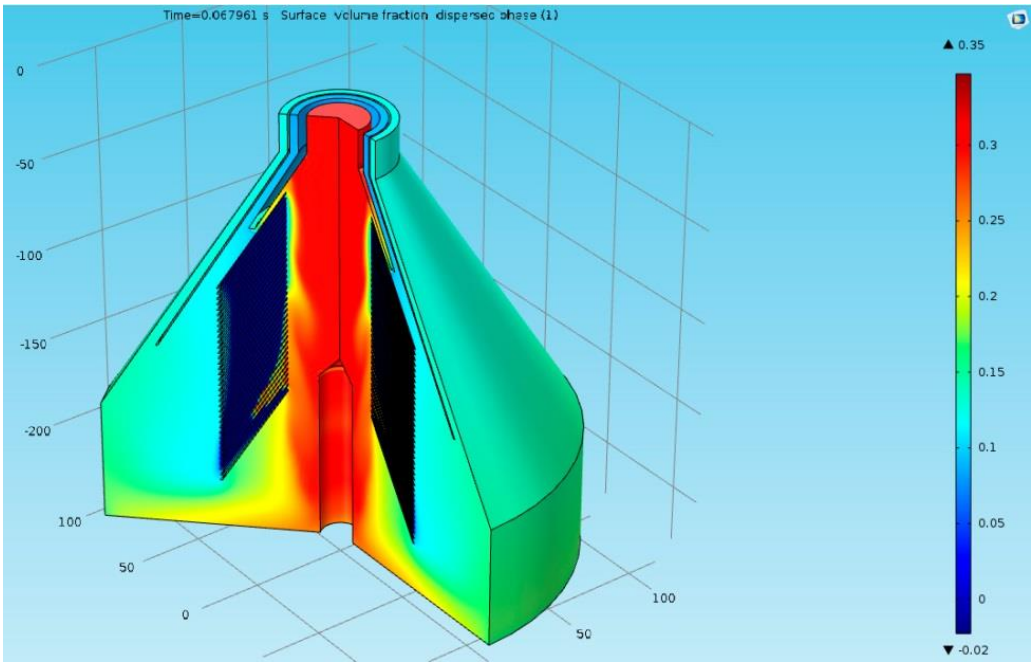


Figura 9-Comportamento do fluido em 0.067s (interior do separador centrífugo)

10. CONCLUSÃO.

Incontestavelmente, o trabalho de separação água/partículas- óleo realizado pelo separador centrífugo é um procedimento indispensável em instalações marítimas no geral, pois devido a isso, temos a possibilidade de aumentar o rendimento e preservar a integridade dos aparelhos que utilizam esse óleo purificado.

Através da análise dos dados mostrados, conclui-se perfeitamente que a instalação de um inversor de frequência nos purificadores marítimos nos traz vantagens na separação da mistura, pois com o inversor temos a possibilidade de controlar a velocidade do sistema e consequentemente a interface de óleo e agua no interior do purificador, podendo assim estabelecer rapidamente o melhor ponto de separação, trabalhando sempre com o ajuste de temperatura da mistura, sem gastar grandes quantidades de energia, e consequentemente gerando economias.

Com a plataforma COMSOL Multiphysics foi possível verificar os instantes iniciais de funcionamento do fluido no interior do purificador e prever a formação de uma interface de separação água-óleo como descrito na literatura. Desse modo, faz-se necessário a continuação dos estudos com foco na variação de temperatura e velocidade de rotação do separador centrífugo para simularmos a utilização do inversor de frequência.

11. BIBLIOGRAFIA.

HJERTAGER, B. H., MORUND, K., *Computational Fluid dynamics of bioreactors*. Mod. Indent. Control, v.16, p. 177, 1995.

LIU, C. J. X.; YUAN, G.; YU, K. T.; ZHU, X. J. *A fluid-dynamic model for flow pattern on a distillation tray, Chem. Eng. Sc*., 200Ç0.

MALISKA,C. R. Maliska. *Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional.LTC, segunda edição,* 2004.

ARAKEN, JOSÉ*. A aplicação de um inversor de frequência e as suas influencias em uma separadora centrífuga ,* 2014.

NIKOU, M. R. K.; EHSANI, M. R. *Turbulence models application on CFD simulation of hydrodynamics, heat and mass transfer in a structured packing, International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2008.

WERLE, L.O. *Fluid Dynamic Model in a Sieve Tray in Distillation*: Pilot Plant. Energy and Fuels, set, 2009

www.br.comsol.com/landing/cfd-module

Humberto Jorge de Almeida, Separadores Centrifugos, Disponível em: http://www.portaleducacao.com.br/educacao/artigos/48764/referencias-bibliograficas-tiradas-na-internet-como-colocar-no-trabalho

Franson, Mary Ann (1975) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 14th edition, APHA, AWWA & WPCF ISBN 0-87553-078-8 pp. 89–91, 95–96

Alfa-Laval, Manual de instruções e Catalogo Separadora MAB, Equipamentos Villares, No S410805 :02P-Br

FERNANDES, Xiana Romani. Computational Fluid Dynamics (CFD) and Discrete Element Method (DEM) Applied to Centrifuges Lars Egmont Spelter and Hermann Nirschl Karlsruhe Institute of Technology, Campus South, Institute for Mechanical Process Engineering and Mechanics, Karlsruhe Germany

SONDA PARA MONITORAMENTO E INDICAÇÃO DE VAZAMENTO EM TUBULAÇÕES

Pasquale Rosa, Luís Carlos [1]; da Silveira Rosa, Beatriz Vidigal Xavier [1]; Tachibana, Toshi-chi [2]

[1]SEIP 7 Indústria E Comércio De Máquinas Ltda.

[2]IPT/USP Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Universidade de São Paulo

RESUMEN.

Trata o presente trabalho de sonda de monitoramento de tubulações submarinas. Consiste de uma cápsula formada por uma base e um flutuador dotado de sensores, que seguindo uma lógica de redundância é capaz de detectar alterações substanciais nas características da água no ambiente marinho, tal qual àqueles particulares a um vazamento, que se constatado ejeta o flutuador que emite sinais para uma base de monitoramento e libera um conjunto de marcadores que acompanham a mancha de óleo.

O seu campo de aplicação é preferencialmente na indústria de exploração de petróleo, mais especificamente em tubulações submarinas e plantas de exploração. Com pequenas alterações no projeto pode ser utilizada em qualquer tipo de monitoramento de falhas catastróficas em sistemas submarinas.

As técnicas de medição in loco não são novidades. Há muitos sistemas de medição que ficam "abandonados" por certo tempo para a coleta de dados que indiquem vazamento, no entanto tais sistemas são projetados para um período curto de duração.

Consiste essencialmente de uma sonda formada por uma base devidamente conectada a um flutuador dotado de sensores de densidade da água e sensores de luminosidade, que mediante a presença de petróleo, ou outro elemento contaminante, por meio de um mecanismo ejeta o flutuador que segue em direção à superfície onde emite sinais / localização para uma base de monitoramento, liberando também marcadores que acompanham a mancha de petróleo antes mesmo que venha à tona.

1. INTRODUÇÃO.

O petróleo é composto de vários hidrocarbonetos entre outros componentes, que no caso de vazamento, principalmente no mar, afetam todo o ecossistema.

Os primeiros a serem atacados são os plânctons com os quais os peixes se alimentam, dessa forma ocasionando uma reação em cadeia. Em vazamentos maiores, a luz do sol é bloqueada impedindo a realização da fotossíntese pelas algas e consequente liberação de oxigênio, causando a morte dos peixes, ou pela falta desse ou pela intoxicação pelo óleo. Além disso, substâncias tóxicas se acumulam nos tecidos e/ ou penas dos animais que vivem nesse ambiente levando-os a morte.

Por diversos fatores, o vazamento de óleo é um acidente ambiental muito difícil de ser contido, formando manchas no mar que são espalhadas pelas correntes tendo como resultado um impacto ambiental devastador. Na prática é quase impossível dirimir por completo esse tipo de evento, o que leva a necessidade da sua detecção e contenção o mais rapidamente possível.

O Instrumento aqui apresentado para uso em explotação de petróleo " Língua Eletrônica" se refere a um sistema de análise integrado para geração, multiplexação de sinais, realização de medidas elétricas e análise de resultados de unidades sensoriais, compondo um dispositivo comumente chamado de "língua eletrônica". Sua utilização pode ser estendida para a avaliação de contaminantes ambientais e combustíveis. Os sensores como as "línguas" eletrônicas, quando expostas às condições de operação em água ultra profundas são danificados em questão de horas. Apresenta um processo que descreve uma modelagem inversa, que faz uma regressão no tempo e no espaço para estimar a trajetória de uma mancha de óleo entre a posição na superfície do mar, onde foi detectada por satélite, e o local onde ocorreu o escape.

A utilização de satélite para detecção de vazamentos é demasiadamente custosa. Além disso, o algoritmo utilizado para fazer a modelagem está sujeito a uma série de variáveis dinâmicas, que podem levar ao erro na detecção do local do escape.

O equipamento trata de um compensador de pressão para um sistema de bombeamento submarino, para bombeamento de um efluente de uma cabeça de poço localizada em águas profundas. O compensador de pressão também responde quando o volume de fluido

hidráulico de refrigeração e lubrificação no sistema é reduzido ou aumentado, tal como mediante um vazamento.

No mérito da detecção de vazamentos, o método de checagem da pressão de bombeamento só é capaz de detectar vazamentos na estrutura de extração e não em todo o campo de exploração.

O equipamento refere-se a um sistema de detecção e localização de vazamentos em dutos de transporte de fluidos, líquidos, gasosos ou multifásicos, utilizando inteligência distribuída interconectada por link de fibra óptica.

O sistema é dotado de sensores acústicos inteligentes e dedicados com capacidade de comunicação por fibra óptica, módulo de alimentação com painel solar, unidade central de processamento e computador dedicado.

A solução acima compreende diversos componentes, o que a torna cara e complexa. Além disso, a fibra óptica, com o tempo, é suscetível a ação danosa do ambiente marinho.

Atualmente ROVs (*Remote Operated Vehicle*) são projetados para operar nas mesmas condições, porém não se encaixam na categoria de sensores da sonda apresentada.

Assim a sonda, basicamente montada em base e flutuador, apresenta sensores no referido flutuador que faz medidas diretas de algumas características da água que fica em contato com os mesmos. Diante de um vazamento de petróleo, a água apresentará alterações na transparência e condutividade elétrica. Ao detectar as condições de anormalidade na região no seu entorno e confirmadas as medidas apuradas nos diversos sensores espalhados no flutuador da sonda, o mecanismo de desacoplamento da base é acionado liberando os marcadores que acompanharão/ rastrearão a mancha do poluente vazado. Outrossim, o flutuador ao chegar à superfície comunica sua localização à uma base de monitoramento o estado de emergência.

2. VANTAGENS DO EQUIPAMENTO.

Dentre as diversas vantagens poderemos enumerar as seguintes características:

1. Detecção de vazamentos, tanto no sistema de produção quanto no substrato do oceano (em caso de rachaduras).
2. Versatilidade na implantação do sistema.

3. Monitoramento em tempo real do local inicial do vazamento e acompanhamento da mancha antes mesmo de alcançar a superfície.
4. Maior rapidez no início das medidas de contenção, tendo assim combate a proteção do meio ambiente.
5. Menor custo na contenção, pois temos a possibilidade de atuar rapidamente.
6. Redução de danos ambientais, o que sempre desejamos dentro desta área de explotação de petróleo.
7. Ótima relação custo x benefício.

3. DESCRIÇÃO DA SONDA.

Para melhor descrição da sonda relacionam-se abaixo os desenhos que representam de forma ilustrativa e não limitativa.

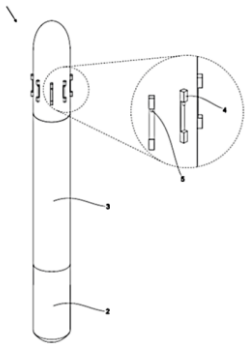


Figura 1. Vista em perspectiva da sonda para monitoramento e indicação de vazamento em tubulações submarinas, com detalhe dos sensores;

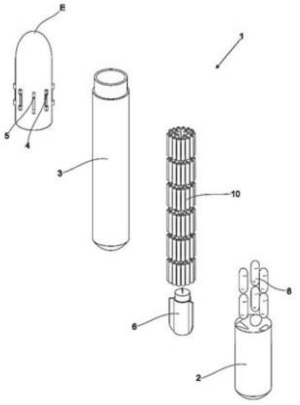


Figura 2. Vista em perspectiva explodida da sonda para monitoramento e indicação de vazamento em tubulações submarinas;

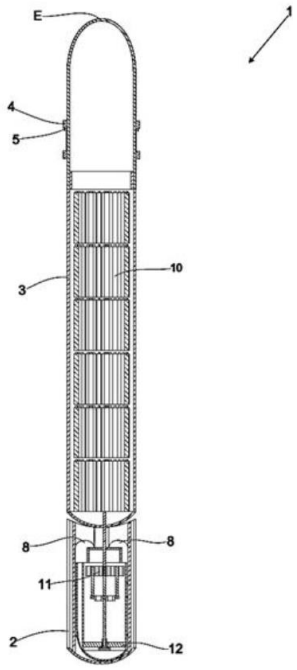


Figura 3. Vista em corte da sonda para monitoramento e indicação de vazamento em tubulações submarinas;

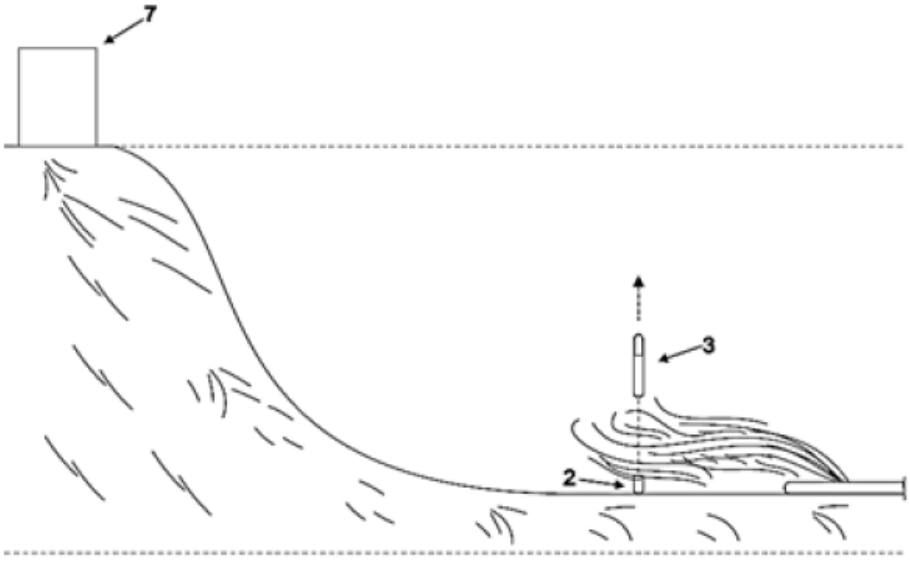


Figura 4. Vista em perspectiva da sonda para monitoramento e indicação de vazamento em tubulações submarinas, mostrando a liberação do flutuador mediante a detecção de um vazamento;

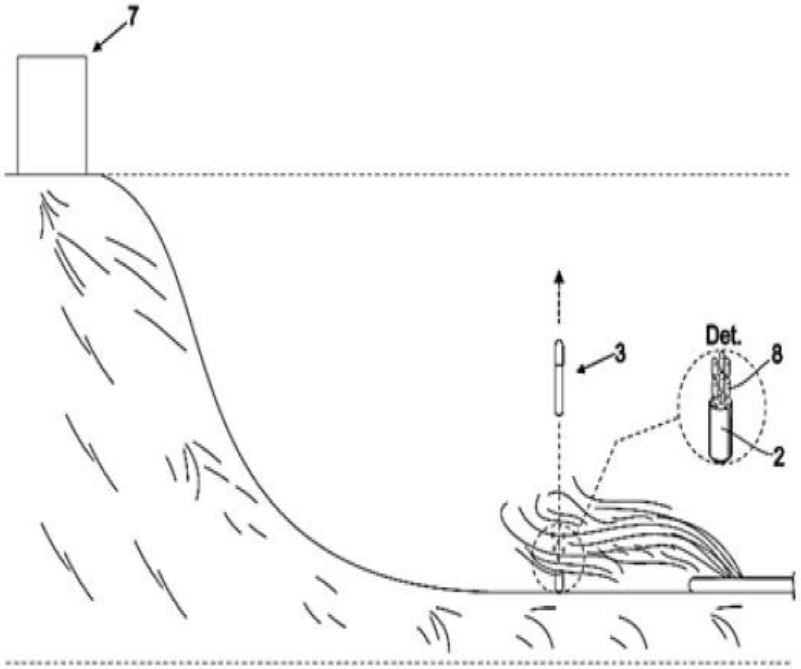


Figura 5. Vista em perspectiva da sonda para monitoramento e indicação de vazamento em tubulações submarinas, mostrando a liberação dos marcadores de mancha da base;

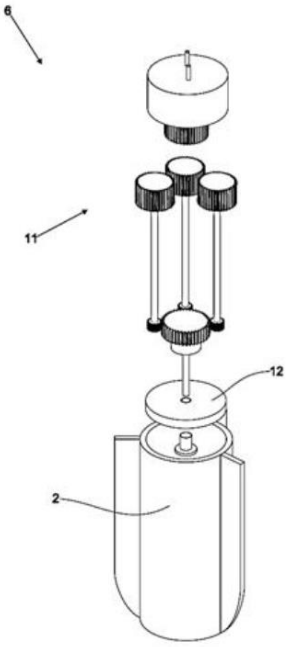


Figura 6. Detalhe em perspectiva explodida do mecanismo de liberação do flutuador da sonda para monitoramento e indicação de vazamento em tubulações submarinas;

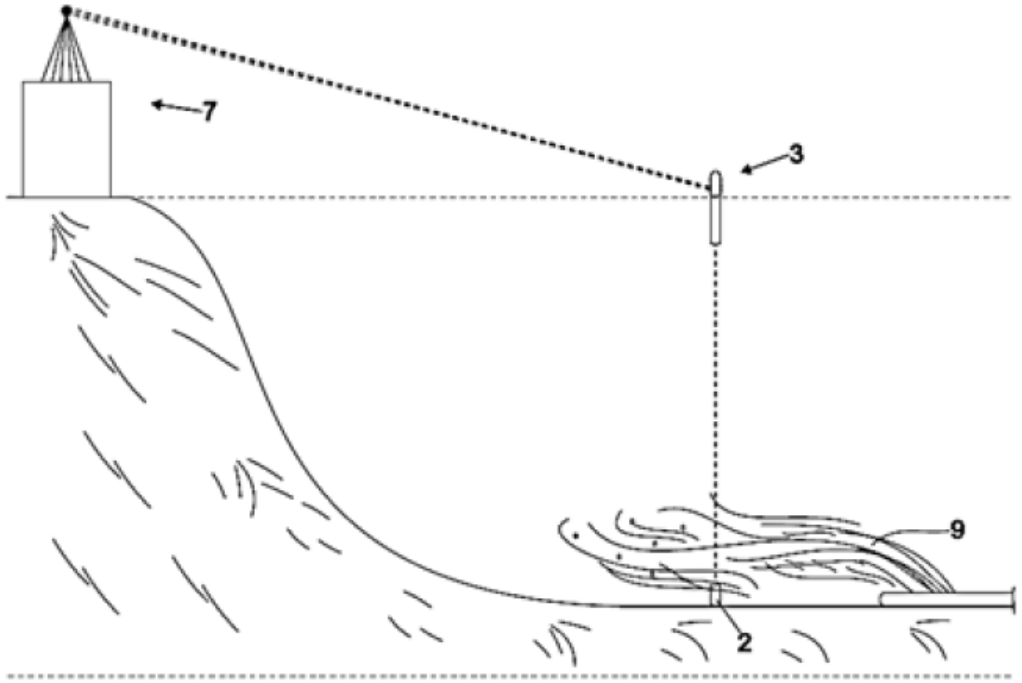
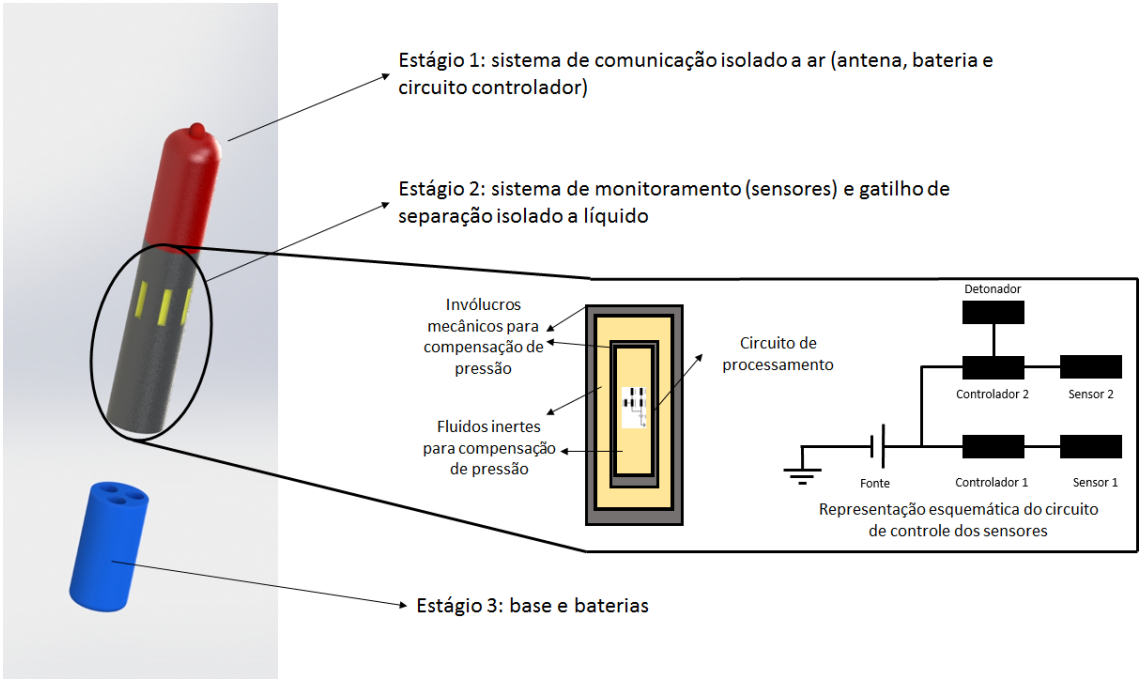


Figura 7. Vista em perspectiva da sonda para monitoramento e indicação de vazamento em tubulações submarinas, mostrando uso em um vazamento



4. CONCLUSÃO.

Em resumo a "Sonda para Monitoramento e Indicação de Vazamento em Tubulações Submarinas" consiste essencialmente de uma sonda formada por uma base devidamente conectada a um flutuador dotado de sensores de densidade da água e sensores de luminosidade, que mediante a presença de petróleo, ou outro elemento contaminante, por meio de um mecanismo ejeta o flutuador que segue em direção à superfície onde emite sinais / localização para uma base de monitoramento, liberando também marcadores que acompanham a mancha de petróleo antes mesmo que venha à tona.

5. AGRADECIMENTOS.

Os autores agradecem aos dirigentes que sempre incentivaram a realização das pesquisas e desenvolvimentos de projetos essenciais a sociedades. Em especial a*SEIP 7 Indústria E Comércio De Máquinas", o IPT e finalmente a USP pelo apoio para darmos o nosso quinhão para uma sociedade mais integrada ao progresso e auxiliar na manutenção do meio ambiente.

SOFTWARE PARA EL CÁLCULO Y COMPARACIÓN DEL EQUIPO DE AMARRE Y FONDEO EXIGIDO EN BUQUES CIVILES Y BUQUES DE GUERRA

Villa Caro, Raúl[1], Carral Couce, Luis Manuel[2], Fraguela Formoso, José Ángel[3]; González Martínez, Antón[4]

[1]Dr. Ing. Naval y Oceánico / Cap. Marina Mercante. Raúl Villa Caro. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. raul.villa@udc.es

[2]Dr. Ing. Naval. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. lcarral@udc.es

[3]Dr. Ing. Naval. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña. España. jafraguela@udc.es

[4]Armada Española. Arsenal Militar de Ferrol. España. anton.gonzalez@udc.es

RESUMEN.

Este artículo presenta la creación de un software que consiste en una aplicación informática para el cálculo del Número de Equipo (EN) y todos los elementos necesarios para el amarre y fondeo, tanto de buques civiles como de buques de guerra. Este programa efectuará el cálculo basándose en las tablas de diferentes sociedades de clasificación (SSCC), tales como American Bureau of Shipping (ABS), Bureau Veritas (BV), Det Norske Veritas (DNV), Germanischer Lloyd (GL), LLoyds Register (LR), y Rusian Maritime Register of Shipping (RMRS). El programa propone una sociedad de armonización "ideal" creada a partir de todas las anteriores y de la IACS (International Association of Classification Societies), creada mediante la selección de los valores de los elementos más exigentes de cada sociedad de clasificación (SC).

El cálculo en el programa informático se realiza introduciendo en unos campos el desplazamiento, manga, altura de la superestructura y área de la superestructura en los casos de buques civiles y de guerra. Existe también un apartado específico para el cálculo de los remolcadores, donde además se añadiría el francobordo.

Con todos los datos incorporados en el programa y pulsando un simple botón, la aplicación nos muestra los elementos (y sus características) de amarre y fondeo exigidos.

El programa también dispone de la opción "COMPARAR" que calcula la cantidad de elementos y sus características comparando las diferentes SSCC. Por último el programa también permite la opción de volcar todos estos datos en una hoja de texto para su fácil manejo e impresión.

Palabras clave: número de equipo; amarre; fondeo, sociedades clasificación

1. INTRODUCCIÓN.

Este trabajo se presenta como continuación y complemento de otro que fue incluido en el pasado congreso de Copinaval 2013, en Venezuela. El artículo de 2013 presentaba un programa informático mediante el cual se disponía de la capacidad suficiente para calcular el "Número de Equipo (Equipment Number)" y con ello los elementos necesarios para el amarre, fondeo y remolque de buques en general y remolcadores en particular.

En esta ocasión, y para este nuevo congreso, el programa se ha mejorado, agilizado y complementado, para que presente un enfoque más sencillo, y sea más fácil interactuar con él. Con este nuevo trabajo podemos calcular mediante un solo programa (en la versión anterior se utilizaban siete programas diferentes) los elementos demandados por diferentes SSCC. Las SSCC elegidas han sido "American Bureau of Shipping (ABS)", "Bureau Veritas (BV)", "Det Norske Veritas (DNV)", "Germanischer Lloyd (GL)", "LLoyds Register (LR)", "Russian Maritime Register of Shipping (RMRS)" y nuestra sociedad de nueva creación denominada "Sociedad de Armonización Global (GHS)".

Esta nueva sociedad de armonización global representa nuestra propuesta de unificación de los elementos demandados por las principales sociedades de clasificación, y está orientada como una ayuda para evitar el exceso o defecto de elementos demandados por algunas sociedades.

2. FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL PROGRAMA

Inicialmente, y para escoger una sociedad u otra para conocer la demanda del número de anclas, peso, etc., se pulsa en el desplegable del margen derecho del programa, justo debajo de las opciones del idioma.



Y aparece un desplegable que presenta esta forma:



Según seleccionemos una sociedad u otra se muestra en el margen el logotipo de la sociedad de clasificación para resaltar la selección.









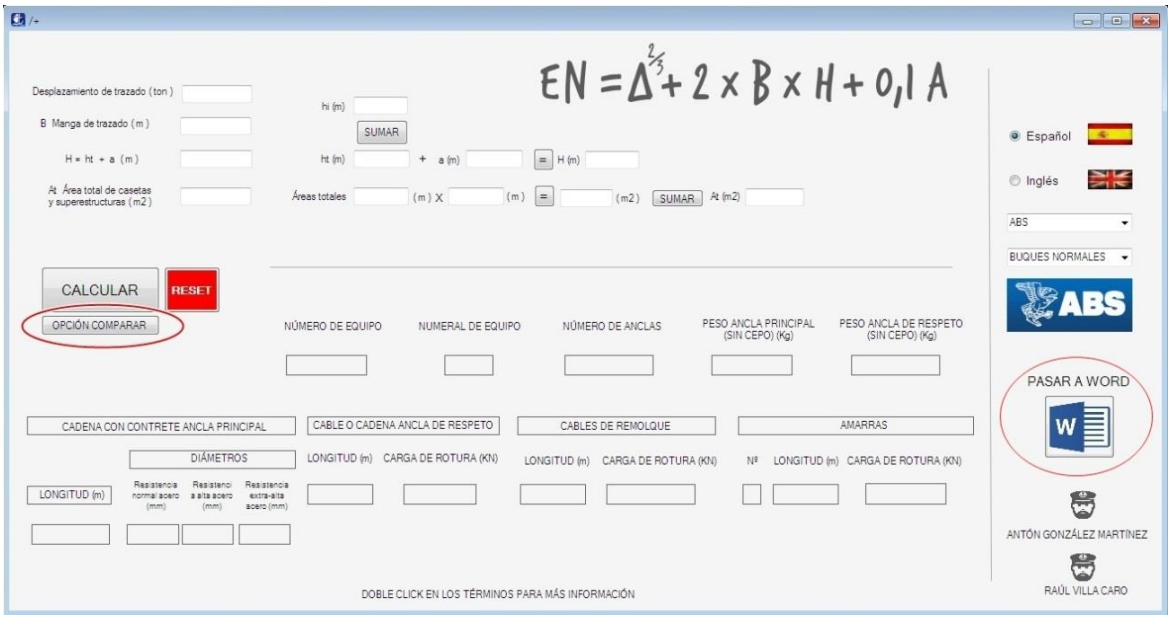






Además, mediante la pulsación de un botón en el programa, se dispone de la opción de enviar todos los datos a un fichero "word" para su impresión y poder comparar todos los resultados de todas las SSCC, incluyendo nuestra sociedad global de armonización, para poder observar las diferencias y similitudes entre ellas.

Para realizar esta operación se dispone de un botón en el margen derecho del programa y para utilizar la "OPCIÓN COMPARAR", otro botón justo debajo del botón principal "CALCULAR ".

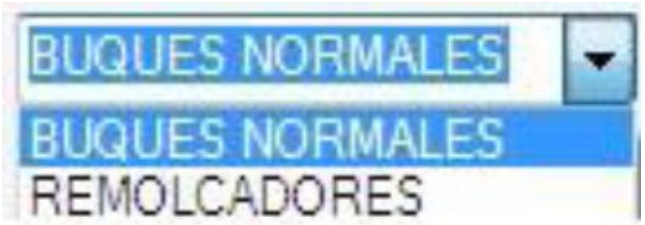


El programa dispone de cuatro variantes principales que son las siguientes. Dos consisten en que el programa se puede utilizar tanto en lengua inglesa, como española; y las otras dos consisten en poder calcular el "Número de Equipo" tanto para buques en general, como para remolcadores, seleccionando una u otra opción en el desplegable al efecto situado debajo del selector de cada SC.

Para el idioma encontramos en el margen derecho del programa este panel:

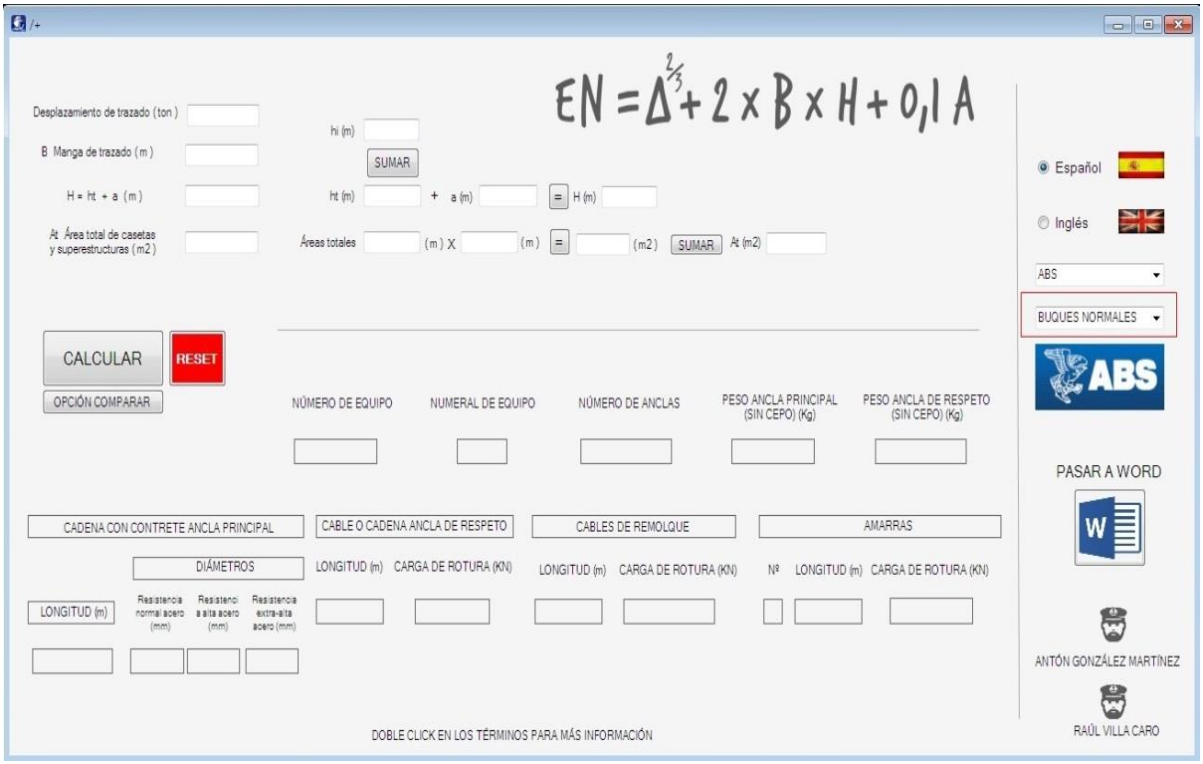


Y para la selección de buques normales o remolcadores se dispone de este otro panel, también en el margen derecho:



3. BUQUES NORMALES , OPCIÓN CALCULAR

Para el cálculo en buques normales se rellenan unos campos, que serán diferentes en la opción para remolcadores.



Los principales campos a cubrir para calcular el número de equipo serán cuatro (están indicados con flechas rojas en las pantallas), y se indican a continuación:

- El **desplazamiento de trazado del buque** ; que como ya se sabe, representa el peso del agua que desplaza la obra viva del buque.
- La **manga de trazado**; que es lo que mide el buque de una banda a otra.

- El campo " **H** " que es el resultado de la suma de " **ht** " y de " **a** ".

" **ht** " representa la altura total suma de la altura de cada superestructura (" hi ") y " **a** " representa el francobordo del buque.

- **Superficie vélica expuesta al viento**. Es decir, el **Área total de casetas y superestructuras del buque** , que es el resultado de la multiplicacion de la manga y altura de las superestructuras de cada cubierta del buque.

Adicionalmente en el programa existen otros campos diferentes de los que podemos auxiliarnos para realizar otros cálculos como sumas y multiplicaciones con respecto a las alturas de las superestructuras y el área que abarcan. Estos campos están indicados con flechas negras. Los resultados obtenidos los envía el programa automáticamente a alguno de los campos principales indicados con flechas rojas.

Uno de estos campos es "**hi"** , espacio donde se introduce la altura de cada superestructura y "**ht"** donde se suman todas las alturas de cada superestructura, obteniendo la altura total de todas estas.

Otros campos son el de "**a"**, en el que se introduce el francobordo del buque y el de "**H"** indicado con flecha negra, mediante el que se obtiene el resultado final de la suma de "**a"** y "**h",** que se envia al campo principal "**H",** indicado con una flecha roja, campo principal.

Por otro lado y debajo de estos campos se encuentra el espacio para calcular el **área total de la superestructura,** con dos campos para calcular la multiplicacion y área final, mediante la introducción de la altura y manga de cada superestructura. El resultado se refleja en " At " , indicado con una flecha negra y que a su vez envía el resultado a "Área total de casetas y superestructuras del buque", indicado con una flecha roja, que es el campo principal para calcular el número de equipo.

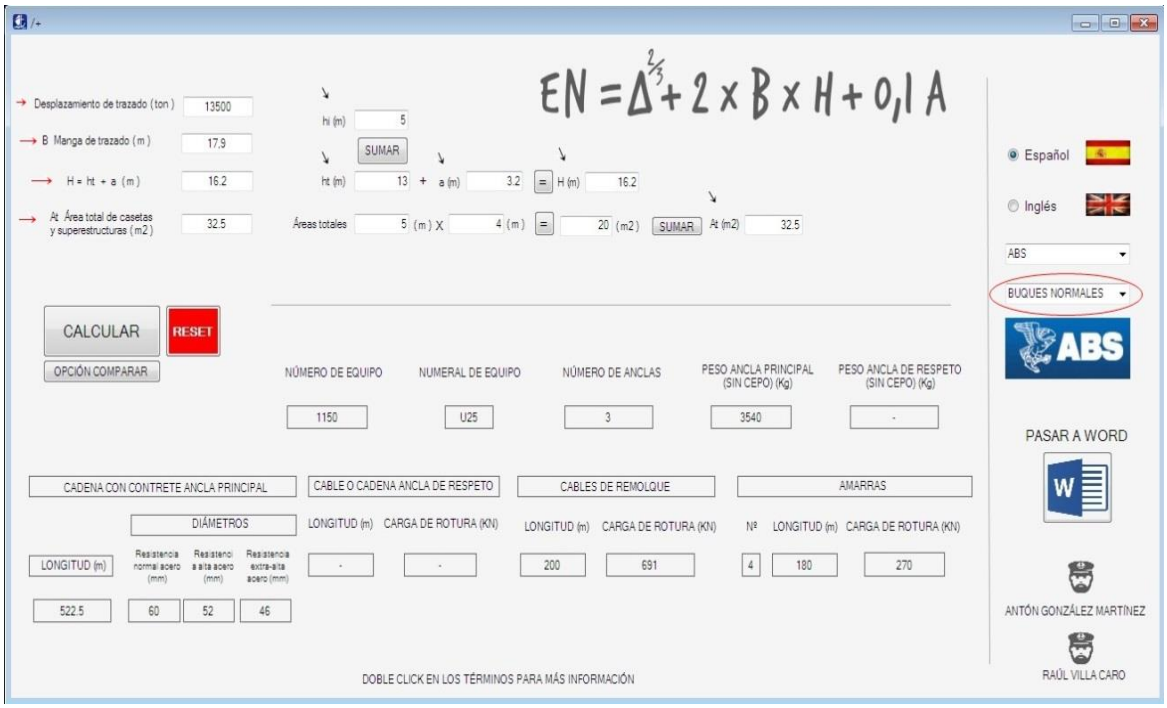
De esta forma, completando únicamente todos los campos principales, y tras pulsar el botón "**CALCULAR",** en la opción español, o "**CALCULATE"** en la opción inglés, el programa nos calcula el número de equipo y todas las características de un buque respecto al amarre, fondeo y remolque. Los campos secundarios sólo nos auxilian para realizar cálculos de ayuda; multiplicaciones y sumas.

Los resultados mostrados por el programa son en español:

Número de equipo, Numeral de Equipo, Número de anclas, Peso ancla principal (sin cepo), Peso ancla de respeto (sin cepo); CADENA CON CONTRETE: Longitud (m), Diámetros, Resistencia normal acero, Resistencia alta acero, Resistencia extra-alta acero ; CABLE O CADENA ANCLA DE RESPETO: Longitud, Carga de rotura; CABLES DE REMOLQUE: Longitud, Carga de rotura; y AMARRAS: Número, Longitud, Carga de rotura.

Y en inglés:

Equipment number, Number of anchors, Mass of stockless bower anchor, Mass of stockless stream anchor; Chain cable stud link bower anchor: Length, Diameters, Normal strength steel, High strength steel, Extra-high strength steel; Stream wire or chain: Length, Breaking strength; Towline wire or rope: Length, Breaking strength; Hawsers: Number, Length, Breaking strength.

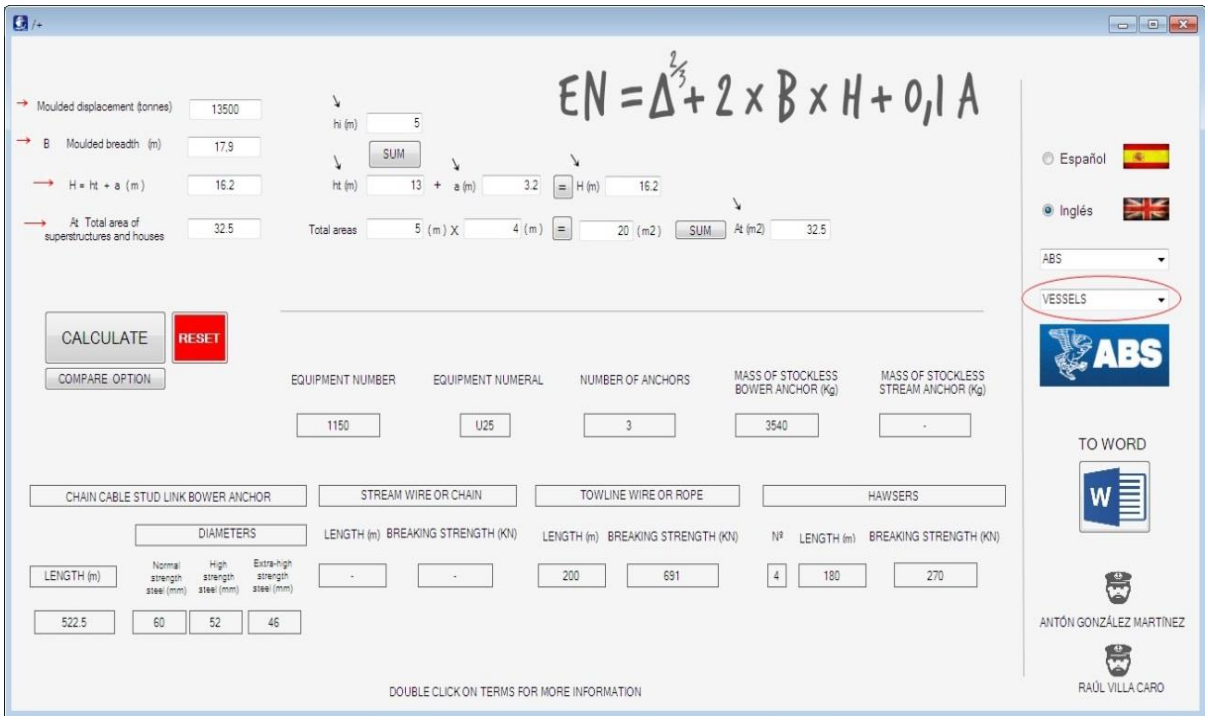


4. REMOLCADORES, OPCIÓN CALCULAR

Los principales campos a cubrir para calcular el número de equipo en remolcadores son cinco, y están indicados con flecha roja en las capturas del programa siguientes.

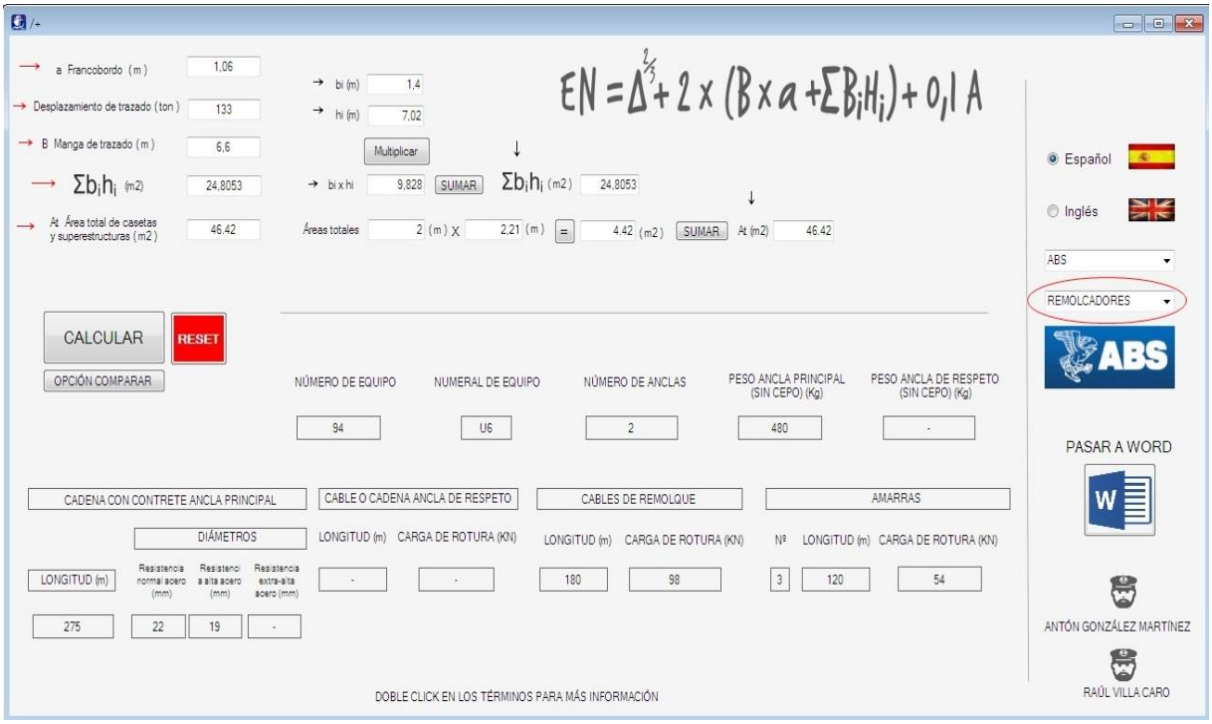
Algunos de los campos que se tienen que cubrir son los mismos que en la opción de buques normales, tales como el desplazamiento de trazado, la manga, y el área total de las superficies de las superestructuras.

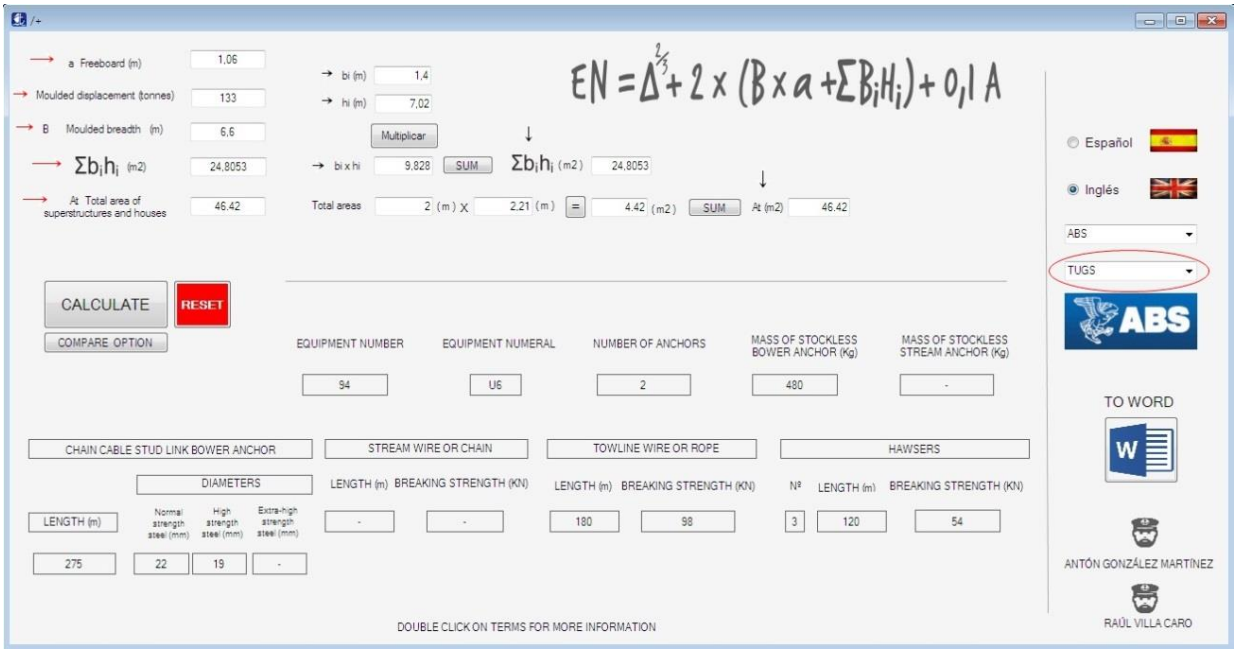
Adicionalmente se deberá cubrir el campo donde se introduce el **francobordo** del remolcador y otro, $\sum \boldsymbol{b_i h_i}$, que representa la suma total del producto de la manga y altura de cada superestructura.



El área total de las superficies de las superestructuras será la suma de $\sum \boldsymbol{b_i h_i}$ (manga x altura de cada superestructura) y del área que representa el francobordo.

Y al igual que en la opción para buques normales se dispondrá de una zona anexa de campos para hacer cálculos de sumas y multiplicaciones, indicados con flecha negra.





5. BUQUES NORMALES Y REMOLCADORES, OPCIÓN COMPARAR

Una vez cubiertos los campos principales para buques normales y para remolcadores y pulsando el botón de la "**OPCIÓN COMPARAR"** cuando tengamos el programa en español, o el botón "**COMPARATE OPTION"** cuando lo tengamos en inglés, obtendremos la comparación.



Ella se obtendrá mediante la apertura de una ventana emergente que indicará los elementos que exige cada SC. Por lo tanto, con el programa en español y pulsando el botón "OPCIÓN COMPARAR", obtendríamos:

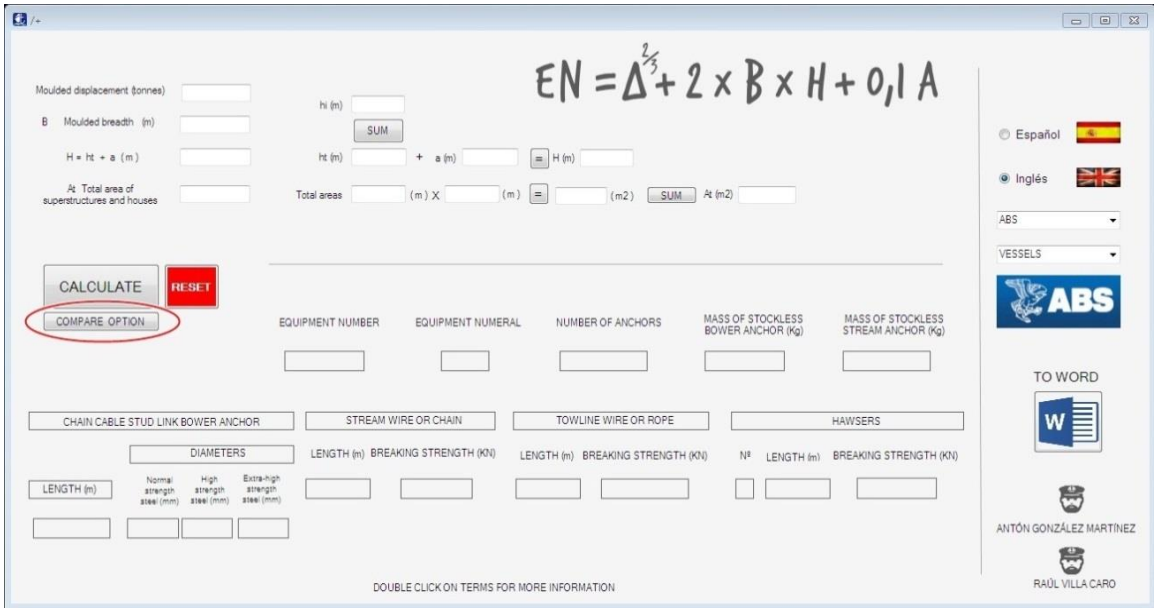


CADENA CON CONTRETE ANCLA PRINCIPAL

	NÚMERO DE EQUIPO	NUMERAL DE EQUIPO	NUMERO DE ANCLAS	PESO ANCLA PRINCIPAL (SIN CEPO) (Kg)	PESO ANCLA DE RESPETO (SIN CEPO) (Kg)	LONGITUD (m)	DIÁMETROS Resistencia normal acero (mm)	Resistencia alta acero (mm)	Resistencia extra-alta acero (mm)
ABS	1150	U25	3	3540	-	522.5	60	52	46
BV	1150		3	3540	-	522.5	60	52	46
DNV	1150	y	2	3540	-	522.5	60	52	46
GL	1150		3	3540	-	522.5	60	52	46
LR	1150	Y	2	3540	-	522.5	60	52	46
RMRS	1150		3	3540	-	522.5	60	52	46
GHS	1150	U25	3	3540	-	522.5	60	52	46

	CABLE O CADENA ANCLA DE RESPETO LONGITUD (m)	CARGA DE ROTURA (KN)	CABLES DE REMOLQUE LONGITUD (m)	CARGA DE ROTURA (KN)	Nº	AMARRAS LONGITUD (m)	CARGA DE ROTURA (KN)
ABS	-	-	200	691	4	180	270
BV	-	-	200	692	4	180	270
DNV	-	-	200	691	4	180	270
GL	-	-	200	690	4	180	270
LR	-	-	200	691	4	180	270
RMRS	-	-	200	690	4	180	270
GHS	-	-	200	692	4	180	270

En inglés:



Y pulsando “COMPARATE OPTION”:



CHAIN CABLE STUD LINK BOWER ANCHOR

	EQUIPMENT NUMBER	EQUIPMENT NUMERAL	NUMBER OF ANCHORS	MASS OF STOCKLESS BOWER ANCHOR (Kg)	MASS OF STOCKLESS STREAM ANCHOR (Kg)	LENGTH (m)	DIAMETERS Normal strength steel (mm)	High strength steel (mm)	Extra-high strength steel (mm)
ABS	1150	U25	3	3540	-	522.5	60	52	46
BV	1150		3	3540	-	522.5	60	52	46
DNV	1150	y	2	3540	-	522.5	60	52	46
GL	1150		3	3540	-	522.5	60	52	46
LR	1150	Y	2	3540	-	522.5	60	52	46
RMRS	1150		3	3540	-	522.5	60	52	46
GHS	1150	U25	3	3540	-	522.5	60	52	46

	STREAM WIRE OR CHAIN		TOWLINE WIRE OR ROPE		HAWSERS		
	LENGTH (m)	BREAKING STRENGTH (KN)	LENGTH (m)	BREAKING STRENGTH (KN)	Nº	LENGTH (m)	BREAKING STRENGTH (KN)
ABS	-	-	200	691	4	180	270
BV	-	-	200	692	4	180	270
DNV	-	-	200	691	4	180	270
GL	-	-	200	690	4	180	270
LR	-	-	200	691	4	180	270
RMRS	-	-	200	690	4	180	270
GHS	-	-	200	692	4	180	270

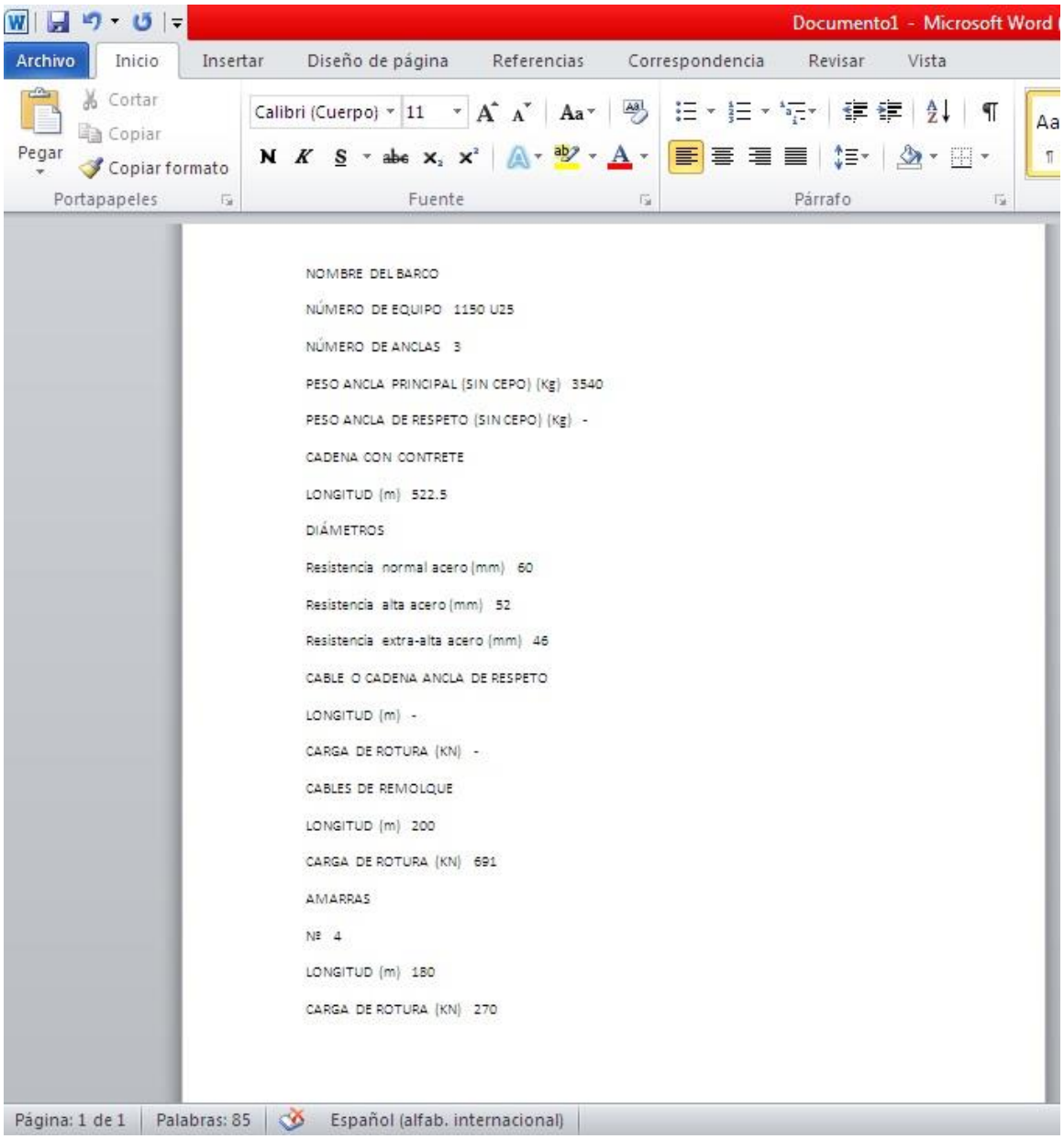
Destacar que a pesar de que los buques de guerra están exentos de tener que cumplir los reglamentos de las Sociedades de Clasificación, en los últimos años, bajo la tutela del “Naval Ship Code”, las SSCC han creado reglamentos específicos para buques de Guerra, que se reconocen rápidamente porque incorporan el apellido “Naval Rules” en su nombre.

El análisis de los resultados del cálculo del equipo de amarre, teniendo en cuenta los parámetros de cinco Sociedades de Clasificación, arroja la conclusión de que todas aportan valores similares, con la excepción de Bureau Veritas, que es menos restrictiva. Al hacer la misma comparativa en un buque de guerra de porte similar, y esta vez teniendo en cuenta los reglamentos para buques de guerra de esas mismas Sociedades de Clasificación, se comprueba cómo es ahora la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas la más demandante en lo referente a número de estachas y a carga mínima de rotura exigidas.

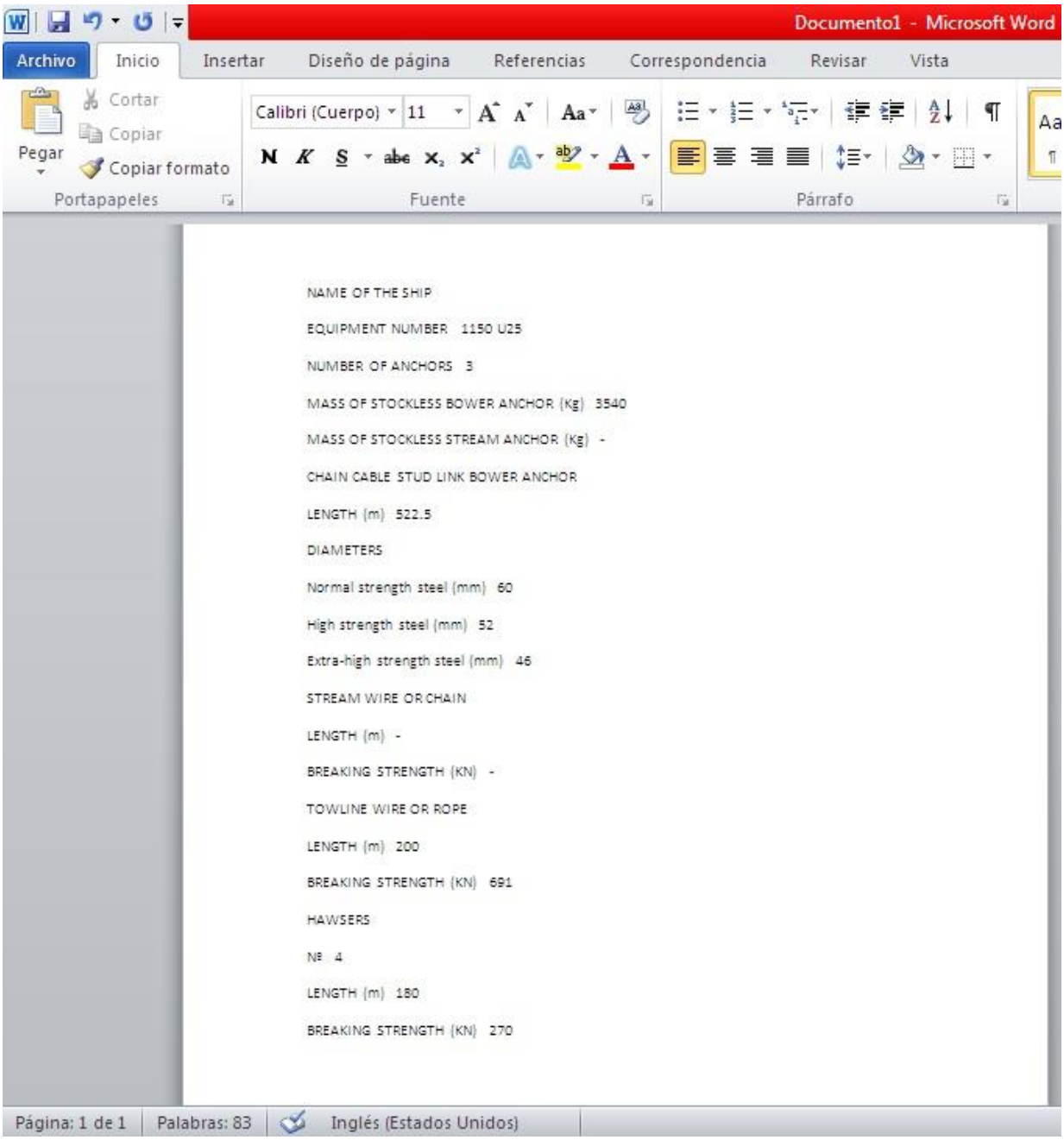
6. BUQUES NORMALES Y REMOLCADORES, OPCIÓN ENVIAR A WORD

Pul sando el botón "PASAR A WORD" cuando el programa está en castellano o " TO WORD " cuando está en inglés, podemos imprimir todos los datos que nos muestra el programa después de pulsar el botón "CALCULAR" o "CALCULATE", respectivamente.

De esta forma todas las características de los elementos que nos exige la SC que hayamos elegido pueden quedar reflejadas en un "word". Pulsando la opción "PASAR A WORD", se abre un archivo de este tipo:



Y pulsando “TO WORD“ exactamente lo mismo pero con los datos reflejados en inglés:



7. CONCLUSIONES.

Se ha desarrollado una herramienta con la cual, mediante un sólo programa, se realiza el cálculo inmediato del número de equipo de buques y remolcadores y con el que se calculan todos los elementos necesarios para el amarre, fondeo y remolque, utilizando hasta seis Sociedades de Clasificación diferentes, a la que se añade la creación de la nueva sociedad global de armonización.

Para realizar la comparativa con buques de guerra se realizaría el mismo procedimiento, pero incluyendo las tablas de los reglamentos navales (naval rules), que son más exigentes que las que se utilizan en los buques civiles.

Mediante la "opción comparar" del programa se puede reflejar una comparativa entre la SC seleccionada y el resto, destacando siempre los resultados de la opción de armonización como los más viables.

Este programa puede ayudar a agilizar y facilitar operaciones relacionadas con la operatividad del buque en puerto, y en la mar, durante el fondeo. Esto se puede lograr gracias a la rapidez en el cálculo, la disponibilidad inmediata de datos, y las comparativas entre diferentes tipos de exigencia de las diferentes SSCC.

Para finalizar destacar que se trata de una herramienta sencilla e intuitiva que recoge en varios idiomas casi todas las opciones necesarias para cálculos relacionados con el amarre y fondeo.

8. BIBLIOGRAFÍA.

[1] Villa Caro, R., Carral, L., Fraguela , J., & González, A. (2013). Estudio comparativo de las sociedades de clasificación en el cálculo del número de equipo de un buque. XXIII Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Ingeniería Portuaria (págs. 1267-1285). Isla Margarita: IPIN. ISBN: 978-980-7629-00-3.

[2] VVAA, Capítulos referentes a la "Sección de Equipo" de las siguientes SSCC:

- American Bureau of Shipping (ABS).

- LLoyds Register (LR).
- Bureau Veritas (BV).
- Det Norske Veritas (DNV).
- Germanischer Lloyd (GL).
- Rusian Maritime Register of Shipping (RMRS).

TRANSFORMACIÓN DE SISTEMA PROPULSIVO TRADICIONAL EN AZIMUTAL

Philippi, E.[1]; Freiria, J.[2]

[1]Kios S.A.

[2]Arquitectura Naval Asociados

RESUMEN.

El sistema de remolque en puertos e instalaciones portuarias costa afuera (offshore), a pesar de que los buques introducen mejoras permanentes en sus sistemas de propulsión y maniobrabilidad aplicando nuevas tecnologías (hélices de paso controlable, empujadores de proa), se mantiene como un elemento indispensable dentro de la operativa marítima.

La tendencia a operar buques cada vez más grandes (Panamax, Post Panamax), con sus respectivos problemas en los puertos a causa de sus grandes calados y dimensiones, los requerimientos de mantener constantes las condiciones operativas en cualquier condición climática, suponen la necesidad de contar con un servicio de remolque disponible para sortear todos los obstáculos que se presenten.

Este es el principal motivo por el cual, en forma ininterrumpida, la construcción de remolcadores incorpora nuevas tecnologías en lo que refiere a propulsión fundamentalmente, pero también introduciendo cambios en la capacidad de maniobrabilidad y seguridad.

El sistema de propulsión azimutal a popa sustituye el tradicional con hélice y timón - tobera, con mejoras sensibles en la propulsión propiamente dicha, pero sobre todo en la maniobrabilidad, transformando estas unidades en buques multipropósito, sirviendo como remolcadores escolta con la colocación del gancho de remolque a proa, pero manteniendo la capacidad de tiro por popa o el empuje con la proa.

En el caso de la transformación de buques con sistemas tradicionales, las formas de la popa y la estructura resistente deben ser modificadas para poder albergar el nuevo sistema propulsor y soportar los esfuerzos generados por el nuevo dispositivo.

Las ventajas de estos sistemas de propulsión son su aumento en la capacidad de maniobra para la misma capacidad de tiro, mantenimiento prácticamente invariable de los calados a popa, mejora en el comportamiento con marcha atrás, y la posibilidad de trabajar con tiro indirecto.

Estos elementos definieron que la empresa Kios S.A. impulsara la transformación del buque M/V Gaucho mediante el cambio de su sistema de propulsión a un sistema azimutal. El presente trabajo muestra de forma resumida las etapas de dicha transformación, desde la definición técnica de la viabilidad del proyecto hasta la puesta en práctica, instalación y pruebas de mar correspondientes.

1. INTRODUCCIÓN.

Actualmente el remolque portuario continúa siendo un componente fundamental de la infraestructura portuaria, estando en su mayoría compuesto por buques de dos propulsores. Los remolcadores con propulsión convencional son los de concepción más antigua en la actividad.

Tienen una capacidad de maniobra limitada y su utilización requiere una atención constante en las situaciones que puedan comprometer su estabilidad. Están diseñados con su punto de tracción en un gancho ubicado en popa a una distancia delante de los propulsores, lo que permite el gobierno del buque durante la operación de remolque. Su fuerza de tracción adelante es bastante superior a la tracción atrás, lo que disminuye su capacidad de operación mediante el tipo por proa.

La tendencia mundial del comercio de utilizar buques cada vez más grandes, con sus respectivos problemas a causa de sus grandes calados y esloras y la necesidad de mantener sus programaciones de escalas a pesar de las condiciones climáticas han supuesto la necesidad de ofrecer servicios cada vez más ágiles y versátiles para los cuales los sistemas tradicionales tienen severas limitaciones.

En la búsqueda de nuevos y mejores metodologías aparece el concepto del sistema azimutal. Éste hace referencia a un sistema de propulsión marina cuya configuración se basa en que las hélices están situadas en soportes o góndolas que les permiten rotar 360º sobre un eje vertical, haciendo innecesario el uso de timón.

El principio de los remolcadores azimutales es la sustitución de la hélice con un eje fijo, que produce una fuerza siempre en la dirección longitudinal, por un propulsor que puede mudar el sentido de la corriente de descarga dirigiendo su fuerza en cualquier punto del azimut de la embarcación.

Esta característica le permite controlar su aproximación con la proa o la popa a un buque navegando, evitando los riesgos de la interacción y la posibilidad de trabajar adelante o atrás, manteniendo la misma fuerza de tracción. También operar en el costado del buque, empujando y tirando en forma mucho más eficaz que un remolcador convencional.

Los propulsores están ubicados en popa reduciendo el riesgo de que sean alcanzados en una colisión o encalle, permitiendo además que el calado sea menor que en un tractor.

Trabajan con retenida en proa de forma de aprovechar en su plenitud las cualidades de gobierno que le otorga la distancia entre el punto de trabajo y la posición donde están ubicados los propulsores azimutales.

Se puede indicar como desventaja que cuando se opera en esta disposición el remolcador debe navegar de popa, situación en la cual se reduce la estabilidad direccional.

2. ASPECTOS CONCEPTUALES PARA LA TRANSFORMACIÓN.

El remolcador M/V Gaucho posee la capacidad de operar por popa, con un gancho de remolque o un guinche de remolque.

Luego de la transformación al mantenerse la distancia original entre los nuevos propulsores y el punto de trabajo, debe mantener las características positivas de su diseño original, y a la vez agregar las ventajas del nuevo sistema.

Para llegar a la instancia de la instalación de los propulsores azimutales, deberán tenerse en cuenta ciertas pautas que marcan su funcionamiento.

Como primera medida, el flujo que deben manejar los nuevos propulsores ya no vendrán direccionados por el sentido longitudinal de acción, dado que éstos pueden trabajar en cualquier ángulo entre 0 y 360º.

La estructura del quillote, a la vez elemento estructural y auxiliar en la orientación del flujo en el sistema original, genera un bloqueo a partir de algún ángulo de trabajo, por lo cual hará perder eficiencia al sistema.

Por esta razón, una porción del mismo debe ser sacrificado, sin generar tensiones críticas para las condiciones de operación. A los efectos de su evaluación estructural, deberán realizarse amplios estudios de resistencia que deben incluir el cálculo de tensiones sobre la chapa y la estructura resistente local, pero además la verificación de que las secciones modificadas mantendrán un módulo resistente de sección que resistan los momentos flectores en la nueva condición.

Otro elemento que debe ser considerado es la instalación de una bita de arrastre (bitón) sobre el castillo de proa, y cómo afectará la posición de éste en la estabilidad transversal, aspecto que puede definir la capacidad del buque para dicha maniobra.

La condición de operación por la amura de proa genera un momento de escora que afectará la estabilidad transversal, la cual no podrá ser disminuida más allá de los límites establecidos por las normas de la Organización Marítima Internacional, adoptadas por las Sociedades de Clasificación y la Autoridad Marítima.

3. METODOLOGÍA.

3.1. Antecedentes.

El remolcador M/V Gaucho, propiedad de Kios S.A. es un remolcador portuario y oceánico, construido en los Astilleros SANYM, República Argentina en el año 1985.

Este buque posee la capacidad de operar por popa, con un gancho de remolque o un guinche de remolque. Sus principales características son las siguientes:

Dimensiones Principales	
Eslora entre Perpendiculares	33,45 m
Manga de Trazado	9,80 m
Puntal de Trazado	6,3 m
Tonelaje de Registro Bruto	497.0 ton
Tonelaje de Registro Neto	149.0 ton
Planta Propulsora	

Motores Principales	
Cantidad	2
Marca	MWM
Modelo	TBD 441 V12
Tipo	4 tiempos
Numero de cilindros	12
Potencia	2000 HP c/u
RPM maximas	900
Hélices	
Cantidad	2
Tipo	paso controlable
Diametro	2400 mm
Cantidad de palas	4
Entoberadas	Si
Empujador de Proa	
Cantidad	1
Potencia	200 HP
Tiro (Bollard Pull)	
Avante	50 T

La tarea de evaluación y posterior modificación del remolcador M/V Gaucho presentó como principal desafío de ingeniería la de diseñar una transformación mayor en un remolcador con 25 años de antigüedad, originalmente concebido y construido con propulsión convencional.

Los principales temas por su complejidad estaban definidos por la disposición y dimensionamiento de los espacios interiores, la optimización de los elementos de cubierta para la forma de trabajo por proa, y la estabilidad.

El mismo nivel de resolución supuso la logística y organización de una interacción eficaz y eficiente de variados actores de la Industria Naval Nacional, como ser el Varadero “Dinvert”, el Dique Mauá de la Armada Nacional, las firmas Alianza, Tecnimar y Arquitectura Naval Asociados, todo lo cual se realizó bajo la dirección y supervisión del Departamento Técnico de Kios S.A

3.2. Estudio de factibilidad.

Como fue mencionado en párrafos anteriores, la permanente evolución del transporte maritimo, el aumento de las dimensiones de los buques que operan en nuestros puertos y los requerimientos de la Autoridad Marítima han llevado a las necesidad de seguir tranformando o renovando la flota de Remolcadores.

Este requerimiento se transforma en una necesidad y en una oportunidad para la empresa, que visualiza en el M/V Gaucho las potencialidades para cumplir con un mejor y más adecuado desempeño.

El proyecto comienza con una evaluación técnica completa y prestaciones del Remolcador M/V Gaucho, lo que condujo a la elaboración de las especificaciónes técnicas. Éstas fueron desarrolladas a través de un complejo proceso liderado por el Gerente del Departamento Técnico de la Empresa Kios S.A., donde participaron actores relevantes, entre los que podemos destacar los responsables de los propios remolcadores, prácticos de puerto, firmas que proveen equipos azimutales, la empresa responsable por la clasificación del buque, Lloyd´s Register of Shipping, la Autoridad Maritima y el Estudio Arquitectura Naval Asociados, además de una profunda investigación del mercado local.

Las especificaciones técnicas condensaron toda la información relevante que describe la transformación prevista, cubriendo una variedad de consideraciones de diseño tales como función, materiales, apariencia, efecto ambiental, vida útil del remolcador, confiabilidad, seguridad, intercambiabilidad de repuestos con otros remolcadores de la flota, normalización de repuestos, mantenimiento y servicio, requisitos de inversión, junto con las restricciones que debe cumplir el diseño.

Una vez definidas las especificaciones técnicas, se presentaron varias soluciones alternativas para la efectiva ejecución del proyecto. En este punto se terminó priorizando que el proceso de fabricación, los requerimientos de materiales y las instalaciones pudieran ser desarrollados a nivel local.

3.3. Evaluación del Anteproyecto.

Esto implico el modelado del proyecto y su desempeño teórico. Se realizó un modelo de ordenador por parte de la Empresas Rolls-Royce y Empresa Navitecnica. El resultado de este

modelo fue evualdo por el Departamento Técnico de Kios S.A. junto a Arquitectura Naval Asociados. De estos modelos resulto la selección de la idea más apropiada y su desarrollo a través de su optimización.

Se estudió entre otros puntos:

La maniobrabilidad estimada resultante. La simulación determina un aumento importante de la maniobrabilidad del buque.

Angulo actual de salida de los motores propulsores (-2°), longitud de los ejes propulsores, cantidad de cojinetes y cardanes necesarios. Debido a que se decide no mover los motores propulsores se determina la necesidad de utilizar tres cardanes.

La forma original de la popa del buque y las necesidades de flujo de agua de un sistema azimutal. Para que el flujo de agua sea el adecuado se debe modificar el espejo y el quillote.

La resistencia estructural necesaria comparada con la actual. Una intervención estructural de esta naturaleza, donde no sólo se modifican las formas del buque en la zona afectada, sino que se incluyen pesos importantes concentrados en zonas sensibles, hace necesaria una verificación de las condiciones de resistencia mecánica.

Exhaustiva inspección estructural, toma de espesores e inspección visual para determinar el estado actual del buque.

Cálculo estructural de la modificación del casco y sistema propulsor. En dicho estudio se concluye que las tensiones resultantes en la transformación están por debajo de las tensiones admisibles, sin considerar incluso algunos elementos que trabajan para mejorar la estructura.

Análisis de la estrucura necesaria para soportar los esfuerzos las maquinas de los azimutales, intentando mantener el máximo de la estructura actual.

Estudio de la estabilidad resultante aplicándole el concepto de trabajo con retenida a través del bitón o towing por proa.

Evaluación del lugar físico para la instalación de los nuevos equipos. Se determina que realizando modificaciones en la disposición de tanques y local del servo hay espacio para los nuevos equipos.

Evaluación de la autonomía resultante de la disminución de capacidad de agua dulce y combustible.

3.4. Diseño detallado.

Una vez completada la etapa de Anteproyecto y su evaluación favorable confirmando su viabilidad, se comenzaron a determinar otros detalles, iniciando así la etapa de Diseño, incluyendo especificaciones tales como el equipo a utilizar, dimensiones, materiales, tolerancias y formas, proceso de transformación, esquema de producción, programación y tiempo estimado fuera de servicio del remolcador.

Se decidió adquirir el siguiente equipo propulsor, siendo sus principales características:

Marca	Rolls-Royce
Modelo	Azimuth Thrusters Type US 205/P18 FP
Máxima potencia en el eje de entrada	1,480 kW
Velocidad nominal del motor principal	900 rpm
Relación de reducción	3.239 : 1
Tipo de hélice	Monoblock, fixed pitch propeller
Material de la hélice	CuNiAl-Bronze
Diámetro hélice / Numero de palas	2,200 mm / 4
Rotaciones máximas de la hélice	~ 278 rpm

3.5. Planificación.

Para llevar a cabo este proceso se utilizo el programa Microsoft Proyect Manager el cual colaboro de manera eficiente y eficaz en el desarrollo de las tareas, su interrelación, los recursos necesarios y el control de gastos.

La Empresa Kios S.A. estableció como política que la transformación se debía realizar en la medida de lo posible con los recursos de su Departamento Técnico, siendo éste el que está a cargo habitualmente de los mantenimientos, reparaciones y transformaciones de la flota.

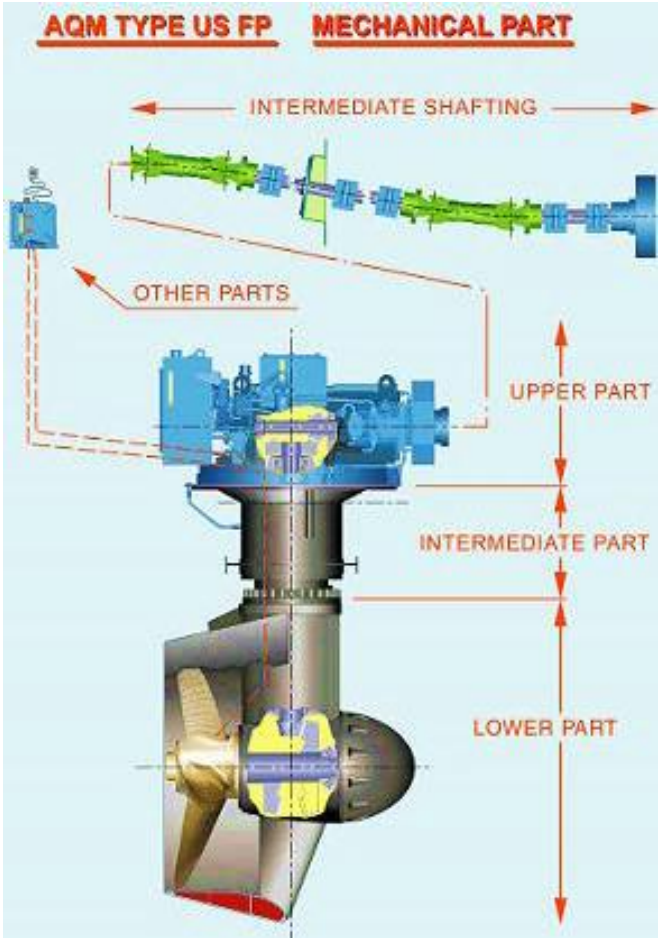


Fig. 1 - Arreglo del equipo propulsor azimutal

Los parámetros principales que se tomaron en cuenta para realizar la programación fueron: optimizar el tiempo del buque fuera de servicio, determinar cuales tareas se podían realizar a flote y cuales no, la disponibilidad de dique para realizar las tareas de obra viva (tiempo prolongado de estadía y capacidades técnicas), el flujo de caja y la disponibilidad de mano de obra calificada para cada tarea de la Empresa Kios S.A.

Al mismo tiempo que se desarrollaba la programación se realizó la elaboración de la ingeniería de detalle de la obra, utilizando programas de diseño gráfico como Autocad, Autodesk inventor y Freeship. Asi mismo se desarrollaron los procedimientos de soldadura para cada uno de los pasos de la obra. La Ingeniería de Detalle fue realizada en colaboración entre Kios S.A y Arquitectura Naval Asociados.

4. PROCESO DE EJECUCIÓN DE LA OBRA.

La primera fase de ejecución de la obra consistió en la desconexión de los siguientes elementos a flote: cajas reductoras y de paso controlable, máquina del timón, cables, cañerías, aislación en las zonas requeridas para efectuar las tareas.

La segunda fase también se realizó con el buque a flote, consistiendo en el retiro de combustible y desgasificación de los tanques a ser modificados, debido a que el arreglo general en la zona entre el traves y popa sufrirá una transformación sustancial para poder dar cabida a los propulsores azimutales y los nuevos ejes propulsores.

Se determinaron asimismo los refuerzos estructurales que se deberían instalar mientras se realizan los desguaces para evitar deformaciones o fisuras.

Con el fin de visualizar los cambios necesarios se muestra a continuación el arreglo general original y el propuesto de la zona de la popa del remolcador M/V Gaucho.La estadía se realizó en el Dique Maúa, instalación de la Armada Nacional, el cual fue seleccionado por sus prestaciones técnicas en el Área de Calderería y Ajuste, la disponibilidad de espacio para una estadía prolongada, y un presupuesto ajustado.

Durante la estadía en dique se verificó un alto grado de complementación entre el trabajo metalúrgico del dique y nuestras especificaciones básicas y de detalle, permitiéndosenos en todo momento participar en los procesos de planificación de tareas, formando así un único equipo con un objetivo bien definido.

A lo largo de la estadía se fueron ejecutando las siguientes tareas:

Retiro de timones, toberas, hélices, ejes, tubos de bocina, arbotantes, máquina de los timones, cajas reductoras, mecanismo de control del paso, elementos de cubierta en zona de popa.

De acuerdo al estudio de flujo de agua y el sistema propulsivo se determinó cortar el quillote y reformar el espejo de popa (Fig. 6 a Fig.).

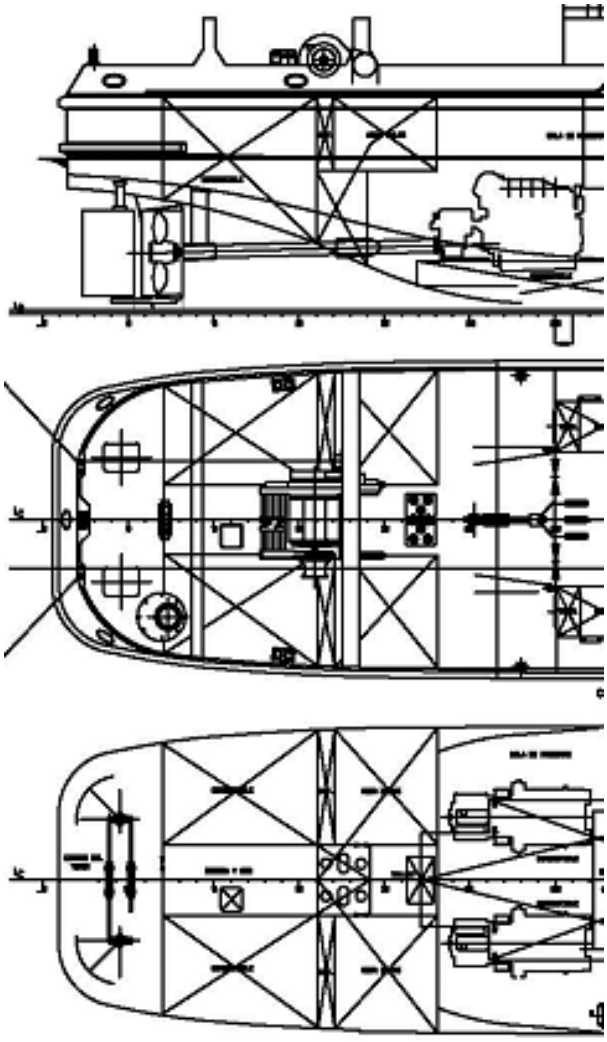


Fig. 2 - Arreglo general original

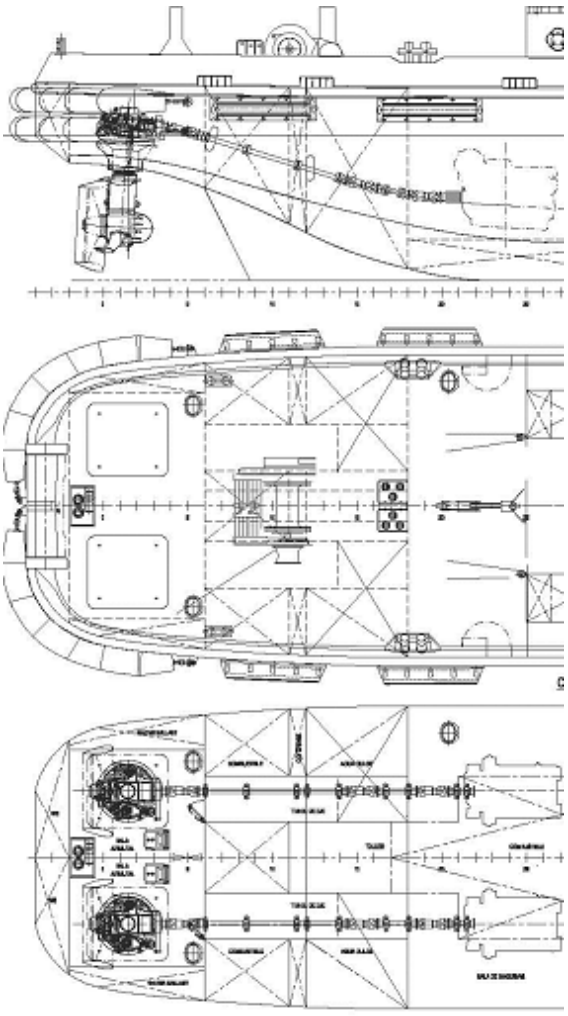


Fig. 3 - Arreglo general modificado



Fig. 4 - Sección original de popa

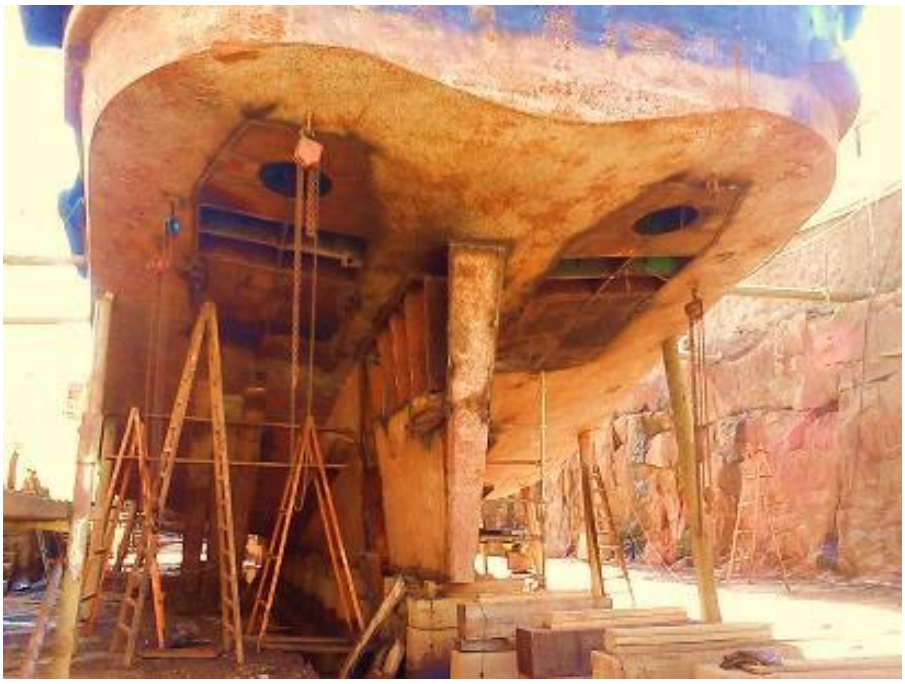


Fig. 5 - Desguace de la sección de popa

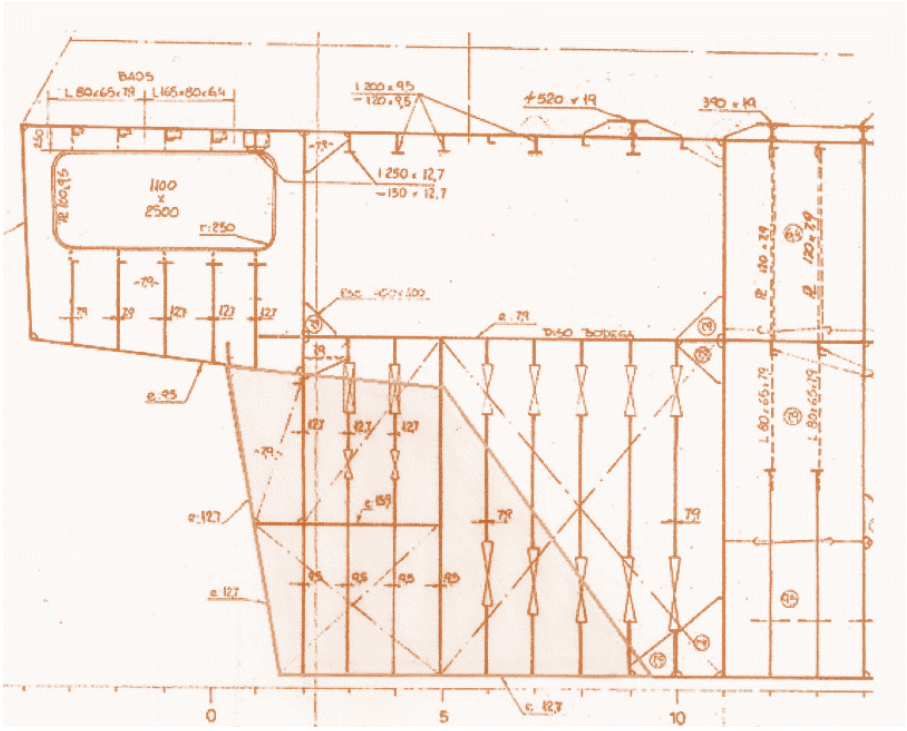


Fig. 6 - Plano de reducción de quillote



Fig. 7- Seccionamiento de porción de quillote



Fig. 8 - Tareas de desguace de espejo y casco en popa, vista estribor



Fig. 9 - Tareas de desguace de espejo y casco en popa, vista babor

Con respecto a la reforma propuesta en el quillote se debió compaginar un equilibrio entre la necesidad de flujo de agua del nuevo sistema propulsivo y las funciones que presta al remolcador, las cuales se detallan a continuación:

Superficie mojada, verificar la tracción sobre el cable de remolque en el tiro indirecto.

Desplazar hacia popa el centro de presiones en el tiro indirecto.

El comportamiento desde el punto de vista de la estabilidad cuando se empuja desde popa y la estabilidad de rumbo en navegación libre.

Transición continua entre remolque y empuje, sin variar la dirección del remolcador.



Fig. 10 - Estructura quillote y casco



Fig. 11 - Estructura interior del quillote

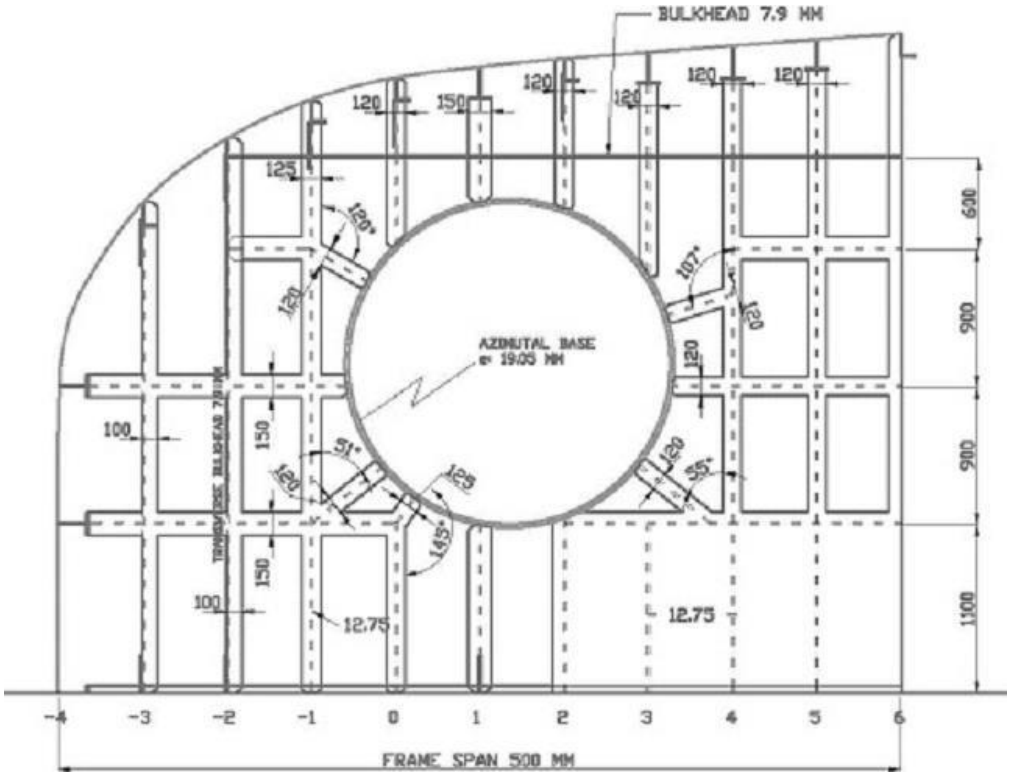


Fig. 12- Ubicación del centro del cilindro de soporte de acuerdo a la Ingeniería de Detalle



Fig. 13- Colocación del cilindro de soporte del propulsor



Fig. 14- Ubicación del centro de ajuste del cilindro de soporte del propulsor

Durante el estudio de ingeniería de detalle se determinó que estructura del local del servo se debía retirar y cual se podía utilizar para soportar los equipos azimutales, procediéndose a retirarla para preparar el corte necesario para la instalación de los equipos azimutales.

El equipo compuesto por el propulsor junto con su tobera, el eje vertical y el sistema de engranajes que conecta con la línea de ejes conforman una unidad, la cual se fija a una estructura cilíndrica, comúnmente denominada *olla,* la cual es afirmada al casco y su estructura resistente. El centro del punto de corte en el casco donde irá soldada se determina mediante un lente de alineación laser y cálculos matemáticos.

En este caso el punto fijo es la salida del eje del motor propulsor, teniendo como datos el ángulo máximo de inclinación de cada uno de los 3 cardanes, las longitudes de los tramos de ejes y la ubicación de la platina de entrada del equipo azimutal según se deduce de los planos de arreglo general y de la ingeniería de detalle.

Sin embargo, un minucioso trabajo de relevamiento debió ser realizado en función de posibles deformaciones que el buque hubiera podido sufrir durante su ciclo de vida.

Durante la instalación del anillo cilíndrico en su ubicación en el casco, fue necesario mantener la inclinación requerida (5° a popa).

Una vez posicionado, se procedió a soldarlo al casco y a los refuerzos estructurales de acuerdo a las especificaciones desarrolladas. Durante el estudio estructural se buscó utilizar la estructura existente en el local del servo y determinar que se necesitaba para cumplir los requisitos planteados por los nuevos esfuerzos. Es importante destacar que las nuevas estructuras se dispusieron en forma radial.

Posteriormente se izó la parte superior de la unidad de propulsión azimutal a su lugar en el casco del barco siguiéndose las instrucciones de elevación suministradas por el fabricante. Se soldó la unidad según la instrucción de soldadura, también suministradas por el fabricante. Las instrucciones debieron seguirse cuidadosamente para evitar sobrecalentamiento en los alrededores de las costuras de la soldadura. Las costuras de la soldadura se limpiaron y pintaron.



Fig. 15 - Vista de sector superior del propulsor ya instalado y fijado al casco



Fig. 16- Sector superior del propulsor en su posición dentro del buque

De la estructura de sujeción del equipo se retiraron los sectores sobresalientes del casco. A continuación se procedió a cerrar el casco. Se siguieron las especificaciones suministradas por el fabricante.

A continuación se retiraron las protecciones de las partes bajas e intermedias de las unidades de los propulsores. Se verifico que los aros de goma (“O” ring) de sello se adaptaran a las ranuras correspondientes en la parte media e inferior de la unidad. Se levantó la parte inferior siguiendo las instrucciones de izado. Se verifico que la parte inferior ajustaba en la sección intermedia (ajuste de dientes).

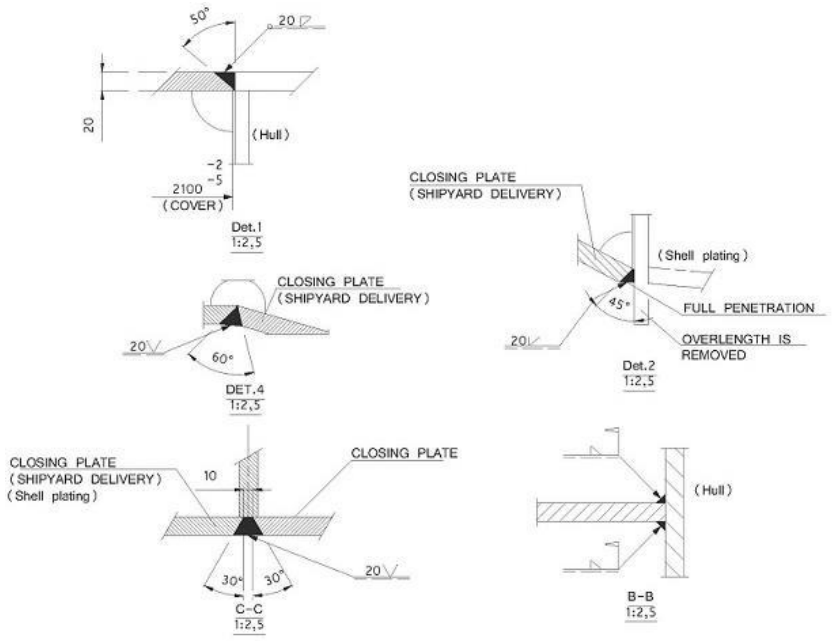


Fig. 17- Especificaciones para soldadura de estructura al casco

Para poder aplicar el torque solicitado por el fabricante se utilizaron los servicios de la empresa Multitec Sudamericana.

Se realizaron ensayos no destructivos a las uniones soldadas. Las soldaduras fueron verificadas en los puntos críticos con gammagrafías y líquidos penetrantes para determinar el grado de adherencia y detectar posibles fisuras. También se efectuaron pruebas hidráulicas a los tanques construidos o reformados para verificar su estanqueidad. Los resultados fueron evaluados y aprobados por Lloyd´s Register of Shipping.



Fig. 18 - Elevación de sección inferior del propulsor para su acople



Fig. 19 - Propulsor colocado en sitio

Se instalaron los tanques de gravedad de aceite de los propulsores a la altura determinada por el fabricante lo más cerca que permitió el espacio físico del propulsor, procediéndose a rellenar el sistema.



Fig. 20- Vista de propulsores instalados, estribor



Fig. 21- Vista de propulsores instalados, popa

Finalmente se realizó la verificación de estanqueidad de los sellos y una prueba de giro y de rotación de las hélices, para verificar su normal funcionamiento.

Previó a la salida de dique se realizó un estudio de estabilidad preliminar donde se tomaron en cuenta los pesos adicionados y deducidos, tomando como restricciones que las condiciones de calado del dique nos determinaba tener vacíos todos los tanques, observando que se cumplían las condiciones para su traslado del dique al muelle de armamento.

5. TRABAJOS EN MUELLE DE ARMAMENTO.

Durante esta fase se procedió a terminar los trabajos de calderería, los de mecánica, electricidad, electrónica, instalación de tuberías, aislaciones y alistamiento para las pruebas de mar.

Refuerzo estructural. Pese a que el estudio de resistencia estructural había arrojado valores satisfactorios se decide instalar una faja de acero, ubicándola en traca de cinta, de 12 mm de espesor por 1.0 m de altura desde la popa al través por ambas bandas, con el fin de aumentar la resistencia longitudinal.

Instalación de la línea de ejes. Al mismo tiempo, el personal del departamento técnico de Kios S.A. comienza con una de las tareas que mayores desafíos arrojó en el transcurso de la transformación, que consistió en la instalación y alineación de los pedestales de los cojinetes, cardanes, ejes y cojinetes.

De acuerdo al diseño realizado se conocía la posición y dimensiones de los pedestales de los cojinetes, por lo que procedió a confeccionarlos e instalarlos.

A continuación comenzó el proceso de montaje y alineación de ejes intermedios, cojinetes y cardanes, siguiendo las recomendaciones del fabricante. Para facilitar este proceso se fabricaron 6 punteros de alineación sugeridos por el fabricante.

Se regularon las longitudes finales de cada eje intermedio, moviendo la posición de los rodamientos verificando que los puntos de las herramientas de alineación se mantengan dentro de una tolerancia no mayor a los 2 mm.



Fig. 22 - Sistema para la alineación de ejes cardanes

Sistema de refrigeración del aceite hidráulico de los propulsores. Este sistema se diseñó utilizando el agua de lastre del quillote con el fin de no tener posibilidades de descebado de la bomba de refrigeración. Debido al diseño original de la popa del remolcador el nuevo compartimento de azimutales posee una diferencia pequeña de altura con la línea de flotación, lo que nos permitía suponer que esta falla podía ocurrir.

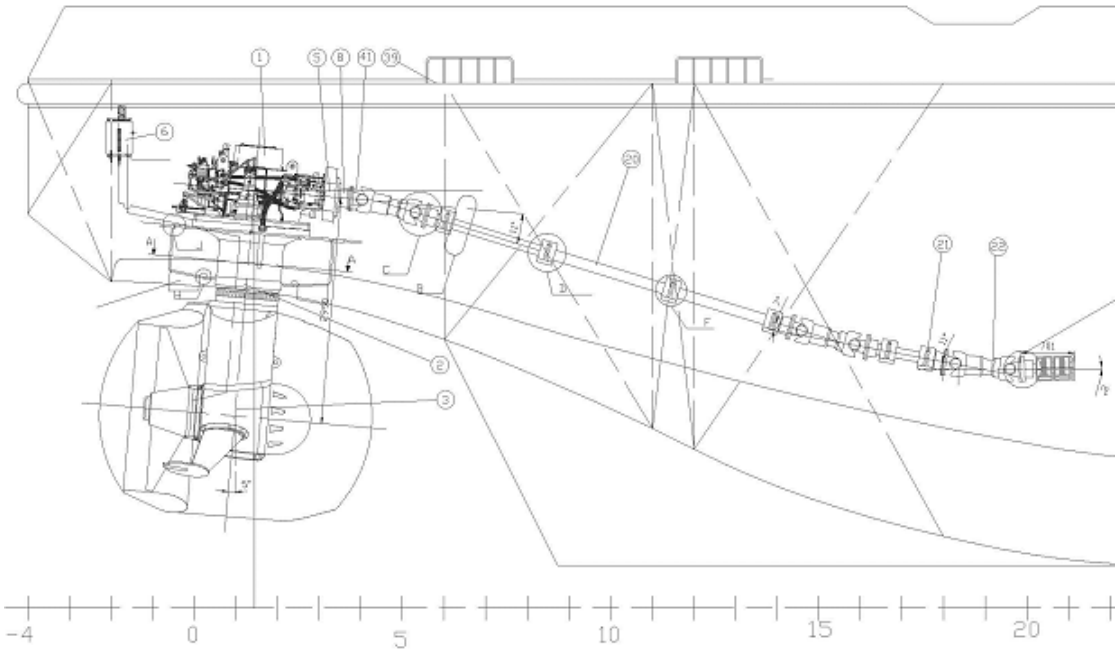


Fig. 23- Línea de ejes, vista longitudinal

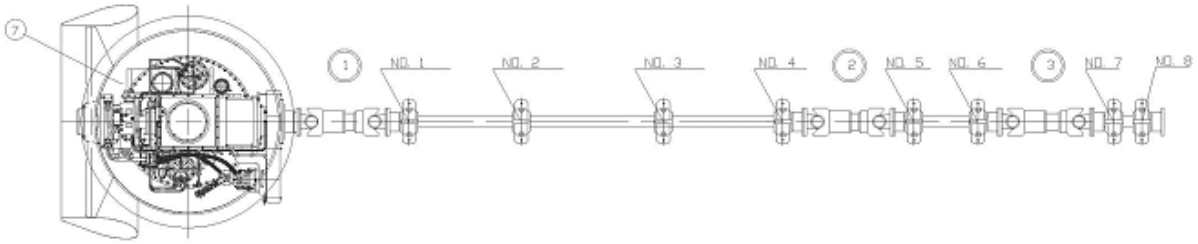


Fig. 24- Línea de ejes, vista en planta

Instalación eléctrica y electrónica. Se procedió a la instalación de los tableros de fuerza y control así como al tendido de cables en la sala de azimutales y en el puente de mando.

Se instalaron los mandos de control en el puente y se interconectaron estos con los propulsores azimutales de acuerdo a las especificaciones del fabricante y al apoyo de la Empresa Tecnimar.

Sistema de defensas. Al trabajar los remolcadores azimutales preferentemente por proa y al estar diseñado el M/V Gaucho como remolcador convencional se debió diseñar una reforma que permitiera optimizar su rendimiento.

Para esto se procedió a aumentar la superficie de apoyo perpendicular a la línea de crujía en la proa mediante una estructura y dos defensas circulares de 500 mm de diámetro y 1200 mm de longitud.

También se decidió aumentar la protección a los azimutales instalando dos defensas laterales por cada banda tipo UHMW-PE cada una de longitud 2800 mm x 650 mm de altura y cuatro defensas cilíndricas en popa de diámetro 500 mm y longitud 7000 mm, provistas por Yantai Taihong Rubber Co.

Se diseñó este sistema de defensas de manera que proporcionaran continuidad a lo largo del casco, sin salientes entre la proa y la popa y los costados.

Instalación de bitón y guinche de proa. Con el fin de poder realizar las maniobras por proa se diseñó, confeccionó e instaló un bitón en proa y un guinche con su unidad hidráulica, 180 KN Hydraulic Winch, certificado por el Lloyd´s Register.



Fig. 25- Proa de acuerdo al diseño original

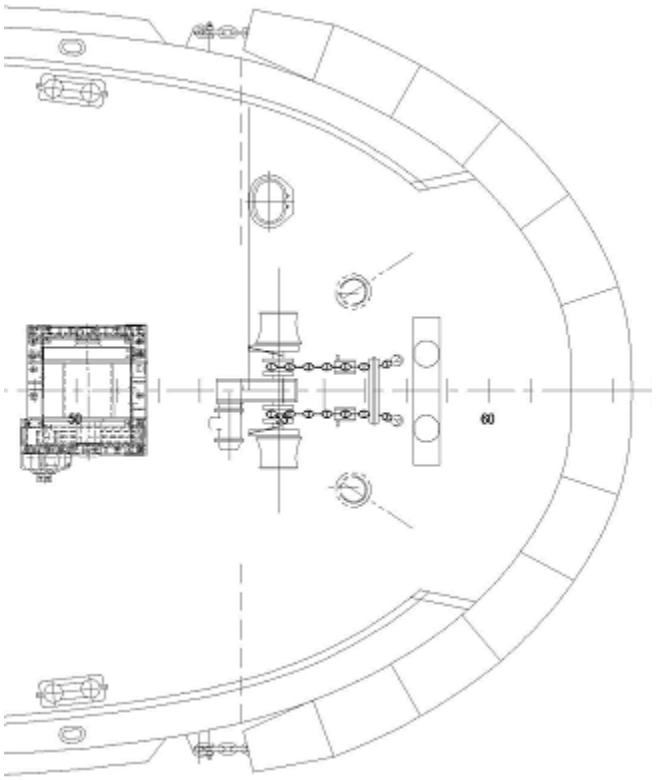


Fig. 26- Diseño de nuevo sistema de defensas

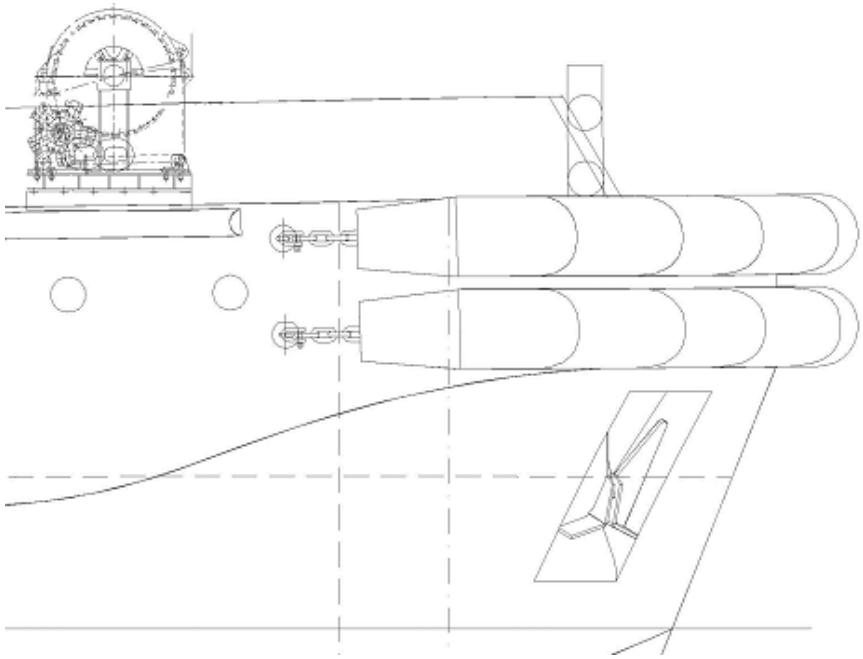


Fig. 27- Diseño de bitón y guinche de proa

Lastrado del remolcador. Cuando se realizó el estudio de estabilidad preliminar se detectó la necesidad de lastrar el remolcador. Se decidió lastrarlo con 18.0 ton de lingotes de acero, ubicándolos en sentina de sala de máquinas donde antes estuvieron alojadas las cajas de los motores principales y en la crujía sobre el mamparo de popa.

Todos los diseños, especificaciones e ingeniería de detalle de los trabajos realizados a lo largo del proceso de transformación fueron presentados a Rolls-Royce, Lloyd´s Register of Shipping y la Autoridad Marítima para su aprobación.

Experimento de inclinación y confección del libro de estabilidad. El 30 de Junio del 2015 se realizó en el Puerto de Montevideo la prueba de inclinación. A continuación se confeccionó el Libro de Estabilidad, para las diferentes condiciones de carga, verificando que para cada una de ellas se cumplían los criterios para navegación libre, el criterio para remolque tomando como punto de trabajo el bitón de proa y el criterio meteorológico.

El libro de estabilidad fue presentado y aprobado por la Autoridad Marítima.

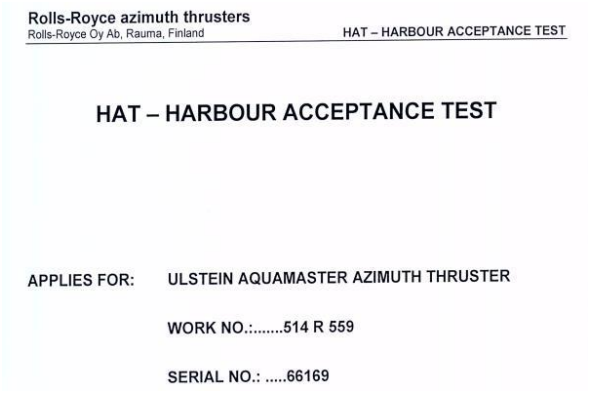
Inspección técnica de Rolls-Royce. Se recibió la inspección técnica de Rolls-Royce, en las áreas de electricidad-electrónica y de mecánica-estructural. Durante estas inspecciones de verificó el cumplimiento de las especificaciones suministradas por el fabricante en el proceso de instalación.

Pruebas a muro y de mar. Siendo satisfactorias estas evaluaciones se procede a realizar las pruebas de mar con la presencia de la Autoridad Marítima, Lloyd´s Register of Shipping y Rolls-Royce.

Estas pruebas consistieron en evaluación de la capacidad de maniobra, control de temperatura de cojinetes de las líneas de eje, medición de vibraciones de la línea de ejes, control de los parámetros de funcionamiento de los motores y propulsores.

El control de vibraciones lo realizo la Firma SKF, proveedora de los rodamientos, utilizando los siguientes equipos: Microlog AX, Sensor Acelerómetro CMSS 2200, Aptitude Analyst 8.0.

El resultado del análisis de cada rodamiento inspeccionado tuvo un resultado “BUENO”


Rolls-Royce azimuth thrusters
Rolls-Royce Oy Ab, Rauma, Finland
HAT – HARBOUR ACCEPTANCE TEST

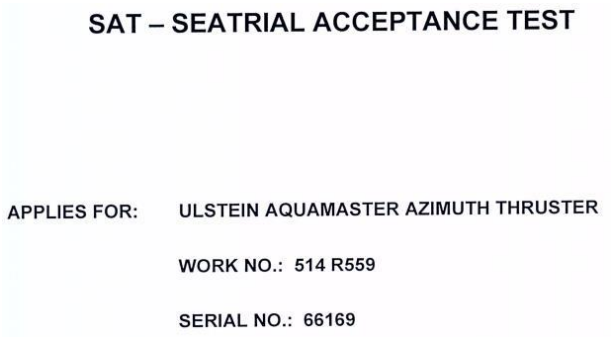
HAT – HARBOUR ACCEPTANCE TEST

APPLIES FOR: ULSTEIN AQUAMASTER AZIMUTH THRUSTER

WORK NO.:.....514 R 559

SERIAL NO.: 66169

Fig. 28- Certificado de aceptación de pruebas a muro


SAT – SEATRIAL ACCEPTANCE TEST

APPLIES FOR: ULSTEIN AQUAMASTER AZIMUTH THRUSTER

WORK NO.: 514 R559

SERIAL NO.: 66169

Fig. 29- Certificado de pruebas de mar

Los resultados fueron ampliamente satisfactorios por lo que la Autoridad Marítima y la Sociedad de Clasificación procedieron a otorgarnos los Certificados que significaron la vuelta al ruedo del Remolcador M/V Gaucho.

Reingreso a la flota. A partir de la otorgación del Certificado Nacional de Navegabilidad el remolcador M/V Gaucho se reintegró a la flota, operando hasta el momento con base en el Puerto de Nueva Palmira, habiendo realizado en el plazo de 75 días 153 maniobras de entrada y salida, demostrando una excelente respuesta.

6. CONCLUSIONES.

Las soldaduras realizadas en el transcurso de la transformación fueron verificadas en los puntos críticos con gammagrafías y líquidos penetrantes para determinar el grado de adherencia y detectar posibles fisuras. También se efectuaron pruebas hidráulicas a los

tanques construidos o reformados para verificar su estanqueidad. Los resultados fueron satisfactorios siendo evaluados y aprobados por Lloyd´s Register of Shipping.

Durante las pruebas de mar se verifico que el remolcador girara 360° en su misma eslora y que pasara de adelante a atrás en menos de dos esloras.

Se verifico su capacidad de aproximarse a un buque de 240 m de eslora a 7 nudos y apoyarse en la amura pronto para empujar en un tiempo reducido y con una escora mínima.

El resultado de la toma de vibraciones y control de temperatura de los cojinetes de las dos líneas de ejes presento valores satisfactorios, comprobando la tarea de alineación realizada durante su instalación.

Considerando la evolución de las necesidades de remolque portuario y la tendencia de los buques mercantes a aumentar su tamaño, evaluando el alto costo que involucra la sustitución de un remolcador convencional por uno azimutal, la presente experiencia aparece como una buena alternativa, mejorando sustancialmente de esta manera su capacidad operativa y el posicionamiento en el mercado.

7. BIBLIOGRAFÍA.

1. Rolls Royce; **Installation & Engineering Manual ROLLS-ROYCE Azimuth Thrusters Type US 205/P18 FP**, 2012

2. Lloyd´s Register of Shipping; **Vessels Intended for Towing, Intact Stability Guidelines for Towing Vessels**; 2012

3. Lloyd´s Register of Shipping; **Part 3, Chapter 6, Rules for Ship under 60 m**, 2012

4. International Maritime Organization; **IMO MSC/Circ. 1175 Guidance on Shipboard Towing and Mooring Equipment**, 2012

5. Arcángelo, A. M.; **Guía para estructuras de buques**, Cornell Maritime Press, 1960

6. Domínguez, R. M.; **Cálculo de estructuras de buques**, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, Universidad Politécnica de Madrid, 1969

7. Francis, J. J.; **The alignment of main propulsion shaft bearing in ships**, American Society of Naval Engineers, Inc., 1956

8. Piotrowski, J.; **Shaft Alignmient Handbook**, Taylor and Francis Group, USA, 1952

9. Zerbino, L. M.; **Alineación empleando un sistema óptico de enfoque y un laser, aplicación en la Industria Naval**, Universidad de Buenos Aires, Junio 1977.

EXPERIENCIAS EN LA APLICACIÓN DE LA NORMA DE RENDIMIENTOS DE LOS REVESTIMIENTOS PROTECTORES DE LOS TANQUES DEDICADOS A LASTRE

Martínez Villa, Pedro[1]

[1]Miembro asociado IPIN Cuba. pedromartinezvilla2014@gmail.com, pedromv@nauta.cu

RESUMEN.

El presente trabajo trata sobre las experiencias adquiridas durante el trabajo de supervisión desarrollado por el autor en la construcción de 10 graneleros en la Republica Popular China desde el año 2010 hasta el 2013, específicamente en lo relacionado a la aplicación de pintura en los tanques de lastre según lo establecido por la resolución MSC215(82) "Norma de rendimientos de los revestimientos protectores de los tanques dedicados a lastre de agua de mar de todos los tipos de buques y los espacios del doble forro en el costado de los graneleros", más conocida por PSPC (Performance Standard for Protective Coating) por sus siglas en inglés, designación IMO adoptada en diciembre del 2006. Esta denominación de PSPC la mantendremos durante el desarrollo de este artículo. El objetivo fundamental de este trabajo es sensibilizar a todo el personal involucrado en el proceso de construcción de buques dentro de nuestra área geográfica y específicamente a aquellos que supervisan o trabajan en la aplicación de pinturas en tanques de lastre y espacios de doble casco para los graneleros, en la importancia de seguir correctamente los pasos en todo el proceso para lograr la calidad requerida.

1. INTRODUCCION.

Junto con los requisitos para reducir la contaminación en el ambiente marino por los barcos petroleros, en 1990 se introdujo por el gobierno de EE.UU., el doble casco para las nuevas construcciones de petroleros.

Las Sociedades de Clasificación introdujeron en 1991 la supervisión ampliada y una supervisión de la condición de las capas de pintura en los tanques de lastre. Así, eran clasificados de BUENO, ADECUADO o POBRE y si se clasificaba por esta última condición se debía reparar o el buque tenía que ser inspeccionado anualmente.

IMO (Organización Marítima Internacional) siguió en 1993, 1995 y 1996 con los cambios a MARPOL (Convención Internacional para la Prevención de la Polución de los Buques) y a SOLAS (Seguridad de la Vida en el Mar) sobre estos aspectos.

En 1998 SOLAS introdujo el requisito de que los tanques de lastre debían cubrirse con capas adecuadas de pintura y que debían emitirse las pautas para la selección y mantenimiento de las mismas. Estas pautas de 1998 han sido reemplazadas ahora finalmente por el PSPC como consecuencia del trabajo conjunto de IMO y IACS (Asociación Internacional de Sociedades de la Clasificación), junto con los armadores de los buques desarrollando esta norma para las capas de protección en los tanques de lastre.

A partir de lo establecido en esta norma, tanto los astilleros, como los fabricantes de pinturas, se dieron a la tarea de preparar las condiciones en sus respectivas entidades para la aplicación exitosa de la misma y como es natural para cada una de ellas significa un cambio en lo que hasta el momento se realizaba. Así para los Astillero significa un mayor tiempo de construcción y entregas más lentas, con menos opciones disponibles en cuanto a imprimaciones de taller, sistemas de pintura para tanques de lastre y espesores de película seca, también la necesidad de entrenar a sus obreros y tener más personal certificado de acuerdo a FROSIO o NACE para hacer las inspecciones

Paralelamente para los Astillero; que tienen que valorar que las especificaciones de nueva construcción cumplan con PSPC, es significativamente más alto el nivel de la documentación requerida sobre la selección, aplicación e inspección de las pinturas de tanques de lastre y de los requerimientos para que todos los datos de la inspección- desde el acero desnudo a la capa final- estén disponibles y sean auditables, y se encuentren en el CTF (Expediente Técnico del Recubrimiento) del cual es el responsable de su preparación.

En cuanto a los fabricantes de pintura, la aplicación de esta norma significó una mayor necesidad de pruebas y documentación para los productos necesarios, con mayores requerimientos y costos para obtener certificados para sistemas de tanques de lastre en

laboratorios independientes y la necesidad de modificar fichas técnicas de acuerdo al PSPC. También con la responsabilidad en la aprobación de las etapas del pintado y participación en la confección del CTF como apoyo al astillero y de entrenar más personal de acuerdo a FROSIO o NACE para hacer las inspecciones

Aunque para los Armadores, la aplicación de esta norma haya significado un aumento de los costos en la etapa de construcción para cumplir los criterios de inspección de PSPC, no es menos cierto que los beneficios son significativos al tener barcos de mayor calidad con menores costos de mantenimiento y una mejor retención del valor de la inversión. También implica por parte de los armadores una necesidad de una mejor documentación del proceso de mantenimiento a las pinturas de los tanques de lastre y de mantener un CTF a bordo.

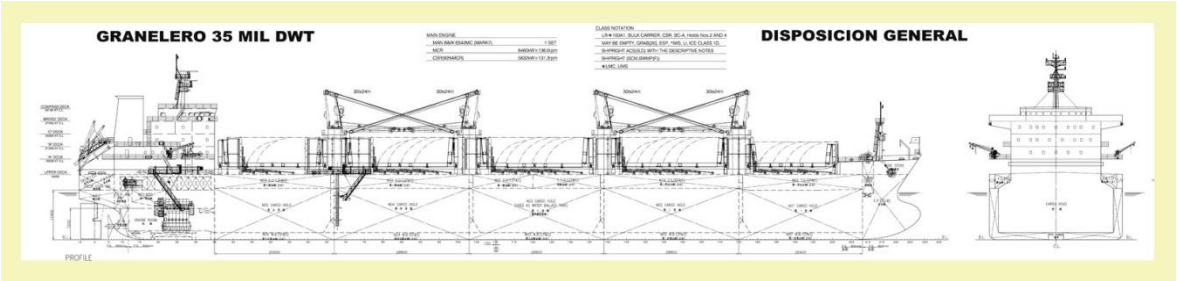
Junto a lo anterior podemos ver también que para las Sociedades de Clasificación la aplicación de esta norma significó una preparación adicional para los supervisores de clase en las etapas de construcción de las embarcaciones y con la responsabilidad de aprobar toda la documentación que se derive de ella.

Determinado por lo expuesto anteriormente, queremos dar a conocer las experiencias adquiridas durante la aplicación de pintura en los tanques de lastre y espacios del doble casco; según lo establecido por la resolución MSC215(82), durante el proyecto de construcción de 10 graneleros en la Republica Popular China desde el año 2010 hasta el 2013.

2. RESEÑA DEL PROYECTO. CARACTERISTICAS DE LOS BUQUES CONSTRUIDOS.

El 15 de septiembre del 2010 comienza en el Astillero de Shanghai este proyecto; que ha pasado a ser uno de los más importantes en los últimos tiempos para la flota cubana, específicamente para la Compañía Nordstrand Maritime Trading Co. Este primer barco de la serie de 10 fue terminado el 10 agosto del 2011 y sucesivamente fueron terminados los 9 restantes entregándose el último de ellos el 5 de septiembre del 2013. Tal y como se establece en la resolución los buques de nueva construcción cuyo contrato se haya firmado después de julio del 2008 o quilla puesta después de enero del 2009, como es el caso de estos buques, deben estar basados en la aplicación del PSPC, para los tanques de lastre en los buques de más de 500 TRB y para los espacios de doble casco en los graneleros de 150 metros y más de

eslora. Observando las características de estos buques; más abajo señaladas, se comprende perfectamente el porqué de la aplicación del PSPC durante la construcción de los mismos.



Estos buques graneleros poseen las características siguientes: Eslora total-179.90 mts, Eslora entre perp.- 171.50 mts, Manga total- 28.40 mts, Calado max.- 15.00 mts y DWT-35 mil t Clase Lloyds Register. La distribución de los tanques de lastre se detalla en la tabla presentada.

Tan	Tanques de lastre No.	Localizacion (Cdn)	Area (m^2)
1	No.1 Br	175-208	2655
2	No.1 Er	175-208	2655
3	No.2 Br	139-175	4196
4	No.2 Er	139-175	4196
5	No.3 Br	103-139	4292
6	No.3 Er	103-139	4292
7	No.4 Br	67-103	4079
8	No.4 Er	67-103	4079
9	No.5 Br	35-67	3148
10	No.5 Er	35-67	3148
11	No.1 alto(TST) Br	175-208	1240
12	No.1 alto(TST) Er.	175-208	1240
13	No.2 alto(TST) Br.	139-175	1035
14	No.2 alto(TST) Er	139-175	1035
15	F.P. Rasel de proa	208-225	3246
16	A.P. Rasel de popa	-5 -12	1926
		Area total	46462

Además del los 16 tanques de lastre, que sumaban en total un área de más de 46 mil m^2, se le dio el tratamiento de PSPC a los 4 espacios de doble casco distribuidos en dos por banda, por lo que el área general sumaba más de 50 mil m^2 .

3. PREPARACIÓN DEL EQUIPO DE SUPERVISIÓN DEL ARMADOR Y DEL ASTILLERO.

Dentro del grupo de supervisores; por parte del Armador, que atendían la parte estructural del proyecto, se prepararon a tres de ellos; incluido el autor de este trabajo, con el fin de capacitarlos en este aspecto novedoso y garantizar una correcta supervisión de la aplicación de la pintura en todos los tanques de lastre y doble casco señalados anteriormente. El curso fue impartido por el Sr. Sven Mortensen de Marine Training Service del Lloyd's Register emitiéndose el correspondiente certificado, que avalaba la preparación recibida.



PREPARACION TEORICO Y PRACTICA DE SUPERVISORES DEL ARMADOR Y DEL ASTILLERO POR PARTE DEL SENIOR MARINE COATING SPECIALIST SR. SVEN MORTENSEN

Al mismo tiempo durante los primeros meses de la construcción del primer buque de la serie se realizaba la preparación práctica de supervisores del armador e inspectores de calidad del astillero; dirigida por el propio Sr. Mortensen, ya fuera en áreas donde se aplicaba la pintura o dentro de los bloques correspondientes.

Como se realizaba este proceso por primera vez en el Astillero de Shanghái, para varios proyectos al mismo tiempo, la dirección del mismo se dio a la tarea de preparar las condiciones óptimas para garantizar la calidad del trabajo, que incluyó la compra del equipamiento necesario como fueron equipos de ventilación, deshumidificadores, extractores de polvo, todos los instrumentos de medición y control para todas las etapas del proceso del recubrimiento, etc. Por igual los inspectores de calidad fueron certificados según establece la resolución en NACE Coating Inspector Nivel 2 o en FROSIO Inspector Nivel III y los obreros fueron escogidos dentro de los de mayor experiencia y fueron capacitados convenientemente; también el astillero incluyó la divulgación grafica de este proceder y sus características.

Además de lo anterior el astillero elaboró un procedimiento en específico para la realización de las inspecciones y los métodos de reparación de los defectos en la aplicación de la pintura

durante las todas fases de construcción de estos graneleros, que incluía la fase de construcción de bloques y la fase de montaje de los mismos durante la erección del buque.



DIVULGACION EN EL ASTILLERO DE SHANGHAI , R.P DE CHINA SOBRE LA APLICACION DEL PSPC MARZO 2011

Además de lo anterior el astillero elaboró un procedimiento en específico para la realización de las inspecciones y los métodos de reparación de los defectos en la aplicación de la pintura durante las todas fases de construcción de estos graneleros, que incluía la fase de construcción de bloques y la fase de montaje de los mismos durante la erección del buque.

Como experiencia; de lo expuesto anteriormente acerca del proceder de este astillero en cuanto a la preparación inicial para la aplicación del PSPC y de su efectividad, recomendamos para aquellos astilleros del área que se inicien en estos aspectos, hacer primeramente un análisis del equipamiento que poseen y ver si es el adecuado, haciendo el completamiento del mismo de acuerdo a los requerimientos de la norma sin hacer compras innecesarias. Podemos resumir para la etapa de preparación lo siguiente:

- Adquisición del equipamiento adecuado para las labores de chorreado, imprimación, de mantenimiento de las condiciones de trabajo y de instrumentos de control.

- Preparación teórica y práctica del personal técnico, incluyendo la certificación en NACE Coating Inspector Nivel 2 o en FROSIO Inspector Nivel III y de los obreros que participaran en todo el proceso. Tener siempre presente que el obrero que realiza esta labor es a fin de cuenta el que garantiza la calidad del proceso, por lo que de su instrucción y calificación dependerá mucho el resultado final.

- Realizar los procedimientos del astillero para la aplicación, las inspecciones y para la reparación de imperfecciones. Es importante que el astillero tenga estos procedimientos, (que igual pudieran estar en uno solo) y los mismos estén en concordancia con lo regulado en la resolución MSC215 (82).

- Firmar un acuerdo entre las partes involucradas en todo el proceso de PSPC (Astillero-Armador-Representante de la pintura) con la revisión de la Clase, para determinar las responsabilidades de cada uno de ellos en el mismo (Acuerdo Tripartita).

4. PROCESO DE CONSTRUCCION Y APLICACIÓN DEL PSPC. NORMAS.

La forma de construcción de estos buques graneleros se realizó a partir de la construcción inicial de secciones con todos los elementos que correspondían al interior de los tanques de lastre debidamente redondeados sus cantos, según lo estipulado por la norma.



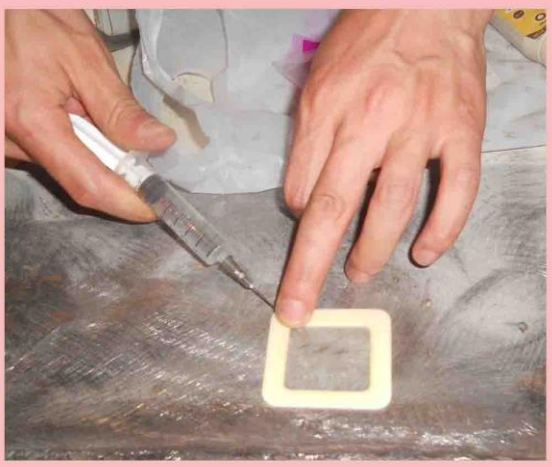
REDONDEO DE CANTOS (R-2 mm), SEGUN LA NORMA , EN LOS ELEMENTOS DE LOS TANQUES ANTES DE ENSAMBLAJE DE BLOQUES

Posteriormente se construían los bloques y una vez construidos y aprobados por la parte estructural, pasaban a las naves destinadas para la aplicación de granallado o sea la preparación primaria de superficies; que como requerimientos de la misma, se establece hacer el chorreo al Sa 2½ con perfiles entre 30-75 μm según la norma ISO 8501-1 (más adelante haremos una referencia a la importancia del conocimiento de las normas) y no realizarlo si la humedad relativa estaba sobre 85%; o la temperatura superficial del acero no estaba al menos 3 ºC por encima del punto de rocío.

En las inspecciones del granallado se veían; entre otros, los defectos que podían existir en los cordones de soldadura y se recomendaban las acciones a seguir y finalmente se verificaba la limpieza de superficie de acero y el perfil de aspereza como punto final de la preparación de la superficie y antes de la aplicación de la primera capa, de acuerdo con las recomendaciones

del fabricante, que en este caso fue pinturas JOTUN que poseían como se establece la Descripción del producto, la Aprobación por Clase y la Ficha de Datos de Seguridad.

En estas inspecciones además se controlaba el grado de salinidad (cloruro de sodio) en la superficie para verificar si estaba dentro del límite de lo permisible según la norma que era de 50 mg/m^2.





DETERMINACION DE LA SALINIDAD EN LA SUPERFICIE A PINTAR

Una vez aprobado el chorreado los bloques, estos se trasladaban a otras naves para la aplicación de pinturas. Aquellos bloques que formaban parte de tanques de lastre y/o espacios de doble casco se terminaban de completar su tratamiento de PSPC en áreas aledañas a estas naves.

Sobre las normas queremos señalar que estas se establecen para ayudar a definir procedimientos y resultados, relativos al estado de las superficies, a la selección de métodos y su modo de realización y a la calidad del resultado final. Así pues, las normas determinan la base sobre la que pueden llevarse a cabo las tareas de control para garantizar que todas las partes implicadas entienden los requisitos de la misma forma.



Todos los inspectores de pintura emplean diversas normas, ya sean las reconocidas internacionalmente (que todo inspector de pintura debe conocer), las normas de asociaciones nacionales, que debe conocer todo inspector de pintura que trabaje en ese país concreto y las normas de astillero, que debe conocer todo inspector de pintura que trabaje en ese astillero concreto.

Como experiencia en el trabajo con las normas, durante la etapa de supervisión en el Astillero de Shanghai en algunas ocasiones encontramos distintas interpretaciones a una misma norma y en otras ocasiones se quisieron utilizar otras no incluidas en las especificaciones, que por supuesto se rechazaron . Como recomendación, al inicio del trabajo debe conocerse la versión o versiones a las que se refieren la especificación de la pintura y acordarse cualquier variación que pueda presentarse.

Volviendo al tema del tratamiento de bloques en las áreas al aire libre, aquí se hacían la mayoría de las inspecciones de PSPC relativas a la pintura; en las áreas de los tanques y espacios de doble casco, para que estos fueran a la grada para la erección del buque completamente aprobados en esta etapa. En este proyecto se estableció el siguiente esquema de pintura, con el correspondiente espesor nominal de película seca (NDFT) de acuerdo a lo estipulado por la norma:

Nombre de la pintura /Fabricante	**NDFT**	**Color**	**Método de aplicación**
Primario W53-02 /Lanyan	20 $^{+/-}$ mic	Gris	Máquina Automática
1ra mano JOTACOTE BT ALU/Jotun	160 mic	Rojo	Airless
Strip coat JOTACOTE BT BEI/Jotun		Beige	Brocha y rodillo
Strip coat JOTACOTE BT ALU/Jotun		Rojo	Brocha y rodillo
2 ^{da} mano JOTACOTE BT BEI/Jotun	160 mic	Beige	Airless

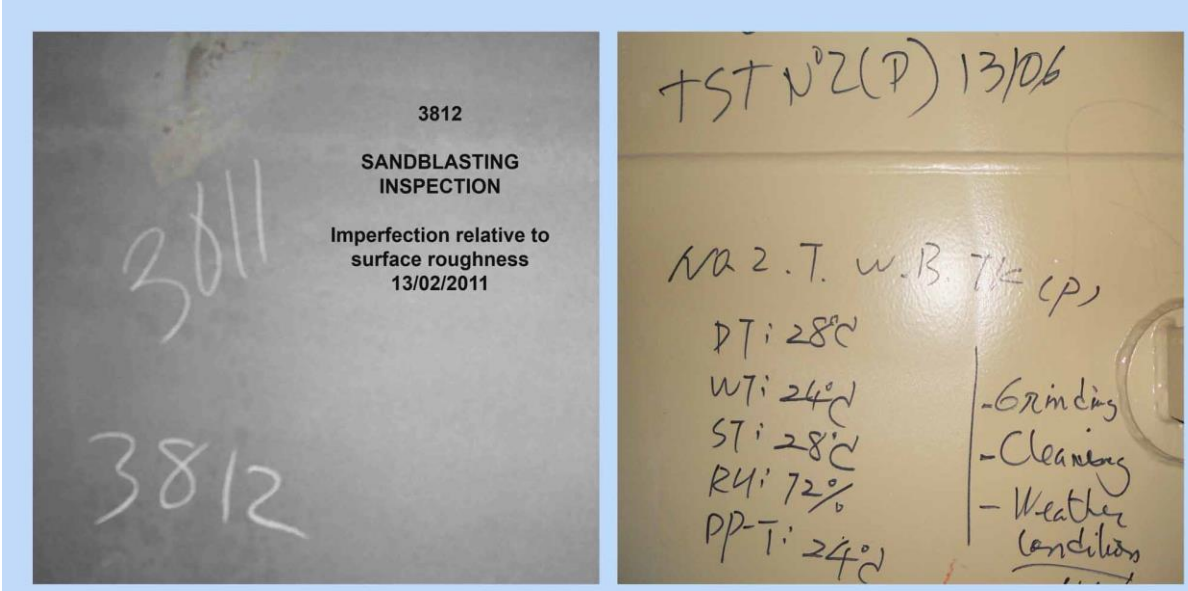
Nosotros como inspectores determinábamos si las condiciones de seguridad estaban garantizadas por parte del astillero para proceder a las inspecciones, esto se traducía en un correcto posicionado del andamiaje y las escalas de acceso y a su vez nunca entrabamos a estos sitios sin la ropa de trabajo adecuada y el correspondiente casco de protección además utilizábamos mascarillas de protección, guantes y rodilleras si era preciso.

Debemos señalar que la utilización de guantes era más necesaria durante las inspecciones de chorreado, pero para la inspección de pintura se usaban solamente como una medida de seguridad para determinados sitios, pero ya en el lugar de la inspección no, pues una de las principales herramientas de un inspector de pintura es el tacto, junto con la vista y el sentido común y era lo que hacíamos constantemente.

Por otra parte el inspector debe tener su medidor de película seca, medidor de humedad relativa, linterna, espejos telescópicos para inspeccionar groeras y aberturas que son áreas difíciles de revisar ocularmente a simple vista, cámara fotográfica y tiza sin grasa para inspección de chorreado y marcador permanente para las inspecciones de pintura . Aunque el desarrollo de instrumentos electrónicos y ordenadores avanza rápidamente, nunca debe olvidarse que tales instrumentos sólo pueden complementar; no sustituir, las cuidadosas observaciones y el sentido común, como apuntábamos anteriormente, junto a la planificación y el registro. No olvidar que estos instrumentos estén bien ajustados y que sean bien empleados, y solo así son valiosas herramientas de documentación.



**"HERRAMIENTAS" DE UN INSPECTOR DE PINTURA :
LA VISTA ,EL TACTO Y EL SENTIDO COMUN**



**MARCADO CON TIZA (SIN GRASA) PARA INSPECCION DE GRANALLADO
Y MARCADOR PERMANENTE PARA INSPECCION DE PINTURA**

Durante el desarrollo de las inspecciones intermedias; es decir aquellas que se realizaban antes de los retoques o de segundas manos, verificábamos la presencia o no de polvo (visual, con el tacto o con un trapo blanco) pues de existir, esto daría lugar a una mala adherencia del recubrimiento y su posterior desprendimiento. Las zonas limpiadas insuficientemente volvían

a limpiarse con aire comprimido limpio y en espacios cerrados, por medio de limpieza por aspiración.

También las anormalidades (pulverizado, piel de naranja, descuelgues, zonas sin pintar, poros. etc.) en la formación de la película que afectaban el aspecto y propiedades protectoras del recubrimiento, se corregían. Nosotros como inspectores debíamos determinar, si el aspecto estético era importante, veíamos la excesiva la extensión del pulverizado o de la piel de naranja, y si era así las zonas afectadas se rascaban, se lijaban y después de eliminarse el polvo, se pintaban .Las zonas sin pintar y los poros se retocaban hasta lograr el espesor de película seca final.



INSPECCION DE PINTURA EN BLOQUE DE TANQUE DE LASTRE SEÑALAMIENTOS Y PARTE DEL PROCESO DE CORRECION

Generalmente durante estas inspecciones en los bloques, se avanzaba en el proceso de aprendizaje y se tomaban todas las medidas necesarias para evitar los mismos errores en los trabajos sucesivos. Una vez aprobado el proceso de pintura relativo al PSPC en todos los bloques que aplicaban, estos pasaban al proceso de montaje en grada que se efectuaba en otra instancia del Astillero donde existían los correspondientes Diques Secos.

Como es natural durante el proceso de montaje en grada en las uniones de bloques se producían afectaciones de la pintura ya previamente aplicada por lo que era necesario aplicar la correspondiente limpieza mecánica de cordones y otras aéreas afectadas (Grado ST 3), lo anterior debía estar de acuerdo a lo normado en la resolución que plantea que en las uniones soldadas se debe aplicar St 3 o bien Sa 2½ donde sea factible además que los daños y

perjuicios pequeños inferiores al 2% de área total se traten con St 3 y los daños continuos por encima de 25 m2 o encima del 2% del área total del tanque, se aplicará Sa 2½.



PROCESO DE MONTAJE EN GRADA . VISTA INTERIOR DE TANQUE QUE APLICA PSPC

En estas construcciones se tomaban todas las medidas para evitar daños en la pintura de los tanques y en ocasiones se colocaban mantas ignifugas en su superficie plana, por lo que no hubo necesidad de aplicar el Sa 2½.



PREPARACION SECUNDARIA DE LA SUPERFICIE AFECTADA EN LAS UNIONES DE BLOQUES

Las inspecciones de los tanques de lastre y espacios de doble casco en la etapa de erección, ya incluían todo lo relacionado con la terminación correcta de toda el área y además de los soportes de tuberías y las tuberías mismas, los soportes para los ánodos de sacrificio, las escalas, las tapas de los registros etc, es decir todas aquellas misceláneas metálicas que se encontraban dentro de los tanques y que eran tratadas con el mismo esquema del PSPC.

Como experiencia para lograr una calidad adecuada en el tratamiento de PSPC podemos decir que deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Evitar la aplicación de pintura sin condiciones óptimas de humedad, ventilación, limpieza de las superficies y el secado correcto de manos anteriores.

- El control de la calidad del astillero debe garantizar que en todo momento durante la completa aplicación de la pintura los parámetros de humedad relativa y punto de rocío, estén por debajo del límite establecido (generalmente un 85 % para la HR). El supervisor del armador deberá estará atento a estas mediciones y pedir las repeticiones las veces que estime necesario durante el proceso

- No proceder a la inspección de las áreas recién pintadas hasta que las mismas estén completamente secas y se garanticen las condiciones optimas de ventilación y alumbrado. El astillero deberá cerciorarse que estos aspectos se cumplan y no convocar a las inspecciones sin estas garantías.

- Tener los registros de todas las deficiencias encontradas y la aplicación de las soluciones.

Finalmente cada uno de los tanques de lastre era aprobado su tratamiento de PSPC al igual que los espacios de doble casco. Posterior a la terminación de todos ellos se revisaba el CTF (Expediente Técnico del Recubrimiento) y se daba por concluido el proceso de PSPC en el buque todo aprobado además por la Sociedad de Clasificación que en este caso era el Lloyd’s Register.



TERMINACION DEL PROCESO DE PSPC EN LOS TANQUES DE LASTRE

5. CONCLUSIONES.

Los aspectos importantes a tener en cuenta para la aplicación de la Norma de Rendimientos de los Revestimientos Protectores de los Tanques dedicados a lastre (PSPC) son la preparación inicial del astillero para realizar este proceso en cuanto a equipamiento y la preparación del personal técnico y obrero para garantizar la correcta aplicación de la mencionada norma. Además es importante lograr una interrelación positiva entre el personal supervisor del astillero, supervisor del Armador y supervisor de la compañía de pintura, partiendo de lo pactado en el mencionado acuerdo tripartita y cumplimentando cada uno su rol dentro del proceso. Todos los supervisores deben tener amplio campo visual y conocer las zonas críticas en cada inspección, también la disposición y la firmeza necesaria avalada por el seguimiento

de las tareas de supervisión y poseer amplios conocimientos sobre aplicaciones de pinturas y tener buena preparación para el trabajo específico a desarrollar.

Las experiencias expuestas en este trabajo pueden ser aplicadas o tenidas en cuenta en las construcciones que ya se están realizando o comenzaran paulatinamente a incrementarse en los astilleros de construcción de nuestra área geográfica.

TECNOLOGÍA EN ALTAS PROFUNDIDADES, BUCEO CON EQUIPOS RECICLADORES DE CIRCUITO CERRADO

Tessada Lüscher, J.P.

Direccion de ingenieria y sistemas navales. Prat 620, Valparaiso, Chile. Armada de Chile
jtessada@armada.cl

1. INTRODUCCIÓN.

Transcurrían las 17:48 horas del día 2 de septiembre del año 2011, cuando la torre de control de tráfico aéreo del aeropuerto internacional Arturo Merino Benítez de la ciudad de Santiago, pierde comunicaciones con el avión CASA C-212 Aviocar, perteneciente a la Fuerza Aérea de Chile, el cual se encontraba efectuando un vuelo desde Santiago a la isla Robinson Crusoe del Archipiélago Juan Fernández, ubicada a 670 km al oeste del puerto de Valparaíso. El avión era tripulado por 3 funcionarios de la Fuerza Aérea y transportaba 18 pasajeros, pertenecientes a la Fuerza Aérea, Televisión Nacional de Chile, Desafío Levantemos Chile y el Consejo Nacional de la Cultura y las Artes de Chile.

Al no poder restablecer las comunicaciones con la aeronave ni determinar su posición, se activó una operación SAR (*Search and Rescue*), llamada Operación Loreto, en la que participaron en conjunto la Armada de Chile y la Fuerza Aérea de Chile, desplegando aviones y buques al Archipiélago, con el propósito localizar la aeronave y rescatar sobrevivientes, en caso de que los hubiera. Al llegar las unidades desplegadas al lugar del accidente, localizaron partes y restos, comprendiendo que la aeronave se había estrellado contra el mar y que dado la magnitud del impacto no sería posible encontrar sobrevivientes. El aérea del accidente era conocida, pero para poder localizar el fuselaje fue necesario el uso de un sonar de rebusca lateral, con el cual se determinó que este encontraba a una profundidad de 52 mts., siendo esto comprobado mediante el uso de ROV (*Remotely Operated Vehicle).*

Debido el impacto mediático alcanzado por esta operación, se definió como primera prioridad la recuperación de los cuerpos de las personas fallecidas, ante lo cual la Armada informa que no contaba con la capacidad de efectuar un buceo autónomo a esa profundidad, ya que sus capacidades estaban limitadas a 40 mts, principalmente por el equipo y entrenamiento con que contaban sus buzos. Es por esto que el rescate de los cuerpos y restos encontrados en las cercanías del fuselaje debió ser ejecutado por dos buzos civiles, quienes ofrecieron sus

servicios en forma voluntaria y utilizando equipos Recicladores de Circuito Cerrado con una mezcla de gases respirables llamada Trimix, lo que les permitió efectuar 6 buceos de 60 minutos de tiempo en el fondo cada uno, haciendo así más eficientes las labores de rescate.

Una vez finalizada la Operación Loreto y tomando en cuenta las experiencias obtenidas en ella, la Armada de Chile inicia un proyecto para la incorporación de la capacidad de buceo autónomo de alta profundidad, formando un equipo de ocho buzos especializados en este tipo de buceo, debiendo ser capaces de alcanzar hasta 100 mts. de profundidad utilizando equipos Recicladores de Circuito Cerrado y mezclas de gases respirables.

2. OBJETIVOS.

Analizar los equipos utilizados y la tecnología asociada al buceo de alta profundidad, haciendo especial hincapié en los equipos Recicladores de Circuito Cerrado y el uso de mezclas de gases respirables en el buceo.

2.1. TÉCNICA Y PROCEDIMIENTOS ADECUADOS PARA UN BUCEO DE ALTA PROFUNDIDAD.

El primer objetivo específico es determinar la técnica adecuada para efectuar un buceo de alta profundidad, lo que asociado a un correcto procedimiento en la fase descompresiva nos permita completar un buceo en forma segura.

2.2. EQUIPOS Y TECNOLOGÍA UTILIZADA.

El segundo objetivo específico es definir los diferentes tipos de equipos utilizados en el buceo de alta profundidad, determinando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

2.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS.

Este tercer objetivo específico nos permitirá determinar cuál es el equipo o sistema adecuado para efectuar un buceo a alta profundidad de la manera más segura.

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1. BUCEO TÉCNICO.

El buceo técnico nace de la necesidad de buzos científicos exploradores de cuevas, quienes buscaban ampliar los límites del buceo convencional, aumentando la profundidad máxima y extendiendo los tiempos de fondo, con la finalidad de explorar lugares que la mayoría de las personas nunca tendrá la oportunidad. Es por esto que requiere ser practicado por buzos experimentados, con dominio de la teoría del buceo en materias como física, fisiología, patología, técnica y procedimientos, siendo requisito una condición física y de salud óptimas para sobrellevar las exigencias propias de este tipo de buceo.

Para que un buceo sea considerado buceo técnico, al menos una de las siguientes condiciones debe cumplirse:

- Profundidad del buceo sobre 40 m.
- Requiera etapas de descompresión.
- Zonas con medioambiente sobre el buzo con una distancia lineal de más de 40 m.
- Descompresiones aceleradas mediante la variación de las mezclas respiradas durante el buceo.

Es importante tener presente que este tipo de buceo tiene riesgos y potenciales peligros considerablemente mayores que el buceo recreativo, requiriendo un mayor nivel de entrenamiento, disciplina y uso de equipamiento especial, lo cual en conjunto permita la ejecución del buceo en forma segura y una correcta reacción en caso de sufrir alguna emergencia durante el buceo.

3.2. PROCEDIMIENTO DESCOMPRESIVO.

Durante el buceo, los diferentes tejidos de nuestro organismo se encuentran expuestos a altas presiones parciales de los gases que nos encontramos respirando, siendo de especial preocupación los niveles de saturación de nitrógeno y helio.

El nitrógeno es un gas inerte que forma parte de las proteínas biológicas como componente de los aminoácidos, el cual no forma parte de ningún proceso o reacción biológica, por lo cual no es metabolizado. Su importancia en el buceo se debe a que al ser parte de los gases que respiramos y debido al gradiente de presión, pasa a la sangre y de la sangre a los tejidos, de

acuerdo con la perfusión sanguínea de los órganos. Es conocido como el principal causante de enfermedades por descompresión en el buceo, ya que al ser muy grande el gradiente de presión entre la presión ambiental y la presión de los tejidos, forma burbujas.

Por otra parte, el helio también es un gas inerte que no forma compuesto con otros elementos del organismo, por lo cual se ha constituido como el gas ideal para ser usado en buceo, ya que permite disminuir la proporción de nitrógeno y oxígeno en la mezcla, reduciendo la narcosis y la alta absorción de nitrógeno, además de disminuir la presión parcial del oxígeno para evitar llegar a niveles tóxicos (1,6 ATA), debiendo tener presente que la velocidad de difusión del helio es 2,64 veces más rápido que el nitrógeno. Tiene la particularidad de ser un excelente agente de conductividad térmica, por lo cual el buzo pierde calor corporal en forma acelerada, lo que a su vez puede facilitar la aparición de enfermedades descompresivas. Actualmente es utilizado sólo para buceos sobre los 45 m de profundidad y la proporción en que se encuentre en la mezcla dependerá de la profundidad máxima y del tiempo de la inmersión, siendo la mezcla más utilizada en el buceo técnico el Trimix, formado por oxígeno, nitrógeno y helio.

Es sabido que los diferentes compartimientos del cuerpo, establecidos en el modelo Haldaneano, se saturan y desaturan con los gases que respiramos a diferentes velocidades, debiendo el buzo procurar que la velocidad de ascenso no produzca un gradiente de presión entre la presión ambiental y la presión de los tejidos sobre el M-value, el cual corresponde a la máxima diferencia de tensión de N_2 tolerable entre un compartimiento y la sangre capilar sin que se formen burbujas. Es por esto que las velocidades de ascenso aceptadas hoy en día son de 9 m/min hasta la primera parada de descompresión, 6 m/min hasta la última parada de descompresión y 3 m/min hasta la superficie.

En la actualidad los modelos descompresivos más utilizados en buceo técnico son los llamados Modelos de Gas Libre, siendo el modelo VPM (*Varyng Permeability Model*) y el RGBM (*Reduced Gradient Bubble Model*) los principales. Estos modelos mantienen una gradiente de presión reducida, realizando paradas de descompresión más profundas y en mayor número que las señaladas por los modelos Neohaldaneanos, ya que estos sólo se guiaban por el M-value, el cual no considera las micro burbujas que se generan en el buceo de alta profundidad, las cuales son causantes de enfermedades crónicas asociadas al buceo, como la osteonecrosis disbárica y el daño orgánico crónico cerebral. Los modelos de gas libre operan mediante algoritmos matemáticos complejos, los cuales aseguran que durante el

ascenso nunca la tensión del gas disuelto en los tejidos supere la presión de gas dentro de las micro burbujas y que el radio de esta no sobrepase el radio crítico, de manera que pueda ser reducida. Los perfiles de buceo con estos modelos descompresivos son obtenidos mediante el uso de *software* computacionales o directamente desde los ordenadores de buceo.

El mismo efecto de reducción de las burbujas es producido en el buceo técnico al cambiar la mezcla respiratoria durante el ascenso, acelerando así la desaturación de los tejidos mediante el uso de la "Ventana del Oxígeno", la cual se entiende como la diferencia de presión parcial de oxígeno entre la sangre arterial (PaO_2) y la sangre venosa (PvO_2), debido al consumo de oxígeno periférico. La ventana del oxígeno aumenta a medida que el porcentaje de oxígeno en la mezcla utilizada es mayor. En efecto si respiramos oxígeno al 100% a 1 ATA de presión, la ventana de oxígeno será de 518 mmHg, a 1,3 ATA será de 844mmHg y a 1,6 ATA será de 1.066 mmHg; esto se ve graficado en la Figura n°1. La tendencia actual en los buceadores técnicos es a usar cada vez más mezclas respiratorias en el proceso descompresivo llegando a usar oxígeno al 100% en la última parada a los 6 m.

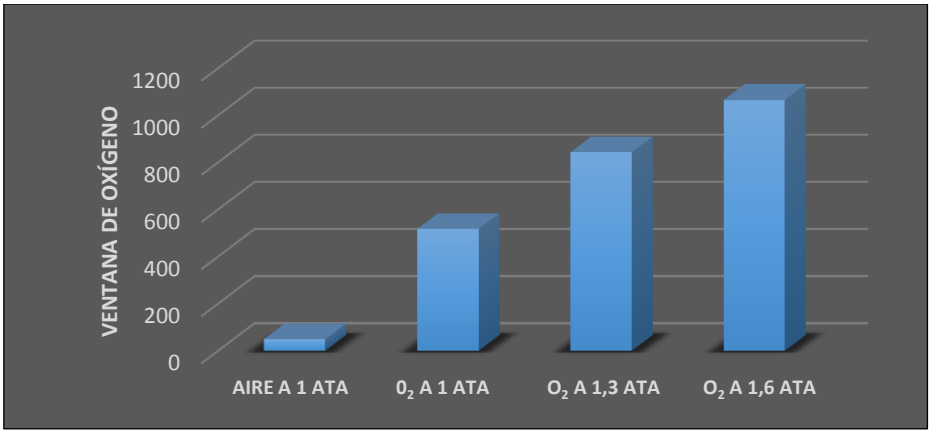


Figura n°1: Ventana de oxígeno con diferentes presiones parciales del oxígeno.

3.3. MEZCLAS DE GASES RESPIRABLES.

Previamente se definió el buceo técnico como aquel cuyo objetivo es aumentar el tiempo de buceo y/o su profundidad operacional. Sabiendo que el gas más utilizado como mezcla respirable en el buceo es el aire, es necesario conocer qué gases lo componen, cuáles son sus limitaciones y cómo se pueden extender estos límites.

3.3.1. AIRE.

Es la mezcla de gases que habitualmente respiramos, el cual está compuesto, en forma simplificada para efectos explicativos, por un 21% de oxígeno y un 79% de nitrógeno. Por otra parte sabemos que los valores límites de presión parcial de oxígeno son los siguientes:

- 0,16 ATA, presión parcial mínima que permite la actividad mental y física.
- 0,21 ATA, presión parcial normal a nivel del mar.
- 1,3 ATA, presión parcial comúnmente utilizada en equipos de circuito cerrado.
- 1,4 ATA, presión parcial utilizada como mezcla de fondo en buceo con circuito abierto.
- 1,6 ATA, presión parcial utilizada en mezclas descompresivas en buceo con circuito abierto.
- 1,7 ATA, inicio de síntomas de hiperoxia (intoxicación al sistema nervioso central).

Es por esto que la profundidad operacional máxima para buceos con aire es de 66 m, donde el oxígeno contenido en el aire alcanza las 1,6 ATA. Por otra parte, el nitrógeno produce un efecto narcótico en el buzo cuando alcanza las 3,16 ATA, ocurriendo esto en el caso del aire a los 30 m de profundidad, motivo por el cual el aire es aceptado como mezcla respirable hasta los 45 m de profundidad, donde el oxígeno no alcanza niveles tóxicos y el nitrógeno produce sólo síntomas iniciales de narcosis, pero debido a su alto contenido de nitrógeno los tiempos sin descompresión son extremadamente bajos.

3.3.2. NITROX.

Si queremos aumentar el tiempo sin descompresión, debemos disminuir el porcentaje de nitrógeno y aumentar el nivel de oxígeno en la mezcla que respiramos. A este tipo de mezclas se les llama Nitrox, el cual por definición es cualquier mezcla respirable que tenga una determinada fracción de oxígeno y nitrógeno, conteniendo un 22% de oxígeno o más. Por consiguiente, si aumentamos la fracción de oxígeno en la mezcla, disminuye la profundidad máxima a que esta puede ser respirada. Las mezclas comúnmente usadas son aquellas que fueran estandarizadas por la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), las cuales contienen un 32% y un 36% de oxígeno.

3.3.3. TRIMIX.

Por otra parte, si queremos efectuar un buceo a mayor profundidad, debemos disminuir las fracciones de oxígeno y nitrógeno en la mezcla. Para esto se utiliza un tercer gas, siendo el helio el comúnmente utilizado. Para determinar la fracción de cada uno de los gases que componen la mezcla ideal para cada buceo, se debe efectuar los siguientes pasos:

1. Fracción de oxígeno, de acuerdo a la presión parcial requerida para la profundidad máxima del buceo.

$$FrO2 = \frac{P_P O2}{P_T} x100$$

FrO2: Fracción de oxígeno deseada.

$P_P O2$: Presión parcial de oxígeno requerida.

P_T: Presión absoluta a la profundidad máxima del buceo.

2. Fracción de nitrógeno en la mezcla, considerando que para evitar la narcosis la presión parcial debe ser de 3,16 ATA.

$$FrN2 = \frac{3{,}16}{P_T} x100$$

FrN2: Fracción de nitrógeno deseada.

P_T: Presión absoluta a la profundidad máxima del buceo.

3. Fracción de helio en la mezcla, se obtiene de la diferencia necesaria para completar el 100%.

$$FrHe = 100 - (FrO2 + FrN2)$$

Por ejemplo, si queremos efectuar un buceo con trimix a 80 m de profundidad (9 ATA), con una presión parcial de oxígeno de 1,4 ATA, la mezcla ideal será la siguiente:

$$FrO2 = \frac{1{,}4}{9} x100 = 15\%$$

$$FrN2 = \frac{3{,}16}{9} x100 = 35\%$$

$$FrHe = 100 - (15 + 35) = 50\%$$

De acuerdo a la denominación internacionalmente aceptada, nuestra mezcla será un Trimix 15/50 (se denomina por su fracción de oxígeno y de helio, se subentiende que lo restante es nitrógeno).

4. CLASIFICACIÓN DEL BUCEO DE ACUERDO AL TIPO DE EQUIPO.

Dependiendo del tipo de equipo que se utilice en el buceo técnico, este se puede clasificar en dos: Buceo con Circuito Abierto y Buceo con Circuito Cerrado.

4.1. BUCEO CON CIRCUITO ABIERTO.

Se denomina buceo con circuito abierto a aquel en el cual el buzo utiliza un regulador por demanda para respirar y libera burbujas en la exhalación. La principal característica es que posee un elevado consumo de gas, ya que los reguladores por demanda poseen internamente una membrana o pistón compensado, el cual iguala la presión interna del regulador con la atmosférica, por lo cual a medida que esta aumenta, aumenta el consumo de gas. Por otra parte, el buzo requiere en forma casi constante (dependiendo del nivel de agitación durante el buceo) la misma cantidad de gas, por lo cual lo restante es liberado a la atmósfera a través de las burbujas. Se considera que la eficiencia estimada de este tipo de equipos es cercana al 5%, lo cual cobra especial importancia al efectuar buceos con trimix, ya que el helio posee un elevado valor comercial y sólo se está aprovechando una pequeña parte del contenido en la mezcla. Esta baja eficiencia finalmente se traduce en un exceso de botellas, para llevar la cantidad adecuada para completar el buceo sin mayor inconveniente, lo que sumando mezclas de fondo y mezclas descompresivas, puede terminar en una gran cantidad de botellas que limiten el desplazamiento del buzo en el fondo, como se muestra en la Imagen n°1.

Por otra parte, las mezclas seleccionadas para cada buceo están preparadas y calculadas para la profundidad máxima a la que se comienzan a utilizar, siendo en esa profundidad donde la presión parcial del oxígeno alcanza su nivel máximo, esto implica que la presión parcial del oxígeno es variable y aumenta proporcionalmente con la profundidad. En la Figura n°2 se muestra el aumento de presión parcial del oxígeno durante el descenso en un buceo con aire.

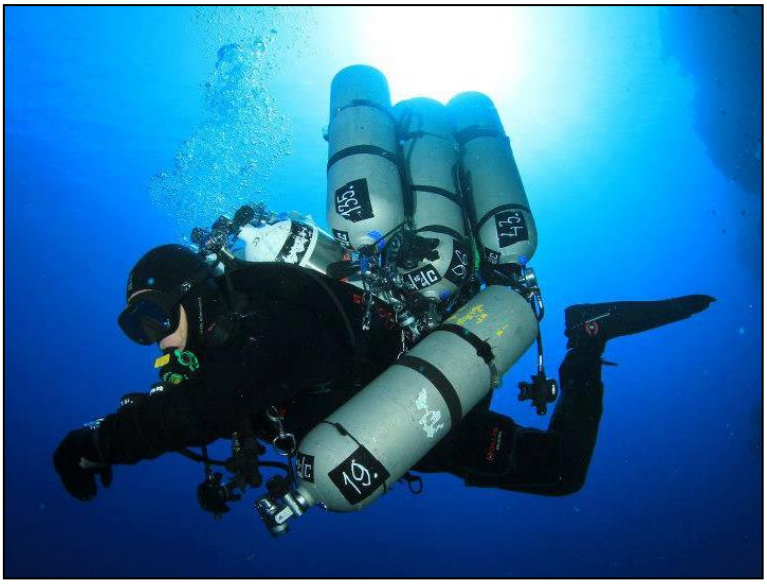


Imagen n°1: Buceador con equipo técnico de circuito abierto.

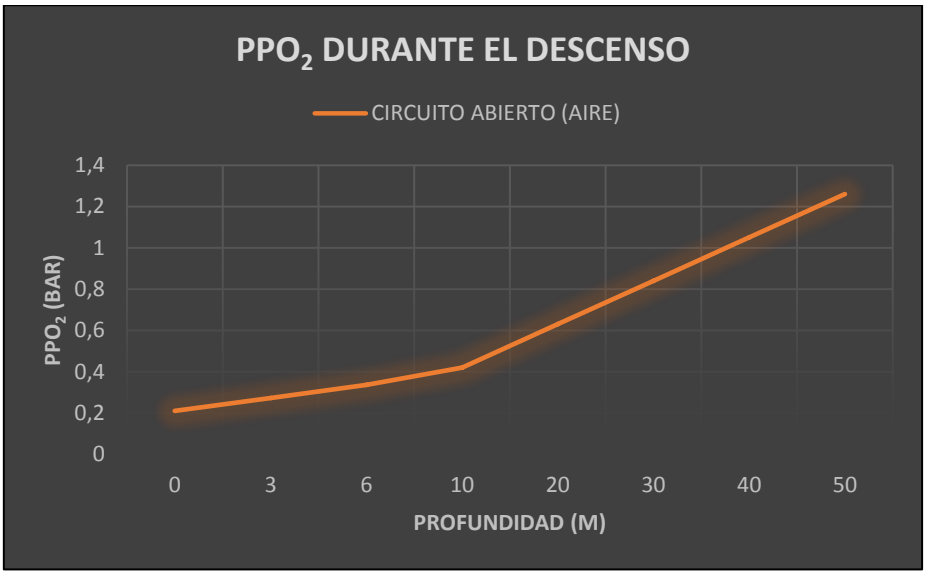


Figura n°2: Presión parcial del oxígeno durante el descenso.

Por el contrario, durante el ascenso la presión parcial disminuye, disminuyendo también la ventana de oxígeno, hasta que se efectúa un cambio de mezcla, donde la presión parcial

vuelve a elevarse. En la Figura n° 3 se muestra el gráfico de la presión parcial de oxígeno durante el ascenso, donde claramente se aprecia como esta aumenta bruscamente al efectuar los cambios de mezcla.

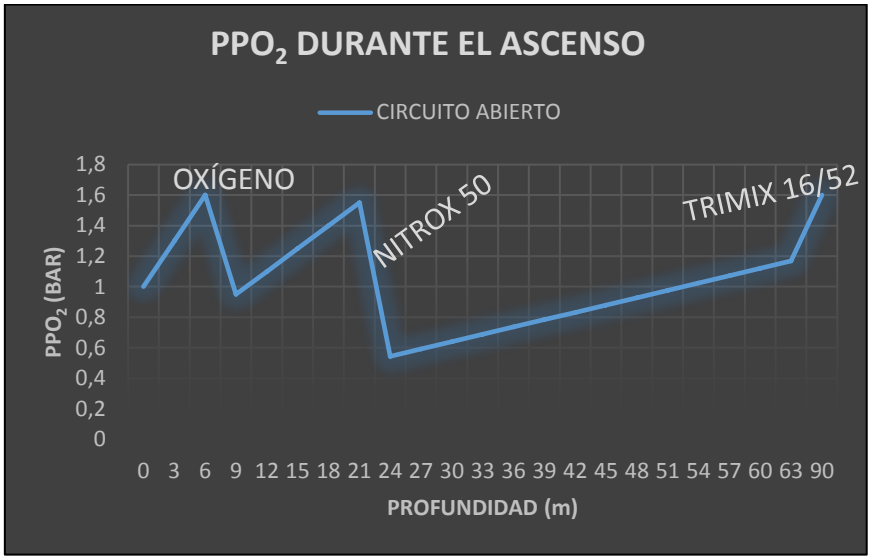


Figura n° 3: Presión parcial del oxígeno durante el ascenso, cambio de mezclas descompresivas.

4.2. BUCEO CON CIRCUITO CERRADO.

Para poder solucionar las deficiencias o desventajas con que cuenta el sistema de circuito abierto es que en los últimos 15 años se ha masificado el uso de equipos recicladores de circuito cerrado, comúnmente llamados *Rebreather* CCR (*Closed Circuit Rebreather),* siendo hoy en día el sistema preferido por buceadores técnicos para buceos sobre los 40 m de profundidad.

En la actualidad existe una gran variedad de equipos recicladores, siendo cada uno de ellos utilizado para diferentes propósitos, pero teniendo una característica en común que es un contenedor de cal sodada, la cual absorbe el dióxido de carbono (CO_2) producido por el metabolismo durante el intercambio gaseoso a nivel celular. Los diferentes tipos de recicladores pueden ser clasificados básicamente en tres tipos: Recicladores de oxígeno puro (100 % oxígeno), Recicladores de Circuito Semi Cerrados (SCR) y los Recicladores de Circuito Cerrado (CCR), siendo estos últimos a los que me referiré más en extenso, ya que son los utilizados en buceo de alta profundidad.

Los equipos Recicladores de Circuito Cerrado (CCR) efectúan una mezcla constante de gases durante el buceo. Para esto es necesario contar con dos botellas de almacenamiento, una de oxígeno 100% y otra de diluyente el cual puede ser aire, heliox o trimix (dependiendo la profundidad a la cual se va a desarrollar el buceo). El diluyente es adicionado en forma manual o automática durante el descenso (dependiendo del tipo de equipo), de tal manera de mantener un volumen de gas circulante adecuado que asegure un esfuerzo ventilatorio mínimo para el buceador.

Este tipo de equipos no liberan burbujas al exterior, por lo cual poseen una eficiencia teórica cercana al 100%, ya que la totalidad de los gases exhalados son depurados en el filtro de cal sodada para posteriormente ser nuevamente inhalados, siendo sólo el oxígeno consumido y metabolizado por el organismo, lo cual no se ve afectado por efectos de la presión; esto significa que el consumo de oxígeno es constante durante todo el buceo, permitiendo el uso de botellas muy pequeñas para el almacenamiento de gas (2 o 3 lt.).



Imagen n°2: Rebreather Inspiration de AP Diving.

Una de las particularidades de los equipos de circuito cerrado es la capacidad de mantener una presión parcial de oxígeno constante durante todo el buceo, para esto, mediante una serie de sensores esta es monitoreada, permitiendo determinar la cantidad de oxígeno necesaria que debe ser inyectada producto de la metabolización de este en el organismo, permitiendo de esta forma optimizar los tiempos durante el buceo, maximizando tiempos en el fondo y minimizando las descompresiones. Los equipos preferentemente utilizados para buceos de alta profundidad son los de control electrónico, los cuales mediante un computador que analiza la información obtenida por los sensores de oxígeno (habitualmente 3), inyecta a través de una válvula solenoide de accionamiento eléctrico la cantidad adecuada de oxígeno

para mantener la presión parcial seteada previamente por el buceador (usualmente 1,3 ATA), la cual desciende cuando el buzo se aproxima a la superficie. Estos valores son llamados *Set Points*, siendo el Set Point bajo el que se mantiene mientras el buzo este en superficie y durante la etapa inicial del descenso (0,7 ATA), para posteriormente cambiar en forma automática al *Set Point* alto, el cual se mantiene durante todo el buceo hasta el término de la etapa descompresiva, cambiando nuevamente al *Set Point* bajo al momento de aproximarse a la superficie.

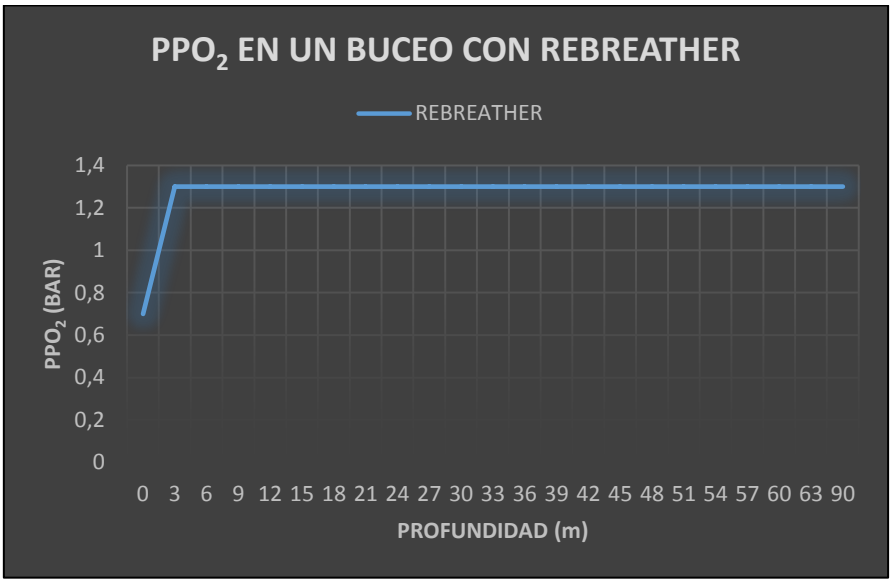


Figura n°4: Presión parcial del oxígeno durante el buceo con rebreather.

Bucear con equipos de circuito cerrado es una técnica totalmente distinta a bucear con circuito abierto, de hecho mientras en circuito abierto nuestra principal preocupación es si tengo el gas necesario para respirar durante el buceo, en circuito cerrado la principal preocupación es qué estoy respirando durante el buceo, ya que cualquier parte del equipo que no haya sido chequeada previamente o no se haya efectuado la mantención correspondiente, puede terminar en la muerte del buceador, siendo las principales emergencias por baja presión parcial de oxígeno (hipoxia), alta presión parcial de oxígeno (hiperoxia) y alto nivel de dióxido de carbono (hipercapnia). Es por esto que bucear con circuito cerrado requiere de disciplina y meticulosidad en la preparación del equipo, además de un elevado nivel de entrenamiento que asegure una correcta reacción del buceador en caso de tener que enfrentar una emergencia con el equipo; es más, es recomendable que los buzos que se inicien en el uso

de circuito cerrado sean buzos experimentados en circuito abierto, el cual debe asumir que vuelve a ser un principiante ante este tipo de equipos.

La gran desventaja de los equipos de circuito cerrado es el elevado costo inicial, el cual puede bordear los USD 15.000, inversión que en el caso de buceadores frecuentes con trimix se ve compensada en el mediano plazo, ya que al consumir bajas cantidades de gas durante el buceo, producen un importante ahorro en la mezcla debido al elevado valor comercial del helio.

5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE CIRCUITO ABIERTO Y CIRCUITO CERRADO.

5.1. PRESIÓN PARCIAL DE OXÍGEN DURANTE EL BUCEO.

Hemos mencionado la importancia de mantener una presión parcial de oxígeno elevada durante el buceo, ya que con esto se aumenta el tiempo en el fondo y se absorbe menos gases inertes, lo cual se traduce en descompresiones más cortas, las que a su vez son aceleradas cuando respiramos mezclas con una elevada presión parcial durante la fase descompresiva del buceo.

		CIRCUITO ABIERTO (AIRE)				REBREATHER (DILUYENTE AIRE)			
PROFUNDIDAD (m)	PRESIÓN (BAR)	PPO_2 (BAR)	% O_2	PPN_2 (BAR)	% N_2	PPO_2 (BAR)	% O_2	PPN_2 (BAR)	% N_2
0	1	0,21	21	0,79	79	0,7	70	0,3	30
3	1,3	0,273	21	1,027	79	1,3	100	0	0
6	1,6	0,336	21	1,264	79	1,3	81	0,3	19
10	2	0,42	21	1,58	79	1,3	65	0,7	35
20	3	0,63	21	2,37	79	1,3	43	1,7	57
30	4	0,84	21	3,16	79	1,3	32	2,7	68
40	5	1,05	21	3,95	79	1,3	26	3,7	74

Tabla n°1: Tabla comparativa de presiones parciales de oxígeno y nitrógeno.

En la Tabla n°1, se muestra un buceo con circuito abierto utilizando aire como mezcla respirable y uno con circuito cerrado utilizando aire como diluyente. En el primero se aprecia claramente como la presión parcial del oxígeno aumenta a medida que aumenta la profundidad, por lo cual dado la elevada fracción de nitrógeno que contiene el aire, es posible que a contar de los 30 m se inicien los síntomas de la narcosis. Por otra parte en el buceo con circuito cerrado, la presión parcial se mantiene en 1,3 ATA, asegurando una amplia ventana de oxígeno durante la fase descompresiva y desplazando al nitrógeno, el cual se mantiene en bajas presiones parciales.

Durante el ascenso, al bucear con circuito abierto es necesario efectuar un cambio de mezcla a otra que contenga mayor cantidad de oxígeno, objeto poder disminuir los tiempos de descompresión, mientras la presión parcial en el buceo con Rebreather se mantiene estable. En la Figura n°5, se muestra un gráfico comparativo de las presiones parciales durante el ascenso en un buceo con circuito abierto con 2 cambios de mezclas descompresivas y uno con circuito cerrado.

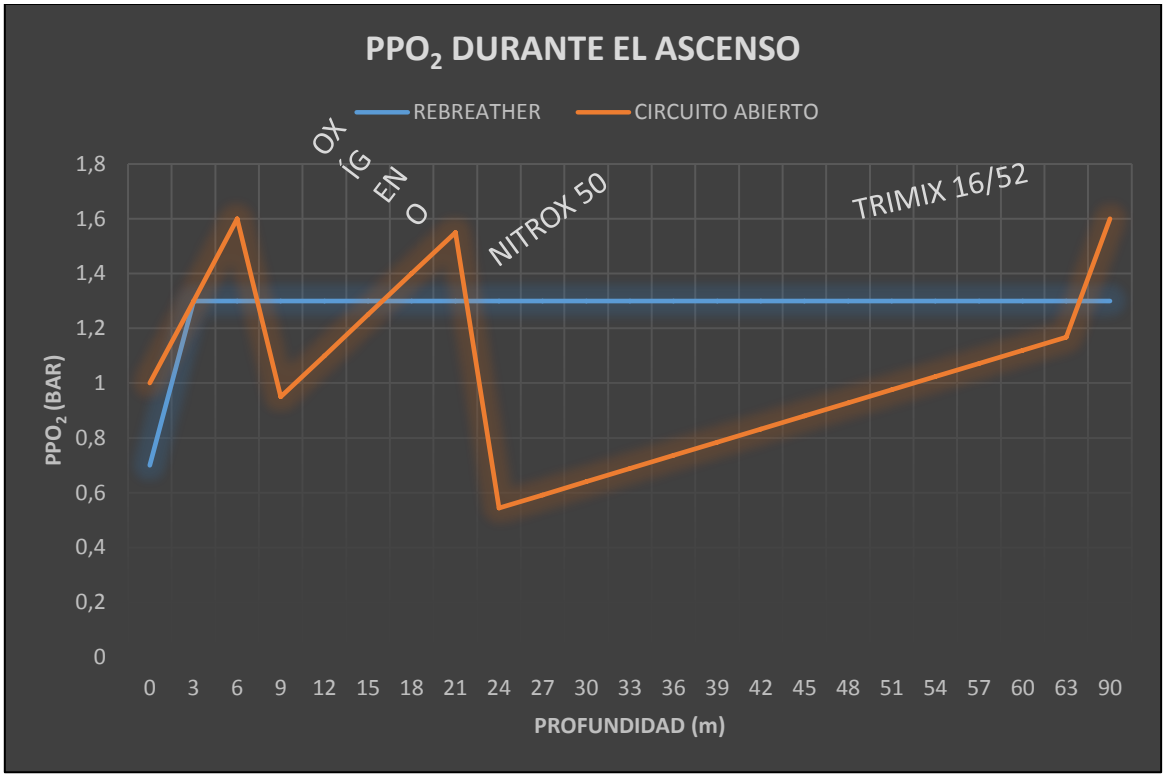


Figura n°5: Grafico comparativo de presiones parciales.

5.2. CONSUMO DE GAS.

Otro punto importante de comparación es la cantidad de gas necesario para efectuar un buceo con circuito abierto y uno con circuito cerrado. Anteriormente mencionamos que el regulador por demanda utilizado en circuito abierto requiere de una compensación de la presión interna del segundo estado del regulador con la presión absoluta de la profundidad a que se está efectuando el buceo; es por esto que la liberación de gas al momento de la inhalación aumenta a medida que aumenta la profundidad, liberando el exceso a través de las burbujas. Por otra parte, el equipo de circuito cerrado trabaja con un volumen constante de gas circulante, no por demanda, además de reciclar la totalidad de los gases exhalados. Esto se traduce en un consumo considerablemente menor de gas, lo cual se puede apreciar en la Tabla n°2, la cual muestra en forma comparativa el consumo de gas en circuito abierto y circuito cerrado desde la superficie hasta los 100 m de profundidad, quedando en evidencia la eficiencia del sistema de circuito cerrado.

		CONSUMO DE GAS (LT/MIN)	
PROFUNDIDAD (m)	PRESIÓN (BAR)	CIRCUITO ABIERTO	CIRCUITO CERRADO
0	1	25	1,11
10	2	50	1,11
20	3	75	1,11
30	4	100	1,11
40	5	125	1,11
50	6	150	1,11
60	7	175	1,11
70	8	200	1,11
80	9	225	1,11
90	10	250	1,11
100	11	275	1,11

Tabla n°2: Tabla comparativa de consumo de gas.

5.3. OTROS FACTORES A CONSIDERAR.

5.3.1. COSTOS.

El costo inicial promedio de un equipo de circuito cerrado versus uno de circuito abierto es aproximadamente tres veces superior, pero el costo de operación es considerablemente menor, principalmente por la cantidad de helio utilizado para las mezclas. Es por esto que para aquellos buceadores que frecuentan las altas profundidades, la inversión inicial puede ser recuperada dentro de los dos primeros años de uso del equipo.

5.3.2. OPINIONES.

De acuerdo a diferentes opiniones recolectadas en la web, buzos de circuito cerrado Chile y en mi experiencia personal, dado la sensación de seguridad que entrega al buzo este tipo de equipos, es que a pesar de muchos de ellos haber sido experimentados buceadores en circuito abierto, la opinión generalizada es que no volverían a efectuar un buceo a alta profundidad sin un equipo de circuito cerrado. Si bien esto es un factor subjetivo, el componente psicológico es un elemento esencial en la seguridad de la ejecución de un buceo.

6. CONCLUSIONES.

6.1. TÉCNICA Y PROCEDIMIENTOS.

El buceo de alta profundidad es considerado una actividad de alto riesgo, por lo cual requiere ser efectuado por personas con condiciones especiales, dispuestas a asumir estos riesgos, los cuales pueden ser minimizados aplicando la técnica correcta y ejecutando los procedimientos adecuados, sobre todo en la fase descompresiva, la cual es la menos disfrutada durante el buceo, pero sin duda la más importante y sobre la cual debemos mantener un constante estudio y dominio de la teoría, ya que esta ha evolucionado constantemente en el transcurso de los años.

6.2. EQUIPOS Y TECNOLOGÍA.

En la historia del buceo autónomo, la tecnología ha jugado un rol primordial, permitiendo llegar a lugares que antes parecían imposibles de alcanzar, profundidades de las que sólo podíamos imaginarnos al leer un cuento; pero que la introducción de la electrónica como parte integral de los sistemas de control y monitoreo de los parámetros durante el buceo, permite

que el buceo se pueda efectuar con estándares de seguridad muy elevados. Los límites actuales del buceo están dados por la tecnología existente, no por los límites fisiológicos del cuerpo humano, por lo cual aún queda mucho por explorar, en la medida que la tecnología lo permita.

6.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS.

Hemos analizado las ventajas y desventajas del buceo con equipos de circuito abierto y de circuito cerrado, quedando en evidencia el por qué hoy en día, para buceos de alta profundidad, los equipos de circuito cerrado son los preferidos por los buceadores y no sólo para aquellos especializados en alguna de las áreas del buceo técnico, sino cada vez más masificado en el buceo recreativo, brindando comodidad y seguridad a quienes los utilizan.

BIBLIOGRAFÍA.

MI EXPERIENCIA EN BUCEO, CONCEPTOS POCO CONOCIDOS Y MENOS ENSEÑADOS, 2014. Dr. Antonio Felmer Aichele.

NITROX AVANZADO, MANUAL DEL BUCEADOR, 2001. Rob Palmer, Technical Diving International.

PROCEDIMIENTOS DESCOMPRESIVOS, MANUAL DEL BUCEADOR, 2000. Joe Odom, Technical Diving International.

REBREATHER FORUM 3, PROCEEDINGS, 2012. Dr. Richard D. Vann, Divers Alert Network. Dr. Petar J. Denoble, Divers Alert Network. Dr. Neal W. Pollock, Divers Alert Network.

Página web, www.rebreatherworld.com.

13. TRANSPORTE MARÍTIMO Y FLUVIAL

A CABOTAGEM COMO MEIO DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GREEN CORRIDOR PARA O BRASIL

Alves de Moura, Delmo [1]; Botter, Rui Carlos [2]

[1]Professor da Universidade Federal do ABC - Engenharia de Produção. Avenida dos Estados, 5001 - Bairro Bangu, Santo André - SP – Brasil - CEP 09210-580. delmo.moura@ufabc.edu.br
[2]Professor Titular do Curso de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Av. Prof. Mello Moraes, 2231 – São Paulo – SP – Brasil - CEP 05356-000. rcbotter@usp.br

RESUMO.

Este trabalho possui como foco o estudo de um corredor verde, Green Corridor, para o Brasil tendo como eixo central o uso do transporte por cabotagem, interligando as regiões Sudeste ao Norte do País.

Este estudo teve como parâmetro o projeto Super Green Corridor estudado e implantado na Europa em algumas regiões. O cerne do projeto Super Green Corridor europeu está no uso do transporte sustentável e integrado com os demais modais, visando a redução ou eliminação das emissões de gases poluentes, do uso otimizado dos modais de transporte, das operações portuárias sustentáveis logisticamente e do uso da inovação nas operações.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho consiste em analisar os modais empregados no corredor brasileiro que liga a região Norte a região Sudeste utilizando os mesmos princípios adotados pelo Super Green Project, apontando os principais gargalos existentes na rota estudada e propor soluções logísticas sustentáveis, que possam reduzir o índice de poluentes emitidos à atmosfera e caracterizar como um sistema logístico sustentável, com o uso da intermodalidade nos transportes.

1. INTRODUÇÃO.

O Brasil possui uma extensão territorial enorme, o que justifica dizer que possui uma extensão continental. A maioria da população brasileira encontra-se situada próxima a costa

brasileira. É a parte do país que concentra a maioria de sua população, mais de 80% dos 204 milhões de habitantes atualmente vivem a menos de 200 quilômetros do litoral.

A grande demanda do consumo de produtos industrializados no País está mais concentrada nas regiões Sul e Sudeste, vide Figura 1.



Figura 1: Regiões do Brasil

O modal rodoviário é o que predomina no transporte no Brasil. A matriz de transporte de cargas e passageiros está atualmente assim distribuída: O transporte rodoviário corresponde aproximadamente a 61,1%, o ferroviário com 20,7%, o aquaviário com 13,6%, o aeroviário com 0,4% e o dutoviário com 4,2% (CNT, 2014).

A região do Brasil que produz equipamentos eletroeletrônicos está localizada na região Norte, especificamente no Estado do Amazonas, em Manaus. Como referência, o estado de São Paulo está localizado na região Sudeste do País, a distância aproximada entre Manaus e São Paulo é de 4.000 km. A cidade de Manaus possui a Zona Franca, caracterizada pela concentração de indústrias, principalmente a de eletroeletrônicos. Contudo, a grande demanda de consumos destes produtos está localizada nas regiões Sudeste e Sul do Brasil.

Como predomina o transporte rodoviário no País, imagina-se a quantidade de caminhões necessárias para transportar produtos da região Norte para as regiões consumidoras de maior demanda, as regiões Sudeste e Sul. O uso de caminhões nas estradas, por longas distâncias aumenta a emissão de gases poluentes, além de aumentar os custos logísticos, visto que o Brasil possui rodovias muito precárias, aumenta o risco dos produtos transportados e o transporte não é sustentável logisticamente (GUPTA, 2014).

Na Europa e também em outros países industrializados a atenção com o transporte sustentável e verde é uma busca constante para minimizar a emissão de gases poluentes, materiais particulados atmosféricos e ter operações logísticas eficientes e eficazes, respeitando o meio ambiente, em toda as etapas da cadeia de transporte, independente do modal utilizado ou das operações intermediárias realizadas no processo logístico (transbordo e armazenagem). Na Europa especificamente estuda-se e já se tem implantado, o uso de corredores verdes, *green corridor*, com o intuito de integrar os meios modais de transporte ao longo de sua cadeia, que ele seja sustentável e minimize ou elimine os prejuízos causados ao meio ambiente (LOZHKINA, LOZHKIN, 2015; ZAMBOBI, ROVEDA, CAPOBIANCO, 2015).

O corredor verde é uma iniciativa da Comissão Europeia com o objetivo de reforçar a competitividade da indústria logística e criar soluções sustentáveis. Um pilar essencial em um corredor verde é o conceito de co-modalidade. Definido como "o uso eficiente de diferentes modais que integrados resultará numa utilização ótima e sustentável dos recursos de transporte." O conceito de co-modalidade é importante para os corredores verdes, a fim de salientar o fato de que a solução logística escolhida pelo mercado pode e deve ser uma decisão tomada pelos transportadores (ENGSTRÖM, 2012; FOZZA, RECAGNO, 2012; GEORGOPOULOU, KAKALIS, 2012; PSARAFTIS, PANAGAKOS, 2012).

Um corredor verde é caracterizado por (ENGSTRÖM, 2012):

- ► Soluções logísticas sustentáveis com reduções documentadas de impacto ambiental e climático, de alta segurança, alta qualidade e eficiência;
- ► Aplicações logística com a utilização otimizada de todos os modaiss de transporte, denominado co-modalidade,

- ► Uma concentração de tráfego nacional e internacional de mercadorias em rotas de transporte relativamente longos,

- ► Pontos eficientes e estratégicos de transbordo, bem como uma infraestrutura de apoio e

- ► Uma plataforma para desenvolvimento e demonstração de soluções logísticas inovadoras, incluindo sistemas de informação, modelos de colaboração e tecnologia.

O projeto do corredor verde promove a colaboração entre os modos de transporte e uso otimizado logisticamente incluindo os nós de transporte (*hubs*, docas, etc.). Ele pode ser um corredor nacional e ou transfronteiriço.

Em 2007 a Comunidade Europeia introduziu um novo conceito nas redes de transportes, os corredores verdes. Estes corredores são caracterizados por uma concentração considerável do tráfego de produtos/mercadorias, entre grandes centros e por distâncias relativamente longas. As indústrias seriam incentivadas, ao longo deste corredor de ter a co-modalidade (concepção logística integrada com a utilização ótima dos modais de transportes), com tecnologia avançada, com o intuito de acomodar e aumentar o volume de tráfego e promover um ambiente sustentável, com o uso eficiente e eficaz de energia, contribuindo assim com o meio ambiente e o planeta (ENGSTRÖM, 2008; FOZZA, RECAGNO, 2012; GEORGOPOULOU, KAKALIS, 2012; MOYANO et al., 2012; PSARAFTIS, PANAGAKOS, 2012).

Este trabalho tem o intuito de analisar, perante os conceitos do projeto *SuperGreen* a implantação de um corredor verde marítimo, entre as cidades de São Paulo e Manaus com o transporte de produtos eletroeletrônicos entre estas regiões do Brasil, visando um sistema logístico sustentável.

2. EUROPA: O PROJETO *SUPERGREEN.*

O termo corredores de transporte tem sido cada vez mais presente no mundo contemporâneo, sendo comumente utilizado por quaisquer envolvidos ou interessados na área de logística de transportes. A definição mais completa, precisa e, portanto, adequada a essa denominação é de Arnold (2005):

Um corredor de transporte tem uma dimensão física e outra funcional. Em termos de componentes físicos, um corredor inclui uma ou mais rotas que conectam centros de atividade econômica. Essas rotas possuem diferentes alinhamentos, porém com pontos de transferência comuns e são conectadas aos mesmos pontos finais. Elas são compostas por ligações pelas quais os serviços de transporte viajam e pelos nós que interconectam os serviços de transporte. Os pontos finais são portas de entrada que permitem trafego com origem ou destino fora do corredor.

A maioria dos corredores de transporte é desenvolvida como mecanismo de suporte ao crescimento da economia regional, proporcionando o recebimento de mercadorias de outras regiões, além do escoamento das mercadorias localmente produzidas. Eles oferecem transporte e outros serviços de logística, promovendo o comércio entre as cidades e países localizados ao longo do corredor (ARNOLD, 2005).

As características que diferenciam um corredor verde de um corredor não-verde são (PANAGAKOS, 2013; FOZZA, RECAGNO, 2012; GEORGOPOULOU, KAKALIS, 2012; MOYANO et al., 2012; PSARAFTIS, PANAGAKOS, 2012):

- ► Utilização de diferentes modais, requerendo instalações de transbordo adequadas em localizações estratégicas, utilizando conceitos integrados de logística;
- ► Dependência de tecnologia avançada, gerando eficiência energética e uso de combustíveis limpos alternativos;
- ► Capacidade de desenvolvimento e demonstração de soluções de transporte ambientalmente corretas e inovadoras;
- ► Modelos de negócio colaborativos, sendo importantes para formulação de conceitos de logística integrados para os corredores verdes.

Com o aumento da globalização, a necessidade do transporte de mercadorias por longas distâncias tem se tornado cada vez mais intensa no cenário mundial. Essa presença aumenta a competitividade e, consequentemente, amplia as possibilidades de associação entre modais (PANAGAKOS, 2013; MOYANO et al., 2012).

Adotando uma política com foco nos modais de transporte ferroviário e hidroviário, uma natural diminuição no fluxo de transporte rodoviário seria capaz de aliviar os problemas de congestionamento que esse tipo de transporte vem enfrentando. Essa política geraria indiretamente uma série de vantagens aos usuários das estradas, através do aumento da segurança e diminuição do tempo de transporte. Além disso, uma melhoria no consumo de energia e nas emissões de poluentes, através da eficiência dos corredores verdes, geraria ganhos adicionais nos aspectos econômicos e ambientais, através de custos de operações menores (PANAGAKOS, 2013; GEORGOPOULOU, KAKALIS, 2012; PSARAFTIS, PANAGAKOS, 2012; MOHAJERI, GUDMUNDSSON, FRENCH, 2015; BOSQUET et al., 2015).

Enquanto, de maneira geral, corredores são desenvolvidos para apoiar a economia regional, existem algumas variâncias em meio a esse ideal comum, que acarretam em grandes impactos na maneira pela qual o corredor é desenvolvido. Sendo assim, os corredores podem ser desenvolvidos com diferentes finalidades (ARNOLD, 2005):

- ► Promover atividade econômica ao longo do percurso;
- ► Proporcionar uma porta de entrada para países sem litoral;
- ► Desenvolver determinada união econômica entre países;
- ► Facilitar o comércio multilateral e entre países.

Estruturas apropriadas são necessárias para que se implementem corredores multimodais internacionais e, para que isso aconteça, é necessária uma maior sintonia entre as partes envolvidas, considerando que um dos grandes problemas no sistema de logística multimodal é a falta de coordenação. Essa necessidade reuniria, com objetivos comuns: comissão, estados membros, autoridades locais, donos e gestores de infraestrutura, operadores de transporte, expedidores e financiadores (PANAGAKOS, 2013; MOYANO et al., 2012; PSARAFTIS, PANAGAKOS, 2012).

Considerando que um corredor é geralmente composto de algumas rotas alternativas, é necessário medir o desempenho de cada uma das rotas. Para que essa medição aconteça de forma metodológica, a gestão do corredor é responsável por selecionar indicadores de

desempenho chave, utilizados para monitorar o desempenho de um corredor específico. Os indicadores mais utilizados são (ARNOLD, 2005):

- ► Custo e tempo: os custos são medidos em termos dos custos diretos somados a quaisquer perdas e danos que venham ocorrer à carga enquanto transportada. O tempo é definido como sendo a duração necessária para completar todas as atividades essenciais ao transporte, entre o início e o final da rota, incluindo atrasos associados à frequência dos serviços e congestionamentos nos nós;

- ► Confiabilidade: devido à atenção cada vez maior dada à pontualidade das entregas dos pedidos, como componente de vantagens competitivas, é importante considerar não somente o custo e o tempo associados às entregas, mas também a confiabilidade em relação ao cumprimento dos prazos estabelecidos. Ela se refere à variação no tempo de trânsito para um tipo específico de remessa e rota determinadas. A variação acontece devido a uma combinação de fatores controláveis, como as condições e disponibilidade de equipamentos, coordenação de atividades sequenciais e produtividade dos funcionários, além de fatores não controláveis, como as flutuações na demanda, nível de tráfego externo e condições climáticas. Quanto maior a variação, mais difícil de prever tempos de trânsito e coordenar atividades na cadeia de transportes, e menor será a confiabilidade;

- ► Flexibilidade: apesar de ser menos mensurável, a flexibilidade possui crescente importância no monitoramento de desempenho de um corredor. Em um ambiente competitivo, é essencial ter uma cadeia de transportes flexível, considerando-se que alguns pedidos requerem entrega mais rápida, enquanto outros necessitam de custos menores, por exemplo. A indústria é hoje capaz de lidar com qualquer tamanho de remessa, em qualquer lugar do mundo, usando combinações de transportes aéreos, marítimos, ferroviários e rodoviários.

Uma vez determinados os indicadores de desempenho chave a serem utilizados, o corredor pode ser monitorado periodicamente através da estimativa de valores dos indicadores para cada cadeia de transporte especificada e a correspondente análise desses valores, levando-se em consideração seus pesos e os métodos especificados no estudo do mercado de transporte (PANAGAKOS, 2013; MOYANO et al., 2012; PSARAFTIS, PANAGAKOS, 2012; DAVYDENKO, 2014).

Espera-se que os valores dos indicadores de desempenho chave sejam consistentes, transparentes e precisos. Consistência é necessária para que as comparações ao longo das séries temporais possuam significado e, para que isso aconteça, eventuais mudanças nos dados, sistemas padrão ou métodos devem ser documentados. Transparência deve ocorrer através do encaminhamento dos principais problemas de maneira coerente, divulgando quaisquer suposições, métodos de cálculo e fontes de dados. Precisão é fundamental para assegurar que as incertezas estejam reduzidas ao máximo, permitindo assim que os usuários tomem decisões com segurança (PANAGAKOS, 2013; FOZZA, RECAGNO, 2012; PSARAFTIS, PANAGAKOS, 2012).

3. A CABOTAGEM NO BRASIL.

A navegação de cabotagem é aquela realizada pela costa do território nacional com a finalidade de realizar transporte entre portos do mesmo país, podendo ser realizada através do transporte entre dois portos marítimos ou entre um porto marítimo e um porto fluvial.

Em 2013, a navegação de cabotagem apresentou uma taxa de crescimento de 1,7% em relação ao ano de 2012 com uma movimentação de 204 milhões de toneladas. Vale ressaltar que a cabotagem conteinerizada cresceu 22,5% no comparativo de 2012 e 2013, o que equivale a 3,6 milhões de toneladas de peso bruto dos contêineres. Concomitantemente observou-se uma pequena queda na carga geral solta que reduziu 3,6% no mesmo período (ANTAQ, 2013).

Os pontos positivos da cabotagem consistem em: grande capacidade de carregamento, menor custo de combustível por tonelada transportada redução de acidentes, menor custo e menor emissão de poluentes, como demonstrada na Figura 2 (CNT, 2013):

A cabotagem é capaz de gerar benefícios ambientais gigantescos. Os governos de diversos países vêm lutando para garantir a redução das concentrações de gases de efeito estufa, causadores de mudanças climáticas. O Brasil assumiu em 2009 o compromisso nacional de reduzir as emissões destes gases de 36% para 39%, por conta da Política Nacional sobre Mudanças do Clima. O setor de transporte tem grande influência na ampliação dessas emissões, sendo o CO_2 um dos principais gases causadores do efeito e sua emissão no transporte se dá através dos modais rodoviários, ferroviários e aquaviários. Há uma estimativa de que essas emissões cresçam de 42% a 46% até o ano de 2020, onde se calcula

que 88% dessas emissões venham do setor rodoviário, 8% do ferroviário e 4% do setor aquaviário (CNT, 2013).



Figura 2: Capacidade de Carga – Comparação entre modais. Fonte: CNT, 2013

As cidades brasileiras, juntamente com seus centros consumidores e as zonas industriais, estão em uma faixa muito próxima ao litoral, onde vivem cerca de até 200 km da costa, um número de aproximadamente 80% da população. Juntando este fato, o Brasil possui 34 portos públicos ao longo de 7400 km de costa, além de 129 terminais de uso privativo. A cabotagem torna-se atrativa como meio de transporte de longa distância e principalmente para interligar as regiões Norte e Sudeste e Sul do Brasil. Suas vantagens podem ser descritas abaixo:

- ► Menor custo por TKU (Tonelada por quilômetro útil);
- ► Baixo custo com operações de seguro;
- ► Baixo risco com acidentes;
- ► Maior capacidade de carregamento, com relação aos outros modais;
- ► Menor emissão de gases nocivos ao meio ambiente

Sua principal vantagem surge no contexto da movimentação, devido a sua padronização, entre os três modais (cabotagem, ferrovias e rodovias), ou seja, a intermodalidade. Um

estudo realizado por uma empresa de navegação de cabotagem no Brasil (contêiner) indica que:

- ► Os navios devem realizar regularmente a escala proposta;
- ► Os terminais portuários devem possuir eficiência e eficácia desde a chegada da mercadoria até seu processo de armazenagem e despacho, possuindo também uma boa integração para os outros modais (boa intermodalidade);
- ► Haja infraestrutura inteligente que conecte o porto ao cliente, através do centro de distribuição (CD) e que este não esteja muito afastado do porto;
- ► Simplicidade documental e controles que sejam equivalentes aos demais modais do sistema.

4. METODOLOGIA.

Do ponto de vista da natureza, este trabalho pode ser considerado uma pesquisa básica, do ponto de vista da abordagem é considerada como qualitativa, não se aplica métodos e técnicas estatísticas, do ponto de vista de seus objetivos e procedimentos básicos é considerada uma pesquisa exploratória, envolvendo levantamento bibliográfico sobre o tema.

Os instrumentos de pesquisa deste trabalho foram levantar os artigos científicos pertinentes ao tema pesquisado e avaliar seus pontos essenciais que contribuísse para este estudo, além de ter sido realizado visitas *in loco* na Suécia, entrevistando pesquisadores que atuam na implantação de um sistema de corredores verdes europeus e visitas técnicas em portos europeus também que implantaram o sistema logístico sustentável (*green corridor system*). Foram realizadas entrevistas com especialistas que implantaram as gestões portuárias sustentáveis na Europa. Também foram realizadas visitas nas empresas de navegação de cabotagem no Brasil para conhecer os principais entraves do sistema, assim como visitas em portos brasileiros.

Após obter o embasamento teórico sobre o tema elaborou-se um roteiro de questões relevantes para obter detalhes do sistema Green Corridor Europeu e também do estágio atual da cabotagem no Brasil. As respostas para estes questionamentos foram dadas através das visitas *in loco* que forma realizas na Europa e Brasil, em centro de pesquisa internacional,

universidade internacional, empresa de planejamento portuário internacional, portos internacionais, portos nacionais e empresas de navegação de cabotagem nacional.

Estas informações foram coletadas e analisadas para se ter informações concretas do estágio de implantação do sistema de corredor verde europeu, seus principais entraves, suas principais técnicas inovadoras, seus principais atores e o papel de cada um num sistema integrado de gestão logística verde (*green corridor*). Também foram essenciais para se obter o retrato atual do sistema de cabotagem no Brasil, principalmente o corredor logístico analisado neste estudo, entre as cidades de Manaus (região Norte do Brasil) até a região Sudeste, através do modal de transporte marítimo, a cabotagem.

A vantagem desta metodologia é poder entender um sistema teoricamente e ter a oportunidade de verificar suas principais características *in loco*, checando ponto a ponto todos os aspectos intrínsecos ao projeto, e com isto entender o papel de cada ator no processo, para se alcançar um objetivo comum, um corredor logístico sustentável, além de checar *in loco* as principais tecnologias inovadoras utilizadas nas operações logísticas.

A desvantagem desta metodologia é o tempo para realizar todas as visitas aos atores envolvidos no sistema, principalmente quando se trata de operações no exterior, que demandam um alto custo das viagens e tempo dos pesquisadores, além de viagens no Brasil, encarecendo o método de coleta de dados para análise e inferência.

5. ZONA FRANCA DE MANAUS – REGIÃO NORTE DO BRASIL.

A Zona Franca de Manaus (ZFM), localizada no estado do Amazonas, é uma área que tem o objetivo de fomentar a industrialização e o desenvolvimento na região Norte do país e, para isso, concede uma série de descontos fiscais às empresas que se instalam na região. Os tributos reduzidos são: IPI (imposto sobre produto industrializado), o qual é desonerado; IE (imposto de exportação); II (imposto de importação) que é abatido em até 88%; desconto no ICMS (imposto na circulação de mercadorias e serviços), que varia entre 55 a 100%; isenção por um período de dez anos no IPTU (imposto predial territorial urbano) a contar pelo tempo de instalação da indústria; redução de 75% no imposto de renda de pessoa jurídica; e isenção da contribuição para o PIS/PASEP e COFINS nas operações dentro da ZFM.

Os produtos eletroeletrônicos e os bens de informática possuem uma considerável contribuição no polo de Manaus. Juntos, o faturamento foi de R$40,2 bilhões, no período compreendido de janeiro a novembro de 2014 e, os produtos nos quais tiveram maior produtividade estão os televisores, com produção de 13,8 milhões de aparelhos e os *tablets*, que registraram 2,5 milhões de peças fabricadas, representando 15,18% de aumento, comparado ao ano anterior.

A produção total na Zona Franca de Manaus, é escoada para todas as regiões brasileiras, utilizando-se o modal rodoviário e a cabotagem. No transporte por cabotagem, o porto de Manaus é o escolhido para realizar o embarque e desembarque de mercadorias. Neste porto, toda movimentação de contêineres é realizada através de dois complexos portuários privados: o super terminais e no Chibatão. Juntos, movimentaram no ano de 2013, cerca de 325.662 unidades, um aumento de aproximadamente 9,1% com respeito ao ano anterior.

Tomando como exemplo a cidade de São Paulo, localizada na região Sudeste do Brasil, a Zona Franca de Manaus está aproximadamente a 4.000 km de distância e fazer este trajeto por rodovia demora alguns bons dias, o que pode variar entre 6 a 10 dias, pois as estradas em sua maioria são precárias, além de depender do transporte de balsa. Porém, o modal rodoviário ainda é o meio de transporte mais utilizado no Brasil, de norte a sul.

Na Figura 3 há uma representação de como o modal rodoviário atravessa o Brasil, tomando como referência o porto de Santos, em São Paulo, para chegar em Manaus e vice-versa. Também é apresentada a rota pela costa do País, utilizando o modal marítimo, a cabotagem para ir de Santos até a cidade de Manaus e vice-versa.

O transporte por cabotagem entre estas duas regiões, São Paulo e Manaus e vice-versa, demora em média entre 12 a 15 dias. Este valor é apenas referente ao transporte marítimo, depois ainda há o tempo do transporte rodoviário, até seu destino final.

Um enorme desafio para o Brasil é alterar, aos poucos, sua matriz de transporte que atualmente possui uma parcela enorme concentrada no modal rodoviário. Com esta extensão territorial enorme e uma costa imensa para ser explorada por via marítima, a cabotagem é um meio sustentável e inteligente de diminuir a quantidade enorme de caminhões atravessando o País.

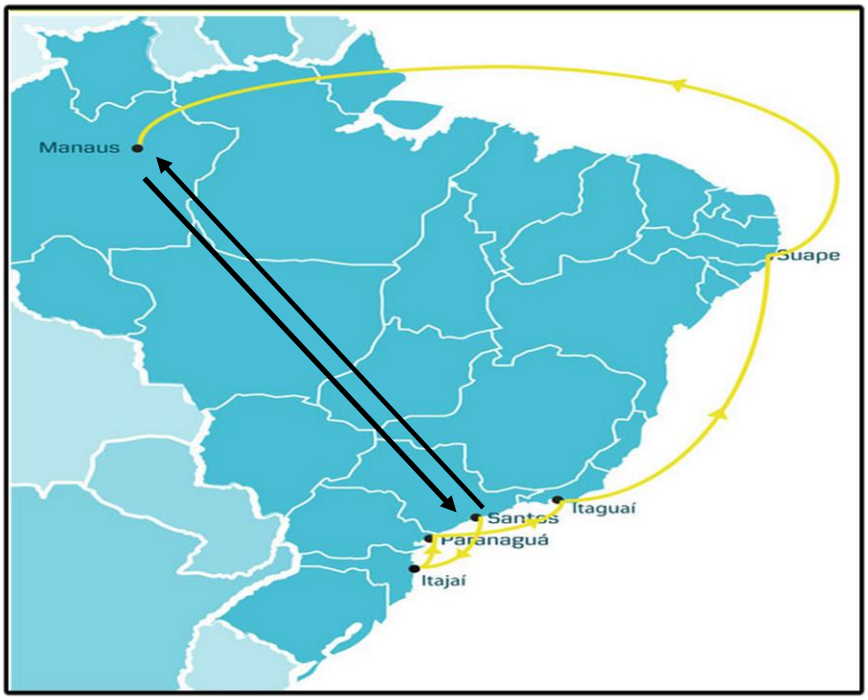


Figura 3: Transporte entre São Paulo e Manaus, rodoviário e por cabotagem

A Figura 4 apresenta com mais detalhes o sistema de transporte entre as regiões Norte e Sul do Brasil, por rodovias e pelo mar.

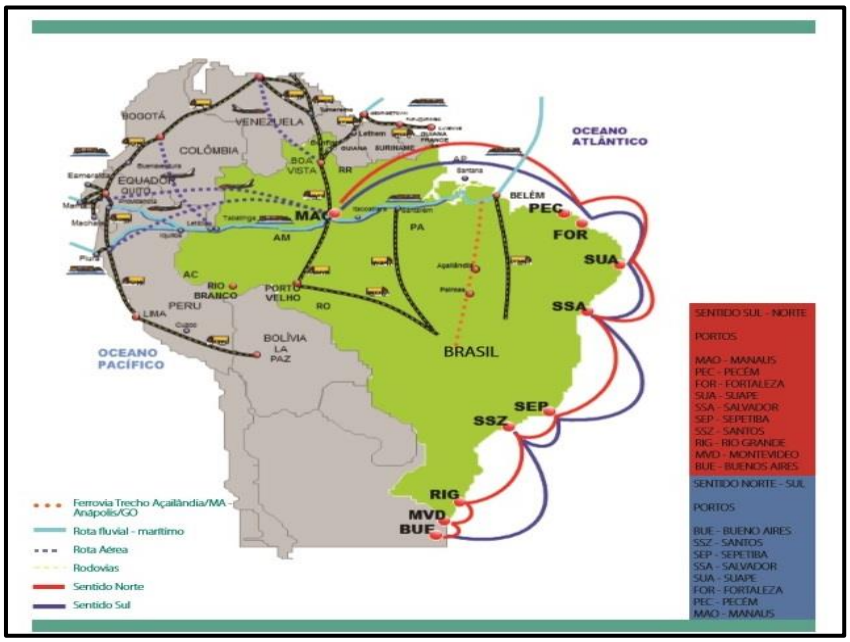


Figura 4: Transporte rodoviário e por cabotagem entre as regiões Norte e Sul do Brasil

Como a produção de eletroeletrônico do Brasil está localizada na Zona Franca de Manaus e a maior demanda de consumo destes produtos está localizada nas regiões Sudeste e Sul do País, há necessidade de transportar estes produtos até seu local de consumo e para isto utiliza-se atualmente os modais rodoviário e marítimo (cabotagem). O serviço de cabotagem, integrando o norte e sul do Brasil está em processo de crescimento e por isto justifica-se a possibilidade de se implantar um corredor verde sustentável nesta rota.

Há necessidade de aumentar o serviço ofertado pelas empresas de navegação ao mercado nacional, integrar o serviço marítimo com o sistema de transporte rodoviário e quando possível ao modal ferroviário também, aplicando o conceito da intermodalidade nas operações logísticas. Desburocratizar o sistema, as legislações municipais, estaduais e federais para facilitar ainda as operações de transporte. A desburocratização está relacionada com as operações portuárias, movimentação, armazenagem e transporte do produto entre sua origem e destino.

6. CONCLUSÃO.

O sistema de cabotagem no Brasil possui um potencial enorme para crescer e permitir um sistema de transporte mais sustentável para a nação. Apenas utilizar o transporte marítimo em maior escala, não significa necessariamente ter um processo totalmente sustentável no transporte nacional. É um passo importante, contudo toda a cadeia, desde sua origem até seu destino deve ter uma atenção especial, para implantação de um corredor verde.

Na parte referente ao transporte rodoviário, os veículos utilizados necessitariam utilizar combustíveis sustentáveis, ter rodovias que permitem que os veículos possam escoar suas produções sem grandes congestionamentos, manter uma velocidade média do caminhão ao longo do trajeto que permitisse a baixa ou redução total de emissões de poluentes, ter motoristas treinados e capacitados para realizarem suas operações. Ter um sistema de informações gerenciais das cargas, das chegadas e saídas dos veículos para evitar filas nas operações portuárias.

No transporte marítimo teria que ter motores que permitissem a baixa emissão de poluentes, que utilizassem combustíveis alternativos e sustentáveis nas operações de transporte, nas operações de carregamento e descarregamento dos produtos, com uso da energia elétrica para os motores auxiliares dos navios, quando o mesmo estivesse atracado para realizar as

operações. Que os equipamentos utilizados nos portos, também utilizassem combustíveis renováveis em suas operações, visando a eliminação ou redução de CO_2 (dióxido de carbono), NOx (óxido de nitrogênio), SO_X (óxido de enxofre) e material particulado atmosférico $PM_{2,5}$ e PM_{10}.

A cabotagem pode sim permitir ao Brasil o uso do transporte sustentável entre estas regiões extremas de um país com extensão territorial. O modal rodoviário ficaria para distâncias menores e entrega porta-a-porta, que sua principal função. Outro fator importante para um transporte sustentável na cabotagem é o tratamento adequando da água de lastro dos navios, assim como da água de esgoto e água de uso doméstico, evitando assim a contaminação da água marítima com bactérias, agentes patogênicos, ovos parasitas, água com gorduras, detergentes, pesticidas e metais pesados.

A rota entre Manaus e São Paulo ou até o sul do País, Porto Alegre, com o modal marítimo, cabotagem, é essencial para os produtos eletroeletrônicos, pois permitem menor avaria dos produtos, maior segurança, maior confiabilidade no transporte, para produtos de maior valor agregado. Além disto, a rota inversa entre as regiões Sul e Sudeste do País, para a região Norte, obrigatoriamente passa pela região Nordeste, o que pode contribuir muito com os produtos que precisam ser transportados para estas regiões do Brasil. Transporta-se produtos industrializados da região de Manaus para as regiões Sul e Sudeste e a rota inversa leva-se os mais variados produtos para abastecer as regiões Norte e Nordeste, como alimentos, materiais de limpeza e higiene pessoal, matéria-prima, peças e componentes etc.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANTAQ – Agência Nacional de Transporte Aquiaviário. **Boletim Anual de Movimentação de Cargas,** 2013.

ARNOLD, J. Best Practices in Corridor Management. **Trade Logistics Group**, p. 1-51, 2005.

BOSQUET, R., JULLIEN, A., VANDANJON, P-O., DAUVERGNE, M., SANCHEZ, F. Eco-design model of railway: A method for comparing the energy of two project variants. **Transportation Research Part D** 33, 111-124, 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE – Cabotagem, Pesquisa Confederação Nacional do Transporte Aquaviário, 2013.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. **Boletim Estatístico**, fevereiro, 2014.

DAVYDENKO, I., EHRLER, V. DE REE, D., LEWIS, A. TAVASSZY, L. Towards a global CO_2 calculation standard for supply chains: Suggestions for methodological improvements. **Transportation Research Part D** 32, 362-372, 2014.

ENGSTRÖM, R. The Swedish green corridor initiative – history, current situation and thoughts about the future. Development Strategist - Freight and Logistics - **The Swedish Transport Administration - Strategic Development**, 2012.

FOZZA, S.; RECAGNO, V. Sustainable Technologies and Innovation for Green Corridors: Survey and Application. **Science Direct**, p. 1-11, 2012.

GEORGOPOULOU, C.; KAKALIS, N. Assessing the Sustainability Potential of European Union Transport Networks. **Association for European Transport and Contributors**, p. 1-17, 2012.

GUPTA, M. D. Carbon footprint road transport use in Kolkata city. **Transportation Research Part D** 32, 397-410, 2014.

LOZHKINA, O. V., LOZHKIN, V. N. Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models. **Transportation Research Part D** 36, 178-189, 2015.

MOHAJERI, N., GUDMUNDSSON, A., FRENCH, J. R. CO_2 emissions in relation to street-network configuration and city size. **Transportation Research Part D** 35, 116-129, 2015.

MOYANO, H.; PANAGAKOS, G.; FOZZA, S.; HOLTE, E.; GEORGOPOULOU, C. Green Corridors Handbook – Vol. 1. **Supporting EU's Freight Transport Logistics Action Plan on Green Corridors Issues**, p. 1-75, 2013.

PANAGAKOS, G. Green Corridors Handbook – Volume 2: Supporting EU's Freight Transport Logistics Action Plan on Green Corridors Issues. **Seventh Framework Programme**, 2013.

PSARAFTIS, H.; PANAGAKOS, G. Green Corridors in European Surface Freight Logistics and the Super Green Project. **Science Direct**, p. 1-10, 2012.

ZAMBOBI, G., ANDRÉ, M. ROVEDA, A., CAPOBIANCO. Experimental evaluation of heavy duty vehicle speed patterns in urban and port areas and estimation of their fuel consumption and exhaust emissions. **Transportation Research Part D** 35, 1-10, 2015.

Trabalho Financiado pela FINEP e CNPQ (Agências de fomento do Brasil)

ANALISE COMPORTAMENTAL DOS TRIPULANTES DAS EMBARCAÇÕES DA HIDROVIA TIETE – PARANÁ, EM DIVERSAS SITUAÇÕES (INICIO, DURANTE E TERMINO DA VIAGEM, OS PONTOS CRÍTICOS), PARA PROMOVER A SEGURANÇA DAS PESSOAS E DA HIDROVIA ATRAVÉS DE CONSCIENTIZAÇÃO

Padroni, Rosa Maria[1]; Almeida Prado, Alex[2]; Banhos Navarro Rezende, Suely Aparecida[3]; De Biazi, Lilian Gabriela[4]; Silva do Rio, Dorival[5]; Furtado, Estevão[6]

Fatec Jahu; [1]rosa.padroni@fatec.sp.gov.br; [2]alexfatec@hotmail.com; [3]lasrezende@ig.com.br; [4]lilianbiazi@gmail.com; [5]dorivalsdorio@hotmail.com; [6]estevaofurtado@bol.com.br

RESUMO.

O crescimento operacional da Hidrovia Tiete-Paraná , entre outros fatores se deve por estar localizada, boa parte no sudeste do país, maior região produtiva nacional. Por ter capacidade varias vezes maior que um veículo rodoviário de carga, a preocupação é em relação com a segurança das pessoas e da Hidrovia. Segundo o Departamento Hidroviário (2008), desde sua constituição à situação atual, o modal hidroviário vem sendo atestado por sua eficácia e é reconhecido mundialmente como meio de transporte eficiente e mais adequado do ponto de vista econômico, social e ambiental, apresentando vantagens em relação aos outros modais, como capacidade de concentração de cargas, vida útil da infraestrutura, vida útil dos veículos (embarcações) e máquinas, menor consumo de combustível , emissão de poluentes, congestionamento de trafego, número de acidentes e custo operacional. Mesmo assim, existe acidentes na hidrovia. O objetivo deste projeto consiste em analisar o funcionamento da hidrovia e identificar os diversos tipos de comportamento humano dos aquaviários em diversas etapas das viagens, com isso cuidar da segurança, através de análise dos acidentes. Esta pesquisa identificou possíveis perdas no desempenho, produtividade, saúde, segurança, e/ou distúrbios familiares e sociais associados ao trabalho em regime de confinamento. Neste presente estudo se avaliará a relação entre o trabalho embarcado nas vias interiores e a vida cotidiana desses trabalhadores. Foi aplicada uma pesquisa para conhecer o ambiente de trabalho e analisar o comportamento humano

durante o período embarcado, tais como, a jornada de trabalho, período de descanso, reconhecer sua trajetória de vida, as percepções sobre esse tipo de trabalho e motivações para a escolha na área. Esse trabalho poderá ser estendido a outras hidrovias da América do Sul.

1- INTRODUÇÃO.

O transporte aquaviário está ligado aos mais diversos segmentos, é responsável por toda e qualquer atividade econômica e pelo desenvolvimento de uma cidade, região ou país. Esta modalidade apresenta inúmeras vantagens econômicas, sociais e ambientais se comparada a outros modais. Dessa forma, intensifica o crescimento industrial, aumentando o mercado e a produção, e portanto, gerando empregos. As hidrovias são bastante exploradas para transporte em longas distâncias em países desenvolvidos. É o meio de transporte mais econômico, com maior capacidade de carga e menor impacto causado ao meio ambiente, constituindo importante ferramenta para o comércio interno e externo, pois propicia a oferta de produtos a preços competitivos. Na região sudeste, encontra-se a hidrovia Tietê/Paraná (Figura 1), também conhecida como a hidrovia do MERCOSUL, responsável pelo escoamento da produção agrícola de São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais. Segundo o Ministério dos Transportes a hidrovia possui um trecho navegável aproximadamente de 2400 km, sendo 800 km no rio Tietê e 1600 km no rio Paraná.



Figura 1 - Bacia do Tietê-Paraná. Fonte: Ministério dos Transportes

1.1- Trabalho Embarcado.

O trabalho em regime de confinamento impõe ao trabalhador tensões adicionais tais como: restrições de espaço físico, ausência da família por longo período e ausência da vida social urbana, e estes profissionais se encontram expostos a outros riscos a saúde, não só psicossocial, como também, por ser um trabalho complexo, o profissional estará sujeito a um nível de imprevisibilidade em caso de incidentes ou acidentes, expondo-se a perigos como incêndios, explosões, na operação das máquinas, entre outros. Segundo Braga:

"*O trabalho a bordo de navios brasileiros é regulamentado por convenções internacionais combinadas com leis e normas brasileiras, que são elaboradas por entidades ligadas ao ambiente marítimo, especialmente a "International Maritime Organization" (IMO), a agência especializada das Nações Unidas responsável pelo aperfeiçoamento da segurança marítima e a prevenção da poluição por navios, e a Diretoria de Portos e Costas (DPC), que representa a IMO no Brasil e tem por finalidade planejar, dirigir, coordenar e controlar as atividades técnicas e administrativas relacionadas com a Marinha Mercante, quanto à praticagem, segurança das embarcações e instalações portuárias". BRAGA et al. (2011).*

O autor ainda acrescenta que, segundo a IMO (2010): *"O código tem como propósito prover um padrão internacional para a gestão e operação segura dos navios e a prevenção da poluição, de acordo com a resolução A.748(18), adotada em quatro de novembro de 1993, proveniente da 18ª Assembleia Geral da IMO (2010) e que tornou-se parte integrante da Convenção SOLAS 1974 (capítulo IX). Seus objetivos são "assegurar a segurança no mar, prevenir danos pessoais ou a perda de vida, bem como evitar danos ao meio ambiente, em especial o meio ambiente marinho e à propriedade".*

1.2- Objetivo.

Este estudo tem por objetivo conhecer a rotina de trabalho a bordo, identificar os riscos apresentados pela hidrovia Tietê-Paraná aos trabalhadores embarcados, apresentar dados sobre acidentes na hidrovia, analisar o comportamento humano e reconhecer se o trabalho em regime de confinamento pode afetar a saúde física e mental desse profissionais. O estudo se pautou em uma análise estatística dos dados levantados, identificação dos pontos críticos. As considerações finais podem contribuir para melhorar a segurança e minimizar acidentes a bordo, tanto para os profissionais como para o meio ambiente.

2- HIDROVIA TIETE-PARANÁ.

Com a nascente localizada na cidade de Salesópolis no estado de São Paulo, o rio Tietê divide o estado ao meio. Possui, aproximadamente, 1.100 km de extensão, desde a Serra do Mar até o rio Paraná, na divisa com o estado do Mato Grosso do Sul. O rio Paraná, com extensão de aproximadamente 2.960 km (desses 1.300 km em território Argentino, 780 km em território brasileiro e 880 km limítrofe entre a República do Paraguai e Argentina ou Brasil) nasce entre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, na confluência dos rios Grande e Paranaíba. A união da capacidade de navegação desses dois rios gerou a hidrovia Tietê-Paraná, contando com as construções de aproveitamentos hidroelétricos e eclusas, nos rios Paraná e Tietê (GUIA LOG, 2008).

A hidrovia Tietê-Paraná é consolidada como um sistema de transporte multimodal, pois está associada às malhas ferroviárias e rodoviárias, abrangendo os estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais. No rio Tietê, o sistema hidroviário é administrado pelo Departamento Hidroviário (DH) da Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo; e, no Rio Paraná, pela Administração da Hidrovia do Paraná (AHRANA) vinculada ao Ministério dos Transportes, com base em informações da ANTAQ 2008.

2.1- Infraestrutura.

A hidrovia Tietê-Paraná possui 10 barragens, 10 eclusas, 23 pontes e um Canal Artificial de Pereira Barreto. O aprofundamento do leito ou o redimensionamento de curvaturas hoje possibilitam a navegação de comboios cada vez maiores para atender à necessidade dos usuários da via. A formação de comboios está limitada ao canal de navegação e às dimensões das eclusas na hidrovia, segundo informações obtidas no TCC apresentado pelos alunos da Fatec-Jahu de Ferrari e Lima (2013, p.14), conforme mostra o Quadro 1 abaixo:

Quadro 1 - Dimensões de embarcações tipo Tietê e Paraná. Fonte: Ferrari e Lima, (2013).

Hidrovia	Comprimento (m)	Largura Boca (m)	Altura - acima linha d'água (m)	Calado(m)
Tietê	**137**	**11**	**07**	**2,5 a 2,8**
Paraná	**200,5**	**16**	**10**	**3,7**

Os canais artificiais são obras realizadas nas hidrovias para garantir a navegação, conforme apresentado no livro da ANTAQ - Hidrovias do Brasil (2009). O Canal Pereira Barreto interliga os rios Tietê e São José dos Dourados, possui 9600m de comprimento e é considerado o segundo maior canal artificial do mundo. Ele possibilita a navegação no Tramo Norte da Hidrovia Tietê-Paraná, interliga os estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás, é o primeiro Canal da América do Sul com características hidroviárias e garante a navegação até a cidade de Simão/ MG.

Existem diversos dispositivos de sinalização ao longo da hidrovia para garantir a navegabilidade. São eles:

- Boias de sinalização de rota e de ponto de espera; Placas de margem e de ponte; Réguas para medir o nível da água; Circuito fechado de TV que monitoram as embarcações durante o processo de eclusagem.

Outro sistema que tem sido utilizado na navegação marítima é o AIS (Automatic Identification System), conhecido no Brasil como Sistema de Identificação Automática de Navios. O sistema AIS é um recurso utilizado para aumentar a segurança do tráfego marítimo mediante um fluxo de transmissão de dados. É também uma "caixa negra" em que, na memória, se armazenam dados relevantes sobre a navegação que vão, certamente contribuir para o esclarecimento das causas de determinados problemas e, consequentemente, para a sua futura resolução.

Esse sistema permite receber, processar e distribuir a informação de localização que os barcos transmitem através dos seus terminais AIS segundo os requisitos estabelecidos pela Organização Marítima Internacional (IMO), suas funções incluem:

- Monitoramento do tráfego pela internet, através do centro de controle; Informações precisas de navegação, tais como: carga estática, nome, número de identificação IMO, dimensões e tipo; Informações relacionadas diretamente com a embarcação: calado, tipo de carga, destino e tempo estimado de chegada; Informações dinâmicas em tempo real sobre dados de navegação: latitude e longitude, curso sobre o solo, a velocidade sobre o solo, velocidade angular, condições de navegação.

2.2- Apresentação e avaliação dos pontos crítico.s

A manutenção constante de obras vivas e sinalização da via é fundamental para garantir a navegabilidade, como também, melhorias que atendam a necessidade dos comboios, cada vez maiores que exigem a ampliação de vãos e altura de pontes, dragagem, e etc. Todos os equipamentos instalados ao longo da hidrovia estão sujeitos a avarias, não só pela ação das águas, mas por embarcações que colidem com os mesmos, causando danos ao equipamento e comprometendo navegação.

A pesquisa de campo realizada pelos alunos do curso especial de acesso a Capitão Fluvial (EACF) (2013), apresentou análises dos pontos críticos da via, com o objetivo de melhorar a segurança da navegação: como planejamento, manutenção e balizamentos, baseado nas informações fornecidas pelo Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo.

Constatou-se que as eclusas apresentam iluminação refletiva e fraca, necessitando de sinais luminosos para adentrar as mesmas, tanto à jusante quanto à montante. Além da iluminação, são necessário as melhorias, como a construção e proteção de muro guia que facilitem a entrada das embarcações com maior segurança. Devido a grande demanda, outro ponto importante é a instalação urgente de novos pontos de espera próximos às eclusas para facilitar a operação no momento da eclusagem.

Existem algumas torres de alta tensão fixadas ao longo do canal de navegação, conforme representado na Figura 2 (Rancho Frei Galvão), que oferece riscos aos navegantes, sendo necessária a instalação: de boias de sinalização, como: ”*perigo isolado*”**,** a colocação de defensas, ou mesmo, ser avaliada a possiblidade de remoção da mesma.

De acordo com as informações obtidas nesse relatório, o número de boias em alguns locais é insuficiente, o que requer a instalação de novas e alinhamento das já existentes. Faz-se necessário também, a manutenção constante dos cabeços flutuantes de amarração avariados, para aliviar o trafego viário. Diversos pontos críticos foram apontados e estão representados abaixo, conforme Quadro 2.



Figura 2 - Torre de Alta Tensão - (Barra Bonita/Bariri). Fonte: Gustavo Palmesan, 2010.

2.3- Acidentes da hidrovia.

O canal de navegação quando dotado de elementos de apoio adequados, sejam obras civis ou sinalização, garantem um tráfego seguro, e diminui-se, assim, o número de acidentes ao longo de sua extensão. Existem muitos locais que requerem maior atenção e cuidado durante a navegação. São os chamados pontos críticos e devido ao número crescente de embarcações na via, exige-se uma via balizada com placas que oriente principalmente quanto:

- À posição do canal de navegação; À preferência de passagem em pontes e locais de afunilamento; à transposição do desnível nas eclusas.

A construção de embarcações está limitada ao canal de navegação e deve obedecer a condições técnicas mínimas de operação quanto a: calado máximo, largura segura para a eclusagem, potência mínima por tonelagem, sistema de governo, condições estruturais e de estabilidade. Porém, o não cumprimento de tais exigências poderá ocasionar em acidentes e/ou impedimento do tráfego, gerando grandes prejuízos.

Quadro 2 - Apresentação dos pontos críticos da via. Fonte: Pesquisa dos alunos do curso especial de acesso a Capitão Fluvial, 2013.

LOCAL	
Ponte Ayrosa Galvão	Altura inferior e existência de obras submersas a jusante e montante
Eclusa de Bariri	Boias e PE à montante, insuficientes.
Bariri/Ibitinga	PE a jusante, insuficiente; falta sinalização de pedra submersa (entrada do canal); substituição de boia cega 63, por luminosa.
Porto de Ribeirão Bonito	Existência de viveiros de peixes no canal sem fiscalização.
Barragem: Ibitinga/Promissão	Boias e PE à jusante, insuficientes
Ibitinga	A jusante necessita alargamento e dragagem do canal.
Eclusa Ibitinga	A montante, constante retirada de aguapés.
Ponte Ferrão (SP-333)	Necessita da liberação do vão inacabado há dois anos.
Promissão	A montante, instalação PE e boias (margem esquerda do canal).
Promissão	Alinhamento de boias e correção dos PE à jusante.
Ponte Barbosa Promissão/N.Avanhandava	Alargamento dos vãos da ponte.
Eclusa Nova Avanhandava	A montante, Instalação de boias no PE.
Eclusa N.Avanhandava	A jusante, instalação de boias no PE, alargamento do canal até PE da ilha; e instalação de defensas na torre existente, por ocorrer fortes ventos no local.
N.Avanhandava/P.Barreto	Canal apresenta erosão, necessita de recuperação dos taludes e instalação de sinalização refletiva.
P.Barreto/Eclusa Três Irmãos Ponte SP-163	Instalação de defensas nos pilares à jusante.
Eclusa Três Irmãos	Instalação de muro guia montante; instalação de PE e boias.
Eclusa Três Irmãos	A jusante, liberação para atracação nos dolfins existentes.
Ponte Barrageiro	Instalação de defensas nos pilares.

Segundo informações obtidas no TCC apresentado pelos alunos da Fatec-Jahu de Santos, Ariano e Rezende (2007, p.22):

"Existem outros fatores, no entanto, que contribuem e talvez tenham maior responsabilidade quanto à ocorrência de acidentes, principalmente em nossas hidrovias. A falta de cuidados com relação aos aspectos de projeto, construção e operação das embarcações aparecem

como um ponto importante. Embarcações que não apresentam condições técnicas mínimas de operação, como potência mínima para dada tonelagem, sistema de governo precário, condições estruturais e de estabilidade questionáveis, e também a utilização incorreta das embarcações com relação à carga, seja pela tonelagem ou pelo tipo, têm uma contribuição considerável na ocorrência de acidentes em uma hidrovia."

É extensa a legislação que rege a operação de navegação para garantir a segurança das embarcações, da tripulação e do meio ambiente. E, embora haja uma fiscalização intensa, os acidentes ainda ocorrem e as causas são as mais diversas, destacando-se principalmente, erros humano. Quanto aos fatores especificamente humanos, com respeito aos pilotos e a tripulação, Santos, Ariano e Rezende (2007, p.22) afirmam que:

"Não se pode ter margens de segurança aceitáveis em uma hidrovia quando pilotos e/ou tripulação não dispõem de qualificações que os habilitem a exercer seus trabalhos com eficiência e segurança. Existem ainda os casos de negligência e imprudência por parte do piloto, ou até mesmo da tripulação em geral, que vêm se somar a todo esse conjunto de causas de ocorrência de acidentes em uma hidrovia. (2007)."

2.4- Dados estatísticos de acidentes na Hidrovia Tietê-Paraná.

Através de estudo dos dados dos acidentes na Hidrovia Tiete-Paraná, foram agrupados de acordo com a seguinte sistemática:

- Tipo de embarcação; Natureza do acidente; Atividade desenvolvida; Estado da ocorrência; Quantificação por anos; Quantificação por meses; Vítimas fatais, desaparecidos e feridos.

Conforme divulgado no jornal Estadão (28/03/13), um comboio carregado com 5,2 mil toneladas de soja, no dia 22 de março de 2013, saiu da rota e bateu numa torre de linha de transmissão de energia instalada no rio Tietê, em Araçatuba (SP). A torre, de 20 metros de altura, instalada numa plataforma no leito do rio, a 350 metros de distância da rota de navegação, caiu e levou os cabos de alta voltagem (440 KV) para dentro da água. Outras cinco torres foram danificadas em terra firme, três delas se retorceram e vieram ao chão (Figura 3).



Figura 3 - Choque de barcaça com torre de transmissão, próximo a Araçatuba. Fonte: G1. Globo.com, 2013.

3- O AMBIENTE DE TRABALHO E AS RELAÇÕES INTERPESSOAIS.

O local de trabalho pode incentivar a cooperação, espírito de equipe e o pensamento criativo. As diferenças de personalidade levam os indivíduos a tomarem atitudes variadas em situações semelhantes, muitas vezes podem gerar conflitos, caso não haja treinamentos adequados, estímulos motivacionais e controle no nível de estresse.

O ambiente de trabalho poderá influir no comportamento das pessoas, por conseguinte, nas relações interpessoais, e nos resultados das empresas em todos os sentidos. Sabe-se que o ser humano é fruto do meio em que vive, e é gerido por necessidades básicas que o motive ou não. O ser humano possui necessidades:

- **Fisiológicas:** alimentação, sono, atividades físicas, etc.;
- **Psicológicas:** segurança pessoal, participação, autoconfiança, afeição, que resultam na auto realização, responsável pelo desenvolvimento do próprio potencial.

Quando satisfeitas, essas necessidades podem motivar o bom comportamento humano, caso contrário, podem levar a desorganização de comportamento, agressividade, reações

emocionais, alienação e apatia. Acredita-se que quanto mais bem atendidas essas necessidades, tanto melhor será o desempenho de uma equipe. Conviver com o outro não é uma tarefa fácil, principalmente quando se refere ao ambiente de trabalho. Compreender como a personalidade afeta o comportamento no local de trabalho pode ajudar a determinar o que motiva os trabalhadores a agir ou se comportar de determinadas maneiras em situações adversas.

Observa-se que para trabalhar bem, e em grupo, as pessoas precisam ter competências técnicas para realizar suas funções, assim como competências emocionais. Num ambiente de confinamento, o profissional sofre grandes pressões emocionais, por estar longe da família por períodos prolongados, ausente de sua vida social, e pela convivência com pessoas diferentes.

3.1- O comportamento humano.

Ao longo dos anos o comportamento humano vem mudando dentro das organizações. São muitos os estudiosos desta área que afirmam que o comportamento humano pode ser resultado, desde sua formação genética até a inserção social e não dependem apenas de um único fator, mas sim do equilíbrio entre tais fatores.

Cada indivíduo possui uma maneira de agir em situações semelhantes. Os fatores que determinam o comportamento vão desde o seu nascimento, se desenvolve e se moldam conforme suas relações sociais. O comportamento humano é reflexo da maneira pela qual o indivíduo julga como certo ou o errado, sendo responsável pela formação da própria cultura do grupo ou organização. Ele é resultado de expectativas e experiências de vida e pelo ambiente em que está inserido.

Para Chiavenato (2006), o clima organizacional de uma empresa depende das necessidades básicas do ser humano, as fisiológicas e de segurança, porém, para sentirem-se motivados, requer um relacionamento bom com o grupo ao qual está inserido. Desse modo, define-se que o clima organizacional está diretamente ligado ao comportamento dos colaboradores com relação ao ambiente de trabalho.

De acordo com o artigo de Duarte (apud Maslow, 2003) os indivíduos reagem de forma positiva ou negativa de acordo com suas necessidades refletindo assim no clima

organizacional. Com base na pirâmide de necessidades de Maslow, todos os indivíduos têm necessidades a serem supridas, conforme apresentado na Figura 4 de Chiavenato (2004).

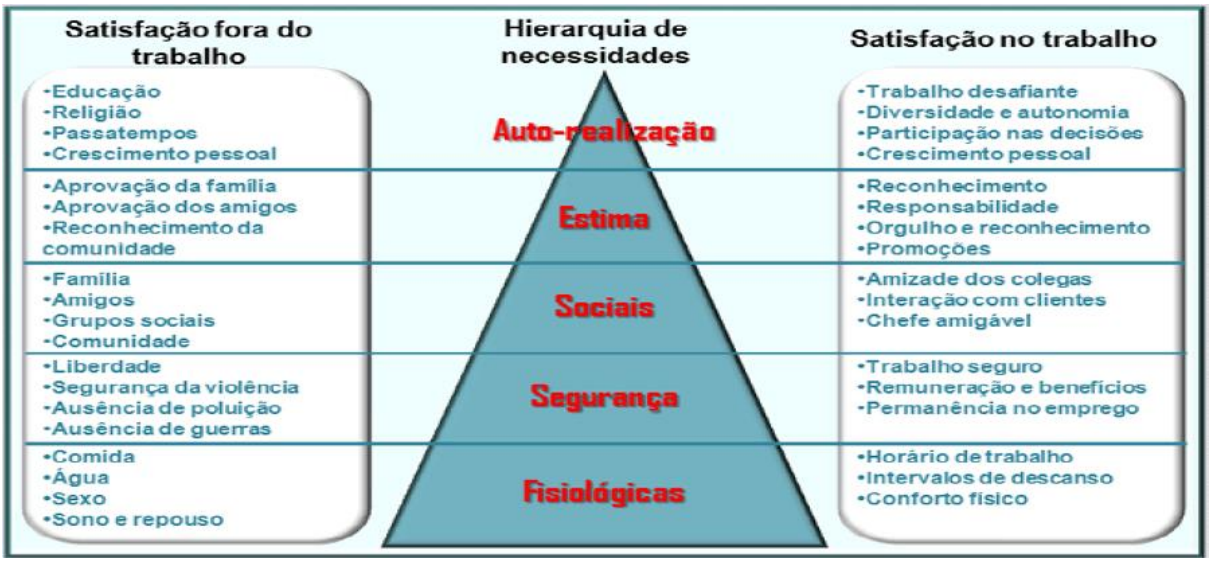


Figura 4 - Pirâmide de Maslow. Fonte: Chiavenato, 2004.

3.2- Segurança e Saúde no Trabalho.

Katissuma, Silva e Bulhões (2008) analisam que: *"Segundo a organização governamental dos Estados Unidos, OSHA (Occupational Safety and Health Administration), 95% dos acidentes são causados por falhas humanas, obviamente tem-se que analisar essa informação imersa no conceito de que existe um conjunto de causas para que os acidentes ocorram."*

A CLT – Consolidação das Leis do Trabalho, Decreto-Lei N. 5.452, institui a obrigatoriedade da empresa no fornecimento dos EPI's (Equipamento de Proteção Individual) em perfeito estado de conservação e funcionamento, e, que seja realizado treinamento para utilização e cuidado com os mesmos. Quanto à salvaguarda da vida humana nas águas interiores, o empregador deve implementar procedimentos de emergência e resgate adequados, incluindo a descrição dos cenários de acidentes obtidos a partir da Análise de Riscos; descrição dos métodos de salvamento e primeiros socorros a serem utilizados em caso de emergência.

No caso específico que apresentamos trata-se de profissionais que trabalham embarcados por empresas que atuam na hidrovia Tietê-Paraná. Segundo dados obtidos pela Capitânia Fluvial do Tietê-Paraná, no ano de 2013 aconteceram diversos acidentes, com ou sem vítimas, e

percebe-se que a maioria deles, ocorreu por falha humana, como imperícia, imprudência, negligência, entre outros, conforme apresentados no Quadro 3:

Quadro 3 - Mapa de Acidentes. Fonte: Capitania Fluvial Tiete- Paraná, 2013.

Local	Acidente/ Fato/Risco Observado	Tipo de Embarcação/ ER / Comercial
Eclusa da UHE Promissão	Imprudência do Comandante	Comercial
Lago Do Rio Verdinho – GO	Inobservância pelo condutor	Esporte e Recreio
Reservatório UHE Três Irmãos	Imprudência do Imediato	Comercial
Reservatório de Barra Bonita SP	Imprudência do Comandante	Comercial
UHE Nova Avanhandava SP	Negligência na Manobra, e na manutenção da bóia do ponto de espera a montante da UHE	Comercial
Represa de Jurumirim - SP	Imprudência do Comandante	Esporte e Recreio
UHE Nova Avanhandava SP	Imprudência do Condutor	Esporte e Recreio
Eclusa 2(dois) da UHE de Três Irmãos	Falha Operacional	Comercial
Condomínio Lago dos Paturis-Pederneiras- SP	Imperícia do Condutor	Esporte e Recreio
Reservatório da UHE de Promissão	Negligência do Condutor	Esporte e Recreio
UHE Nova Avanhandava SP	Negligência na Manobra de amarração e manutenção da boia do ponto de espera.	Comercial
Eclusa de Promissão	Imprudência do Comandante	Comercial
Eclusa de Ibitinga	Imprudência do Comandante e inobservância do ângulo de aproximação do comboio	Comercial
Três Lagoas- MS	Negligência do Condutor	Esporte e Recreio
Córrego Azul Araçatuba	A serem apurados os motivos do acidente.	Esporte e Recreio
Represa do Miranda-MG	A serem apurados os motivos do acidente.	Esporte e Recreio
Represa do Broa - Itirapina- SP	A serem apurados os motivos do acidente.	Esporte e Recreio

3.3 Trabalho em Regime de Confinamento.

O trabalho embarcado impõe aos trabalhadores certos riscos devido ao período de isolamento e confinamento. Assim as propostas de segurança no trabalho deveriam contemplar estratégias para minimizar os efeitos físicos e psicológicos. Quando embarcado, o profissional terá uma vida compartilhada vinte e quatro horas por dia durante seu período de confinamento, portanto considera-se que não haja momentos de privacidade. LEITE (2006) afirma ainda que:

"O trabalhador, nessa condição de isolamento, se percebe como um prisioneiro, disposto a aventurar-se, no limite do suportável da vida intermitente, mas optando pelos ganhos salariais, em troca do seu sacrifício e daqueles com quem convive. O efeito que o totaliza, vai gradativamente moldando a sua identidade num processo contínuo e crescente de alienação."

3.4 Os Riscos e os Fatores Humanos.

Do ponto de vista objetivo, o risco representa a probabilidade de ocorrência de algo indesejável e pode ser facilmente quantificado através de medidas estatísticas, enquanto que na forma subjetiva, ele está relacionado à possibilidade de ocorrência de um evento não desejado e depende de uma avaliação individual sobre a situação, sendo, portanto pouco quantificável.

O comportamento humano nem sempre é constante e racional, não seguindo padrões rígidos pré-estabelecidos. A caracterização do erro humano depende de uma definição clara do comportamento ou do resultado esperado, entendendo-se como um desvio anormal em relação a uma norma ou padrão estabelecido.

A maioria dos acidentes de trabalho é causada por atos inseguros e comportamentos que podem ser evitados. **Ato inseguro** é a maneira como a pessoa se comporta em determinada tarefa, situação, condição ou circunstâncias, expondo-se consciente ou inconsciente aos riscos. Consideram-se como **Conscientes**, quando sabem que estão se expondo ao perigo; os Inconscientes, quando desconhecem o perigo e o Circunstancial, conhecem ou não o perigo, e ainda assim, praticam da ação insegura. CORREA E CARDOSO (2007) citam que:

"[...] a propensão ao acidente é vista como característica do indivíduo, independente da tarefa por ele realizada, das condições de trabalho, do tempo e de outros fatores não pessoas. Na segunda visão a propensão ao acidente está associada a eventos críticos na vida do indivíduo mais do que a risco situacionais. Esta segunda visão parte da premissa de que toda a população está submetida aos mesmos riscos ocupacionais. (MENDES, 1995; RAOUF, 1998)."

Shappel&Wiegmann (2000), com base na teoria de Reason (1990), propuseram um modelo para análise e classificação dos erros humanos, conforme a Fig. 5:

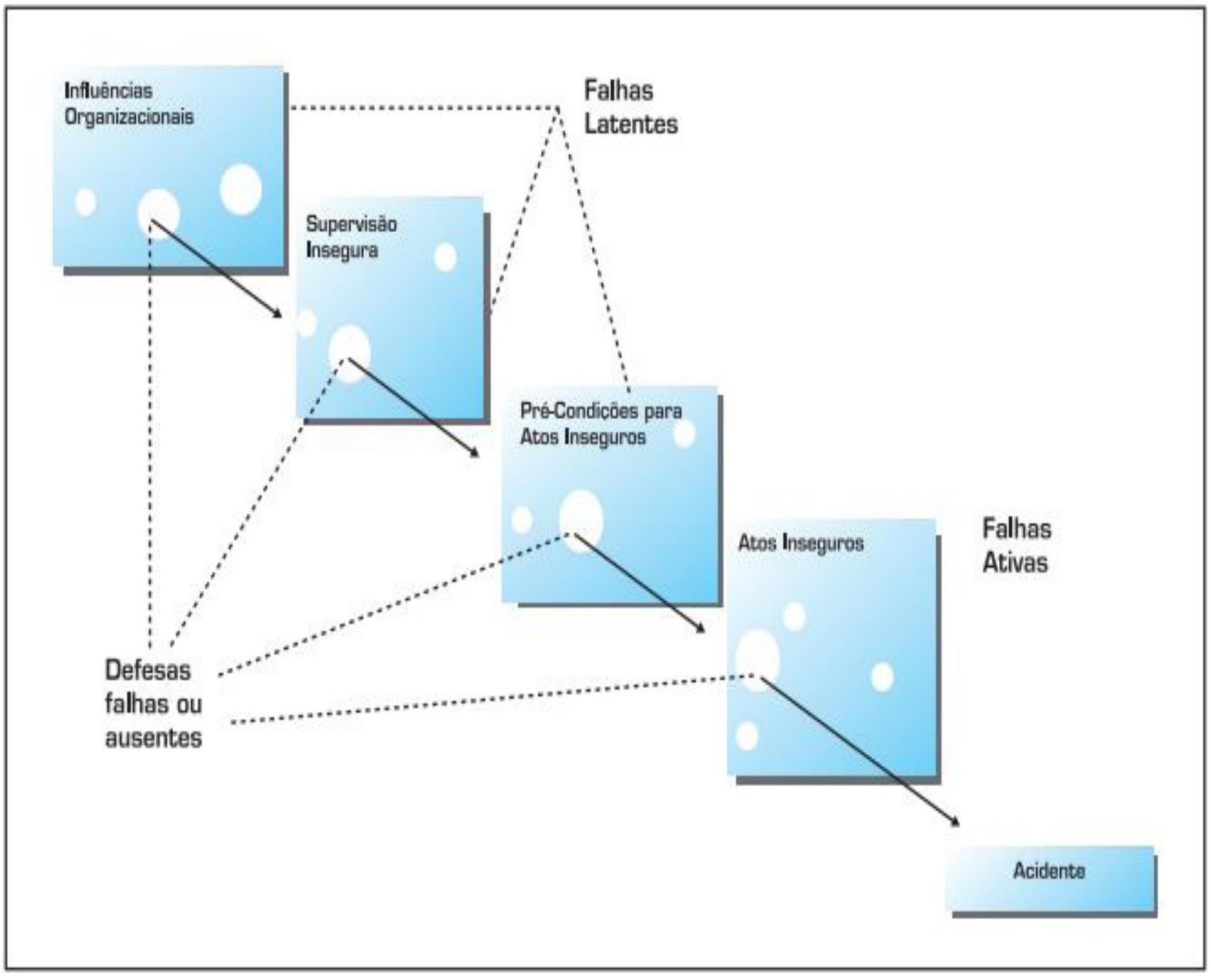


Figura 5 - Modelo "Queijo Suíço" de Causas dos Erros Humanos. Fonte: Correa e Cardoso, 2007.

Considerando-se que o trabalho em regime embarcado leva o trabalhador a um alto nível de tensões e estresse, os autores afirmam que:

"Vidal (1991), citado por Mendes (1995), apresenta a teoria do ajuste/"estresse" ou da Acidentabilidade. Segundo esta teoria os indivíduos não ajustados ou não integrados às suas situações seriam mais propensos a sofrer acidentes quando submetidos a tensões e estresses físicos e psicológicos. CORREA E CARDOSO (2007)."

Outro fator a considerar é a ansiedade vivida em períodos como o pré-embarque, LEITE (2006) afirma que: *"O estado de ansiedade que assola os dias de pré-embarque invade não somente a vida do trabalhador, alterando seus comportamentos e rotinas, mas afeta também suas relações sociais e afetivas."*

De acordo com este trabalho, pode-se observar que o trabalho em regime de confinamento eleva consideravelmente o nível de tensão e estresse desses profissionais, o que pode comprometer seu rendimento no trabalho, afetar sua vida social, e consequentemente levá-los a cometer atos inseguros e causar, assim, prováveis acidentes.

4- INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS DO ESTUDO DE CASO – HIDROVIA TIETE-PARANÁ.

Apresenta-se os dados coletados através da pesquisa aplicada aos 14 profissionais embarcados, sendo: 6 (seis) Capitães, 4 (quatro) Mestres-Fluviais, 2 (dois) Condutores e 2 (dois) Maquinistas-Fluviais, que trabalham em embarcações na hidrovia Tietê-Paraná no trecho entre Pederneiras (SP) e São Simão (GO). Através deste estudo, conheceu-se a rotina desses profissionais a fim de analisar a qualidade de vida a bordo, onde o resultado da pesquisa poderá identificar se existem e quais são os pontos críticos. Dos entrevistados, há 86% são casados e 64% deles têm filhos. 57% dos trabalhadores atuam na área a mais de 8 (oito) anos e 43% deles há mais de 8 (oito) meses, sendo que 72% desses profissionais permanecem embarcados durante um período de 45 dias; 14% por 28 dias; 7% por 15 dias e 7% por 7 dias. De acordo com os resultados, os fatores que mais contribuíram para escolha deste tipo de trabalho foi a realização pessoal (43%), seguido de bons salários (36%), ou atuação na área (21%). Ao serem questionados sobre como foi a adaptação ao trabalho embarcado, verificou-se que a maioria considerou ótima (57%) e somente 7% consideram insatisfatória. No quesito convivência com a tripulação, 57% analisam como ótimo e 43% bom. Quanto ao relacionamento familiar, 50% classificam como ótimo; 43% como bom e 7% satisfatório. Conforme apresentado no Gráfico 1, o principal motivo de insatisfação é ficar longe da família, seguido de convivência com pessoas diferentes.

Algumas questões aplicadas tiveram a intenção de identificar os pontos críticos durante suas atividades quando embarcados. Os entrevistados reconhecem como pior momento descrito o de embarque e o período que antecede a viagem (Gráfico 2). A pesquisa revela também, que a situação que causa maior desconforto é quando se encontram no meio do período embarcado (57%) contra 36% do desembarque e o restante no embarque. A pesquisa aponta que os níveis de estresse se apresentam com pequenos índices de diferença, tendo com principal motivo, a lida com o estresse dos colegas (Gráfico 3).

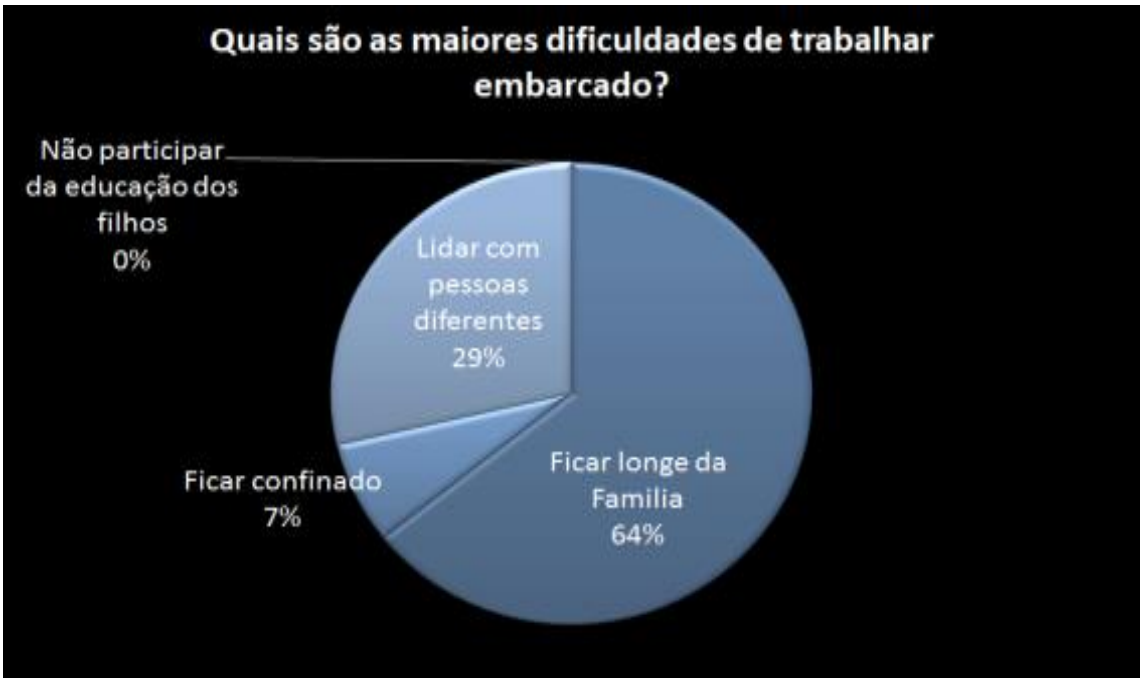


Gráfico 1 - Dificuldades do Trabalho Embarcado. Fonte: os autores, 2014.

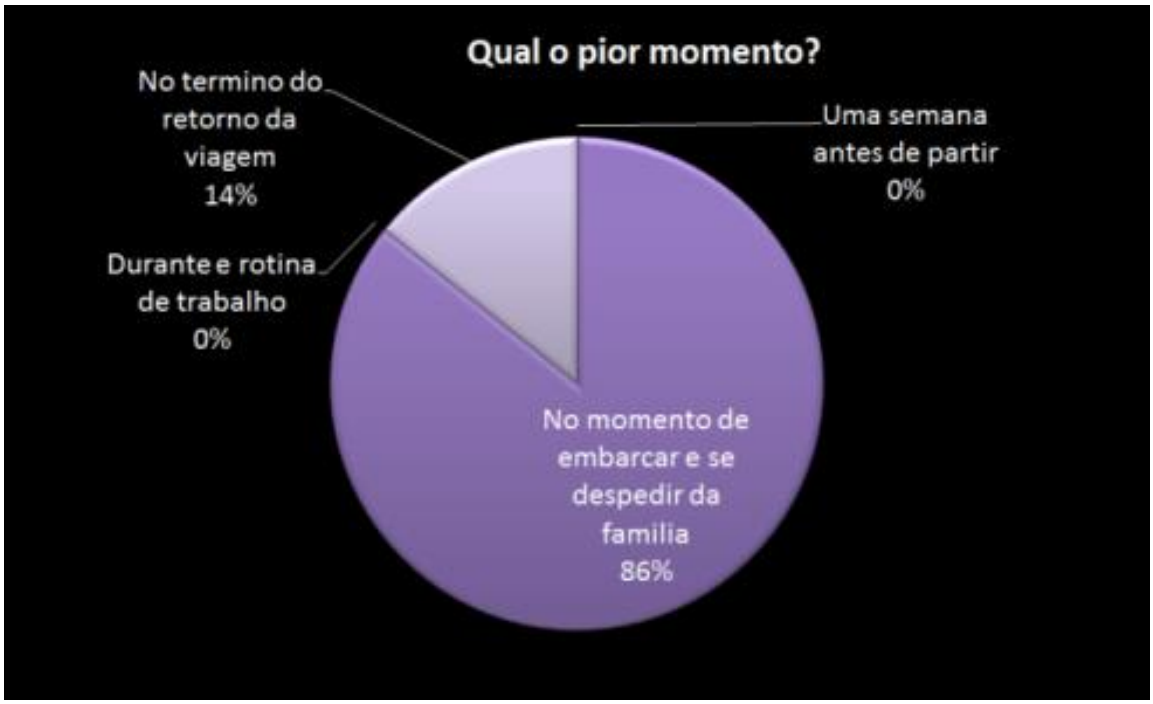


Gráfico 2 - Pior momento embarcado. Fonte: os autores, 2014.



Gráfico 3 - Situações críticas durante a rotina. Fonte: os autores, 2014.

Com relação à segurança do trabalho foi questionado se são realizados cursos e se existem equipamentos de segurança. A pesquisa aponta dados inseguros, por apresentarem índices de 50% pelo sim e 50% pelo não. O Gráfico 4 mostra que 61% dos pesquisados afirmam que existe investimento pela empresa em cursos de capacitação e treinamento, o que justifica o resultado por parte dos profissionais da área alegar sentirem-se confortáveis e seguros em situações de riscos (Gráfico 5).



Gráfico 4 - Cursos de capacitação e treinamentos. Fonte: os autores, 2014.

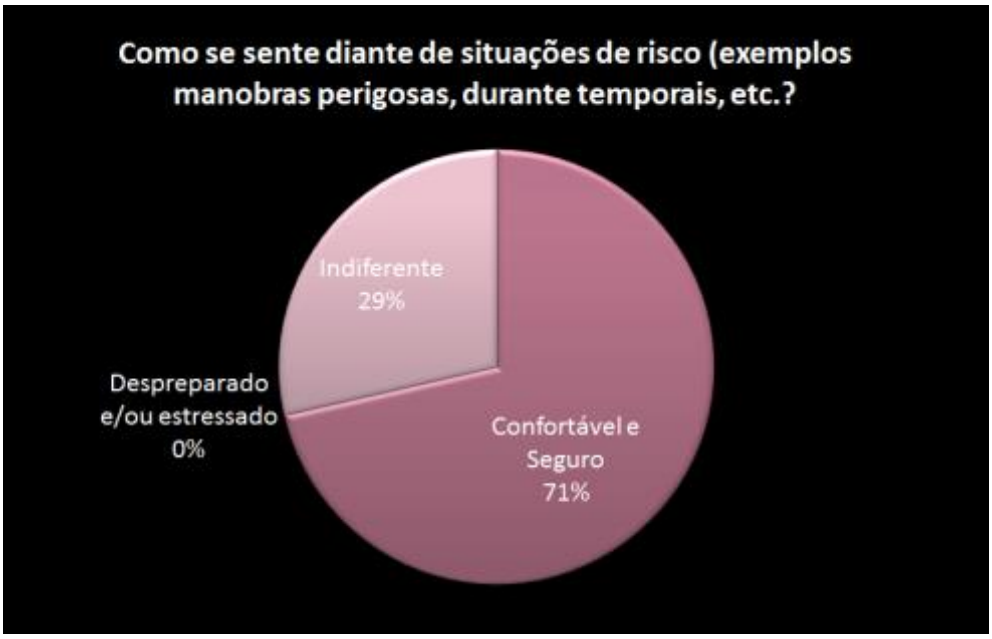


Gráfico 5 - Situações de risco. Fonte: os autores, 2014.

Para concluir, foram levantados mais três pontos considerados importantes. Primeiramente, foi verificado a grau de satisfação do funcionário quanto a sua rotina de trabalho. Constatou-se que 64% deles gostam da rotina, 29% apontam a comida como o maior motivo de prazer e apenas 7%, o descanso. Um segundo ponto observado foi a afirmação dos profissionais de que nem sempre de consegue descansar nos seus períodos de folga quando embarcados. E finalmente, somente 14% dos trabalhadores alegam terem se afastado da empresa por ordem médica. Durante a pesquisa foi solicitado ainda que os pesquisados apontassem qual era o acontecimento que mais causava estresse ou insegurança. Todos afirmaram que era durante as manobras nas eclusas, quando os operadores não se consideram preparados e/ou treinados para processo de atracação, espera e desatracação, pois considerarem uma operação delicada e de alto risco, que requer atenção dobrada e constante comunicação via rádio entre os membros da tripulação.

5- CONSIDERAÇÕES FINAIS.

De acordo com este estudo, podemos concluir que o trabalho em regime de confinamento pode exercer grandes tensões na vida dos profissionais da área, principalmente por estarem ausentes do convívio familiar e social. É considerada uma profissão que traz riscos pessoais e

emocionais como o estresse, por estarem expostos a tensões que podem afetar seu resultado no trabalho, assim como ocasionar atos inseguros com danos pessoais, financeiros e/ou ao meio ambiente. O resultado da pesquisa mostra a necessidade das empresas de investir em segurança, a fim de garantir que esse profissional tenha mais qualidade de vida, principalmente quando embarcado. Também ficou clara a necessidade de investimentos em cursos e treinamentos, tornando-os mais capacitados e seguros, principalmente quanto às manobras nas eclusas, que oferecem maiores riscos e geram insegurança. Constatou-se um alto nível de estresse vivido por esses profissionais, portanto reconhece-se a necessidade das empresas de respeitar o período de embarque e desembarque, diminuindo, assim, o desconforto causado pelo trabalho em regime de confinamento. Como consequência deste estudo, um fator a ser estudado é a possibilidade de diminuição do período de trabalho embarcado. Estar ao lado da família por maior tempo poderá apresentar resultados significativos quanto à satisfação e ao bem estar da tripulação e melhorar o desempenho desse profissional e de toda equipe. Conforme mostrou a pesquisa, não há duvida que o convívio com a tripulação e o nível de estresse é um dos fatores que mais interferem na qualidade de vida do trabalhador.

6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AHRANA- Normas de tráfegos nas eclusas da Hidrovia Tietê- Paraná**. 4º revisão.**

Disponível em: <www.ahrana.gov.br/down.php?downId=22>. Acesso em: 24 mai.2014.

ANTAQ – Estradas D'Água: As hidrovias do Brasil / João Augusto Rodrigues. Ed. Action Editora. Rio de Janeiro, 2009.

Capitania Fluvial Tietê-Paraná. **Normas e Procedimentos da CFTP**. Disponível em: https://www.mar.mil.br/cftp/. Acesso em: 26 jun. 2014.

CHIAVENATO, I. Comportamento Organizacional: a dinâmica do sucesso das organizações. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010a.

_____. Administração de recursos humanos: fundamentos básicos. 6 ed. São Paulo: atlas, 2006.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=793:historico-do-rio-tiete&catid=48:noticias&Itemid=53>Acesso em: 22 abr. 2014.

DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS (DPC). SISGEVI-Quadro Estatístico 2013.

DUARTE, Leonora. 2012. **Administrar bem, lucrar sempre. Direção: a terceira função da administração.** Disponível em: <http://ideagri.com.br/plus/modulos/noticias/ler.php?cdnoticia=458>. Acesso em: 12 jul.2014.

FERREIRA, A.N. Estudo do efeito de acidente na hidrovia Tietê - Paraná: Aspecto Preventivo.Disponível: www.teses.usp.br/teses/.../3/.../Dissertacao_Alex_Nunes_Ferreira.PDF. Acesso em: 22 mai.2014.

JORNAL DO ESTADÃO, 2013. **Acidente na hidrovia Tietê - Paraná causa prejuízos.** Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/economia-geral,acidente-em-hidrovia-causa-prejuizo-de-r-12-milhoes,148782,0.Htm>. Acesso em: 14 mai. 2014.

LEITE. R. M. S. C. Rio de janeiro, RJ – Brasil (2006): Trabalho: **Equipamento de Proteção Individual – EPI – NR 06**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil – Brasília, 1978. Disponível em: http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr6.htm. Acesso em: 05 abr. 2014.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, Secretaria de Inspeção do Trabalho (SIT). Trabalho em Altura.**NR35**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil – Brasília, 2012. Aprovada pela Portaria MTE n.º 313, de 23 de março de 2012.

_____. **Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho (SSST). Segurança e Saúde no Trabalho Portuário. NR29:** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil – Brasília, 1997. Aprovada pela Portaria nº 53, de 17 de dezembro de 1977; alterada pelas portarias SSST nº 18 de 30 de março 1998; SIT 17 de julho 2002 e SIT nº 158 de 10 de abril 2006.

_____. **Disposições Gerais – NR01:** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil – Brasília, 1978. Aprovada pela Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978; alterada pelas portarias SSMT n.º 06, de 09 de março de 1983; Portaria SSMT n.º 03, de 07 de fevereiro de 1988; Portaria SSST n.º 13, de 17 de setembro de 1993; Portaria SIT n.º 84, de 04 de março de 2009

PROPOSIÇÕES PARA O TRANSPORTE FLUVIAL DE PASSAGEIROS NO AMAZONAS

Miranda Lins, Nadja Vanessa

Centro de Educação Tecnológica do Amazonas - CETAM, Manaus / Amazonas / Brasil, nvmlins@gmail.com

RESUMO.

Este trabalho tem por objetivo apresentar proposições para o transporte fluvial de passageiros e misto no Amazonas. Baseado em estudos apresentados e aceitos pela academia (2007), pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ (2013) e pelas informações divulgadas publicamente.

No corpo do trabalho serão comparada variáveis que já possuem série histórica; apresentadas novas variáveis relativas ao setor e oferecidas as informações que fazem pertinência e relevância ao setor.

Como exemplo temos o perfil dos passageiros usuários deste modal que será trabalhada como série histórica.

Além disso, serão apresentados quantitativos de variáveis (terminais, embarcações e passageiros).

Finalizando com as proposições para uma otimização do transporte fluvial de passageiros no Amazonas.

PALAVRAS-CHAVE: Passageiros; Transporte misto; Amazonas.

1. INTRODUÇÃO.

Este artigo consolida uma nova fase do transporte misto na região Amazônica, a fase do conhecimento do setor.

Em épocas passadas não tínhamos informação sobre a situação na navegação na região Amazônica, as que tinham eram restrita, como por exemplo, os dados contidos na Marinha do Brasil.

No entanto, atualmente, em 2015, podemos nos agraciar de vários estudos, já apresentados por instituições competentes que se aprimoraram em coletar os dados e fornecer diagnósticos com foco na demanda do transporte misto, no quantitativo das embarcações, no qualitativo dos serviços prestados nas embarcações e nos terminais e no perfil socioeconômico dos passageiros.

Para fazer um breve histórico, podemos começar com pesquisas independentes, que atendiam a pesquisa pessoal ou a alguma necessidade específica de algum órgão ou setor econômico.

Em 1987, um estudo realizado pela pesquisadora Eliane Fadda, ofereceu um diagnóstico da situação do transporte hidroviário interior de passageiros na Amazônia, caracterizando o sistema, por meio de diversos aspectos econômicos e operacionais da ligação hidroviária Manaus-Tefé, estabelecendo uma tarifa de serviço baseado na movimentação de embarcações mistas (transportam passageiros e cargas), comparado ao desempenho econômico das diferentes embarcações, através do emprego de um modelo de custo.

Em 2001, por meio da Lei No. 10.233, foi criada no Brasil a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) com a atribuição de regular o setor da navegação, incluindo dessa forma um novo olhar ao setor de transporte de passageiros e cargas. Contendo como uma de suas atividades coletar dados e informações para implantar políticas adequadas ao transporte aquaviário e a infraestrutura portuária e hidroviária.

Em 2003, a Universidade Federal do Pará (UFPA) junto com o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE/UFRJ) investiu em semelhantes estudos. No entanto, não houve finalização completa dos estudos.

Em 2006, a Universidade Federal do Amazonas (UFAM) junto com a COPPE/URFJ formalizaram o Projeto de Transporte Hidroviário e Construção Naval na Amazônia (THECNA) que tinha como vertentes estudos nos setores da construção naval, no transporte misto e no transporte de cargas, além da catalogação de terminais.

Em 2007, como resultado do THECNA, a autoria apresentou o artigo "Caracterização do Transporte Fluvial de Passageiros na Amazônia", no Congresso Pan Americano de Engenharia Naval (COPINAVAL), em São Paulo, que gerou um banco de dados do transporte regional fluvial de passageiros da Amazônia

Em 2013, a Antaq apresentou o estudo "Caracterização da Oferta e da Demanda do Transporte Fluvial de Passageiros na Região Amazônica", por considerar um setor estratégico para o desenvolvimento regional Amazônico.

Em 2013, o artigo "Lanchas Rápidas, nova forma de transporte na Amazônia", inscrito pela autora no COPINAVAL, apresentou o novo modelo de transporte de passageiros na Amazônia, conhecido como "ajato". Em 1999, o barco Ajato 2000 do Sr. Aguiar, foi o pioneiro na rota interestadual, firmando-se na rota Manaus-Santarém em 13h, quando antes só era realizada por barcos recreios que despendiam 36h para esse trajeto.

E em 2015, o Sindicato das Empresas de Navegação Fluvial do Estado do Amazonas (SINDARMA) apresenta uma pesquisa que teve como objetivo analisar o Sistema de Transporte Hidroviário Interior Misto, nos seus aspectos operacionais e econômicos.

Todos esses trabalhos têm por objetivo de conhecer e diagnosticar o transporte na Amazônia, condutas necessárias para o desenvolvimento do setor baseado no conhecimento de causa.

2. OBJETIVOS.

Entendendo que o Estado do Amazonas faz fronteira com 7 países (internacional direta com Peru, Colômbia e Venezuela, e indireta com Guiana, Suriname, Guiana Francesa e Bolívia). E no Brasil com 4 Estados (Roraima, Pará, Acre, Rondônia e Mato Grosso). Destaca-se assim a centralização e abrangência nas linhas interestaduais e longitudinais de percurso internacional no Estado do Amazonas do transporte hidroviário para atendimento de passageiros e cargas dessa região (Figura 1).

Este artigo tem por objetivo geral consolidar as informações existentes e atuais do Transporte Hidroviário Misto no Estado do Amazonas, coletadas e divulgadas por instituições e pesquisadores do setor.

Os objetivos específicos contemplam os itens abaixo:

- limitado ao Estado do Amazonas;
- questões relacionadas aos terminais não serão contempladas neste artigo, por ser compreendido como uma item muito complexo que deverá ser explorado posteriormente, que se encontra com índices muito aquém, que o armador não tem poder de ação direta;
- os trabalhos analisado serão os que guardam mais similaridades, no caso específico, as pesquisas do THECNA e da ANTAQ.

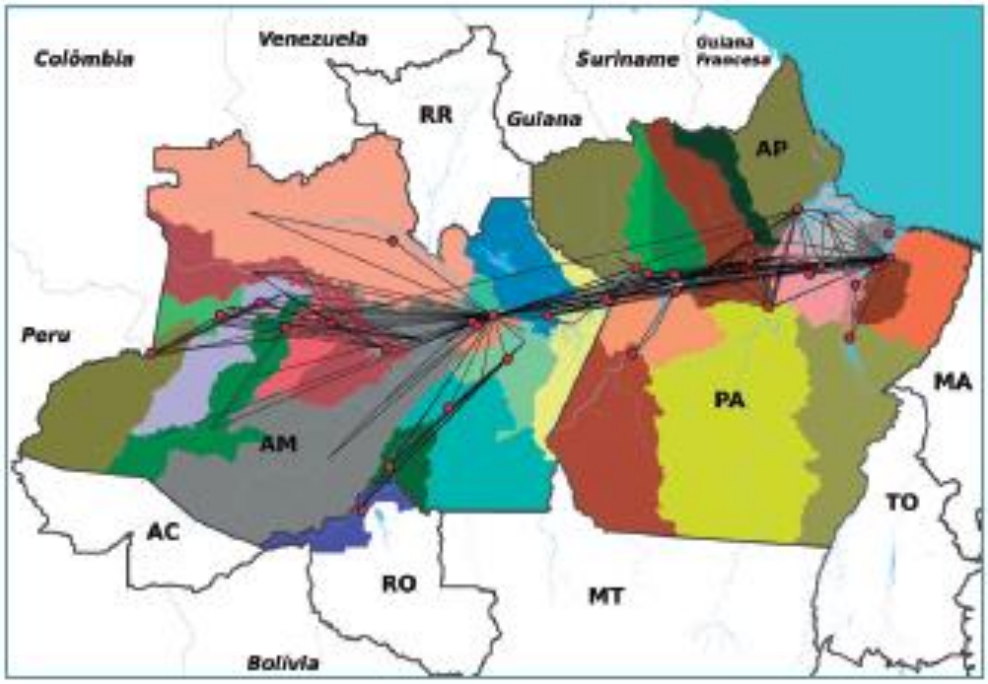


Figura 1: Abrangência do Estudo e Recorte Territorial utilizado pela ANTAQ. Fonte: Antaq, 2013.

3. MATERIAL E MÉTODOS.

O material utilizado se resume aos relatórios gerados pelas pesquisas efetuadas por cada ente pesquisador, no caso THECNA e ANTAQ.

O método de pesquisa deste artigo é de comparação de dados e informações similares empregadas nos mesmos locais, no entanto, em fases diferenciadas (2006, 2011, 2012, conforme a ocorrência das coletas das pesquisas escolhidas para esta análise.

Para facilitar o entendimento as pesquisas serão identificadas da forma a seguir:

- Pesquisa 1 – Projeto THECNA (2006) – Resultados apresentados em 2007.
- Pesquisa 2 – Projeto ANTAQ (2011 e 2012) – Resultados apresentados em 2013.

Com relação a abrangência territorial por Estados:

- Pesquisa 1 – THECNA – Amazonas / Pará / Rondônia e Amapá
- Pesquisa 2 – ANTAQ – Amazonas / Pará / Rondônia e Amapá

Com relação ao quantitativo de embarcações mistas pesquisadas consideradas as rotas troncais:

- Pesquisa 1 – THECNA – 85 embarcações
- Pesquisa 2 – ANTAQ – 602 embarcações

Com relação ao quantitativo de passageiros pesquisados usuários do transporte misto:

- Pesquisa 1 – THECNA – 2 campanhas – total de 10.263 passageiros
- Pesquisa 2 – ANTAQ – 3 campanhas – 5.952 em média por campanha

Com relação ao foco da pesquisa sobre o transporte misto:

- Pesquisa 1 – THECNA – Perfil dos passageiros / Características das Embarcações
- Pesquisa 2 – ANTAQ – Perfil dos Passageiros / Movimentação de Passageiros / Movimentação de Cargas / Características das Embarcações / Características dos Terminais de Passageiros

4. RESULTADOS.

Apresentando os resultados iremos destacar também por pesquisas, como segue:

Pesquisa 1 – THECNA (2007)

Perfil dos passageiros

Faixa etária - a maioria do público que viaja é de 21 a 30 anos.

Grau de escolaridade - ensino médio completo e fundamental incompleto perfaz um valor de 50%.

Gênero - foi visto um equilíbrio na quantidade de viajantes por sexo.

Renda familiar - maioria variou entre 1 a 3 salários mínimos.

Tipo de imóvel – maioria com casa de alvenaria, no qual 95% possui geladeira.

Utilização - aproximadamente 60%, utilizaram pela primeira vez a embarcação e admitiram ter conhecimento de outras que fazem o mesmo trecho.

Outros tipos de transportes - 75% dos passageiros de embarcações ainda não viajaram de avião como outro meio de deslocamento.

Motivo da viagem - a maioria não possui época fixa para viajar, no entanto, em julho, maioria dos passageiros viajou por motivo de lazer, já em novembro foi observado que os motivos eram assuntos pessoais e saúde.

Viagem em grupo - a maioria dos passageiros não viaja em grupo, mas os que o fazem vão com seus familiares.

Compra de passagens - mais de 75% dos passageiros adquiriram por intermédio de agentes, ficando a frente da venda por guichê.

Preço das passagens - os viajantes (52%) declararam razoável o preço pago.

Tempo de viagem - a duração da viagem, a maioria não conhece o serviço e os que já as utilizaram (25%) acham lento.

Tempo de espera para início da viagem - mais de 88%, aguardam até 9 horas para a saída efetiva dentro da embarcação.

Segurança - 60% desconhece as informações e equipamentos necessários para a segurança do passageiro na viagem.

Conforto - mais de 50% fica incomodados com o ruído do motor durante a viagem.

Serviços da embarcação - com relação a itens de alimentação, conforto, higiene, a maioria não conhece o serviço da embarcação e os que já as utilizaram estão satisfeitos.

Alimentação - a maioria dos passageiros concorda com a inclusão do custo das refeições no preço da passagem.

Acomodação - a maioria escolhe viajar na rede, mesmo declarando que tem o hábito de dormir na cama.

Importância para o uso dos serviços - o preço e a acomodação preferida (no caso rede) com lugar marcado. Em detrimento do tempo (duração) e serviço de bordo.

Características das Embarcações (50 embarcações analisadas).

Material do casco das embarcações – 56% aço, ferro e alumínio; 41% madeira e 3% outros.

Ano de construção das embarcações – 87% de 1976 a 2007 (até 31 anos)

Tipo de serviço – 96% misto; 4% carga e 0% passageiros.

Linhas	Embarcações
Belém/Manaus/Belém	7
Belém/Santarém/Belém	1
Santarém/Manaus/Santarém	9
Manaus/Porto velho/Manaus	6
Manaus/São Gabriel da Cachoeira/Manaus	2
Manaus/Tabatinga/Manaus	10
Macapá/Belém/Macapá	9
Santarém/Macapá/Santarém	6
TOTAL	**50**

Figura 2: Linhas e Embarcações pesquisadas pelo THECNA. Fonte: THECNA, 2006

Áreas com ar condicionado – 77% em todos os camarotes.

Área de lazer – 88% possuem área de lazer.

Acomodações de bagagens – 96% levam junto a bagagem; somente 4% têm lugar específico para bagagens de mão.

Computadores – 77% das embarcações dispõe de computadores a bordo.

Serviço de viagens – 83% das embarcações oferecem continuamente.

Vendas de passagens – 42% no embarque; 30% antecipada e 28% terceirizada.

Pesquisa 2 – ANTAQ

Perfil dos Passageiros

Distribuição de passageiros por sexo – 50,9 % masculino e 49,1% feminino

Passageiros por faixa etária – 38,2% de 18 a 30 anos; 24,8% de 31 a 40 anos; 17,8% de 41 a 50 anos; 19,1% acima de 51 anos.

Escolaridade dos Passageiros – 84,8% analfabeto a 2º. Grau completo.

Renda Familiar dos Passageiros – 73,8% até 3 Salários Míninos

Ocupação e atividade dos Passageiros – 73,2% Pessoas economicamente ativa (sendo 36,2% autônomos; 20,2% serviço privado e 11,4% serviço público)

Características das Embarcações (446 embarcações analisadas).

ÁREA DO ESTUDO	LINHAS DE NAVEGAÇÃO	EMBARCAÇÕES
AMAPÁ	11	64
AMAZONAS	64	198
PARÁ	61	173
RONDÔNIA	2	11
TOTAL GERAL	138	446

Figura 3: Número de embarcações e de linhas de navegação por Estado. Fonte: Antaq, 2013.

Idade das embarcações – média de 11 anos das embarcações que souberam informar (no Amazonas 38,1% tem de 5 a 10 anos).

Material do casco – 63,5% madeira; 22% aço; 10,1% alumínio; 4,5% Fibra (no Amazonas 61,6% madeira; 15,7% aço; 13,6% alumínio; 9,1% fibra)

Comprimento(m) – 49,8% tem de 20 a 29m (no Amazonas 51% das embarcações tem de 20 a 29m)

Boca(m) – 56,1% inferior a 6m (no Amazonas 55,1% inferior a 6m)

Calado (m) – 74% inferior a 2m (no Amazonas 72,2% inferior a 2m)

Potência do motor (HP) – 37,9% com 410 a mais de potência (no Amazonas 40,4% com 410 a mais)

Velocidade média (em nós) – 36,8% com 10nós (no Amazonas 40,4 com 10nós)

Movimentação de Passageiros (dados coletados em 2011 e 2012)

A movimentação total de passageiros nas linhas da Amazônia era de 13.602.516 nas linhas regulares, sendo reduzida para 8.894.208 passageiros por ano, com a saída das travessias Manaus-Cacau Pereira e Manaus-Iranduba que deixaram de existir com a construção da ponte sobre o rio Negro, em 2011).

Quanto à projeção da demanda de passageiros para 2022, observa-se que ocorre um aumento de cerca de 12% em relação a 2012, com uma demanda total projetada de 9.948.715.

Linha/Trecho	Distância (Km)	Mov. Pax (ano)	Taxa Ocup Média Pax (%)	Tarifa Média	Cap Méd Pax/ Embarcação	IPK Médio	Projeção 2022
Manaus - Belém	1646	9.480	31,3	R$ 234,00	537	0,1	10.820
Manaus - Porto Velho	1348	10.296	75,6	R$ 190,00	276	0,15	11.752
Manaus - Tabatinga	1573	28.116	61,4	R$ 305,00	341	0,13	32.092
Manaus - São Gabriel da Cachoeira	1001	51.468	71,8	R$ 220,00	118	0,08	58.746
Manaus - Santarém	756	129.876	44,6	R$ 121,50	448	0,26	148.240

Quadro 1 – Quadro Geral com o número de passageiros movimentados nas linhas principais do Amazonas. Fonte: Autor, adaptado da Antaq, 2013.

Quanto ao Índice de Passageiro por Quilômetro (IPK) médio da totalidade das linhas encontra-se um valor médio da ordem de 0,70, evidenciando que as linhas regulares da Amazônia transportam, em média, 1,00 passageiro a cada 1,50km.

Movimentação de Cargas / Características dos Terminais de Passageiros.

A média anual de transporte de cargas é de 4.575.023 ton.

A projeção de movimentação de carga para o ano de 2022 apresentou um aumento de aproximadamente 13% em relação à média do ano de 2012, que é de 5.159.816 ton.

Ressaltaram que três linhas (Manaus – Eirunepe Tapanã, Manaus – Purupuru e Manaus-São Sebastião) operam apenas com o transporte de cargas.

Linha/Trecho	Distância (KM)	Qtde Anual de Carga transportada na linha em 2012 (ton)	Qtde Anual de Carga transportada na linha em 2012 (ton)
Manaus - São Gabriel	1001	29.082	31.007
Manaus - Porto Velho	1348	53.024	58.094
Manaus - Belém	1646	110.544	133.912
Manaus- Santarém	756	170.880	191.399
Manaus - Tabatinga	1573	180.085	190.974

Quadro 2 – Quadro Geral com as cargas movimentadas nas linhas principais do Amazonas.
Fonte: Autor, adaptado da Antaq, 2013.

Características dos Terminais.

No Amazonas apenas quatro terminais, Roadway, Ceasa, Tabatinga e Humaitá é que apresentaram percentuais iguais ou acima de 50% com relação a atendimento global. E cerca de 80% dos terminais analisados apresentaram padrões abaixo de 30%.

5. CONCLUSÕES.

O artigo ficou limitado as embarcações e aos serviços das embarcações, entendendo que estas variáveis, podem ser trabalhadas pelo armador, agregando resultado ao passageiro.

No caso dos terminais, a infraestrutura é predominantemente pública, sem que os armadores possam intervir facilmente nesta variável, tão aquém nos indicadores pesquisados. O que traz como consequência a possível defasagem nos serviços portuários.

Vale também destacar no que tange as embarcações, que no artigo inscrito em 2013, no COPINAVAL pela autora, segue o texto:

> "Para exemplificar a atual situação de locomoção interna no Estado do Amazonas, foi feito um Quadro 3 – Comparativo entre modais -, que espelha as opções do passageiro em deslocar-se de Manaus a Tabatinga, distância 1607km pelo rios.

Trecho: Manaus- Tabatinga					
Meio de transporte	Transportador	Assento	Distância	Duração	Valor
Ônibus	inexistente	0	0	0	0
Avião	Azul linhas aéreas	poltrona	1105km	54 min	R$ 542,00
Lancha rápida	Ajato Navegação	poltrona	1607km	36h	R$ 500,00
Embarcação mista	M. Monteiro Navegação	rede	1607km	6 dias	R$ 350,00

Quadro 3 – Comparativo entre modais no trecho Manaus-Tabatinga em 2013. Fonte: autora.



Foto 1: Lancha Cristal I atracada no Porto do Ajato (Aguiar) em 2010. Fonte: HANEMANN e FREIRE (2010).

Como visto no quadro 3, do destaque do artigo acima, já se encontra disponível aos usuários dos transportes hidroviários a opção por embarcação exclusiva para passageiros, atendendo ao quesito tempo, mas perdendo no quesito preço em comparação com o barco recreio.

Um outro item observado foi a considerável alteração dos usuários do modo hidroviário de travessia (Manaus – Cacau Pereira / Manaus – Iranduba) para o modo rodoviário, utilizando a ponte sobre o Rio Negro, implantada em outubro de 2011, substituição irreversível de usuários.

As proposições que seguem abaixo foram extraídas das observações destas duas pesquisas e de visitas realizadas *in loco*, que podem ser abordadas com variados focos, como se segue:

1) Armador / Embarcação
   - 1.1) Buscar fazer projetos para as embarcações antes de fabricá-las – evitar dessa forma custos desnecessários posteriores e trazer conforto para a tripulação e o usuário;
   - 1.2) Acomodar bagagens de mãos dos passageiros – providenciar espaço para tal fim, já solicitado pelos usuários;
   - 1.3) Buscar motores mais potentes - para obter mais velocidade e diminuir tempo e gasto de combustível;
   - 1.4) Buscar soluções para minimizar o ruído do motor – atender a item já identificado pelo usuário como desconfortável;
   - 1.5) Buscar alternativas de fontes de energia – possibilitar a otimização dos custos da viagem;
   - 1.6) Criar tanques de armazenamento de resíduos – coletar todo o resíduo utilizado durante a viagem e providenciar a destinação, atendendo as leis ambientais;
   - 1.7) Buscar opções de materiais de salvatagem mais práticos de serem manuseados – garantir a melhoria da segurança dos passageiros, pois os órgãos públicos não conseguem atender aos sinistros em tempo hábil em função do contingente e das distâncias na região;
   - 1.8) Buscar opções de rotas intermunicipais e interestaduais – garantir ocupação da embarcação atendendo as sazonalidades;

1.9) Buscar organização legal – usufruir de financiamentos disponíveis para a construção da embarcação, visto que a frota de madeira está sendo paulatinamente substituída pela frota de aço naval.

2) Serviços da embarcação

2.1) Organização dos serviços de carga/peação antes do início da viagem - usuários reclamam dos atrasos das saídas/escalas das embarcações;

2.2) Serviços de encomendas e de cargas – organizar para poder oportunizar melhor essa fonte de receita;

2.3) Compra de passagem pela internet – oferece mais uma alternativa segura de compra;

2.4) Acesso à internet durante a viagem – entretenimento para longos tempos de viagens;

2.5) Cobrar as refeições no preço da passagem – item já aceito pelo usuário;

2.6) Prover espaço para lazer para adultos e crianças – item já existente mas que precisa ser melhor aproveitado conforme o público (cinema, brinquedoteca, biblioteca, ludoteca, etc);

2.7) Acomodação em rede – usuário solicita lugar marcado nas pesquisas.

Concluindo, na pesquisa realizada pela ANTAQ, vê-se que a movimentação de transportes de passageiros nas linhas da Amazônia tem como projeção para 2022, aproximadamente 10 milhões de usuários, que basicamente se encontram numa classe social que o modo aéreo ainda é inviável. Além disso as rodovias nestas regiões ainda se encontram em estado precário e no Plano de Logística Nacional do Brasil não há previsão de investimento a curto prazo para construção de estradas.

Destaca-se, desta forma, o trecho Manaus/AM – Santarém/PA como o mais impactado no transporte de passageiros (Figura 4), com previsão para aproximadamente, 150.000 pax em 2022.

E com relação ao resultado da movimentação de cargas a previsão para 2022 da ANTAQ é de mais de 5 milhões de toneladas anual. Tendo como os trechos Manaus – Tabatinga e Manaus – Santarém como os mais promissores, ambos com aproximadamente 200.000 ton/anual.

Essa ótica de mercado impulsiona o armador a buscar melhorias tanto em sua embarcação quanto nos serviços prestados, que demandam nessa região Amazônica, garantindo ganhos econômicos e de satisfação ao passageiro.



Figura 4: Embarcação que navega na rota Manaus – Tabatinga. Fonte: site da M. Monteiro Comércio e Navegação

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

BRITO, ELIANE GOMES - Transporte Hidroviário Interior de Passageiros na Região Amazônica: Metodologias Aplicáveis ao Cálculo do Valor da Tarifa [Rio de Janeiro] 2008 XV, 186 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia de Transporte, 2008)

http://www.ipen.org.br/downloads/XX/2A/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20do%20Transporte-Nadja%20Vanessa.pdf

http://www.antaq.gov.br/

http://www.sindarma.org.br/

https://www.facebook.com/pages/M-Monteiro-Comercio-e-Navega%C3%A7%C3%A3o-LTDA/393088217440502

TRANSPORTE FLUVIAL SUSTENTABLE, LA EXPERIENCIA EN CHILE

Luco Salman, R.[1]; Fuentes Montaña, D.[2]; Zilic de Arcos, F.[3]

[1]Dr. Ingeniero Naval. Instituto de Ciencias Navales y Marítimas. Universidad Austral de Chile. rluco@uach.cl
[2]Ingeniero Naval. MSc Ingeniería. Teniente de Navío. Armada República de Colombia. Cotecmar Colombia. dfuentes@cotecmar.com
[3]Ingeniero Naval. Instituto de Ciencias Navales y Marítimas. Universidad Austral de Chile. efe011@gmail.com

RESUMEN.

El alto nivel de congestionamiento de rutas terrestres, especialmente en ciudades que presentan interés turístico y que cuentan con una marcada presencia fluvial y/o de bahía, ha llevado a los ingenieros a plantearse y desarrollar sistemas de transporte que utilicen estas "carreteras náuticas", implementando sistemas de transporte acuático que unen puntos estratégicos de la ciudad, facilitando el traslado de pasajeros, en menos tiempo y a un menor costos relativo.

Palabras clave: transporte fluvial, water taxi, energía solar, sustentabilidad

1. INTRODUCCIÓN.

Durante las últimas décadas, el aumento de población en las diferentes ciudades que presentan oportunidades a quienes piensan emigrar de sus zonas de origen, ha llevado a la expansión de las ciudades a límites en los que el transporte, entre un punto extremo y otro de la ciudad, simplemente se ha vuelto no factible, desde el punto de vista de los tiempos invertidos, comodidad de traslado y costos asociados, tanto directo como indirecto. Lo anterior es sólo si se considera la población establecida, lo que suma muchos otros inconvenientes si se considera además la población flotante, sean estos de carácter turístico o estudiantil.

Este trabajo viene a presentar la experiencia vivida en el estudio de posible solución al problema planteado y detectado en la ciudad de Valdivia (Chile), desde el origen de la propuesta hasta una implementación parcial de la misma. Si bien el sistema de transporte fluvial sustentable es una solución atractiva, debe estudiarse en detalle su escalabilidad y aplicabilidad en otras zonas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Valdivia está ubicada en el sur de Chile, a 820 km de Santiago y se presenta como una ciudad turística y universitaria, atravesada por una "amplia carretera fluvial" que literalmente divide en dos la ciudad. Su característica principal, desde el punto de vista de densidad poblacional, es que existen tres grupos marcados, el primero lo determinan los estudiantes universitarios, el segundo definido por el arribo de turistas en los meses de verano principalmente, lo que se suma a la población estable, que conforma el tercer grupo, definiendo una masa critica no menor que requiere de un transporte expedito, situación que no se ve al cien por cien solucionada por la falta de conectividad de los distintos sectores de la ciudad que carecen de puentes que permitan el acceso a las vías principales o sean parte de ellas.

El planteamiento del problema es simple y consiste en dar solución a la conectividad de la ciudad evitando la congestión terrestre asociada al transporte, público o privado.

3. ANÁLISIS PRELIMINAR.

El análisis preliminar para el planteamiento de una propuesta base, se realizó estudiando las diferentes alternativas existentes en otras ciudades, tomando en consideración que debían visualizarse al menos tres aspectos:

a) Conectividad efectiva.
b) Sustentabilidad del sistema / ecológicamente amigable.
c) Relación público-privada para la inversión e implementación.

De esta forma, se realizaron estudios de casos que permitieron decantar en una propuesta inicial en base a:

a) Evaluar una red de conectividad fluvial
b) Implementar un sistema de taxis fluviales de transporte de pasajeros.
c) Implementar sistema de "paradas" con ubicación estratégica y en función de estudio de conectividad.
d) Parada central que albergue las embarcaciones y sirva de eje articulador del sistema.

4. EVALUACIÓN DE RED DE CONECTIVIDAD FLUVIAL.

En la etapa de evaluación de la red de conectividad fluvial necesaria, se detectaron tres zonas geográficas que debían ser cubiertas por el sistema de transporte. Lo anterior obedece a un

análisis de las rutas terrestres de conexión de la ciudad, considerando horas críticas de flujo y número de pasajeros aproximados a transportar.

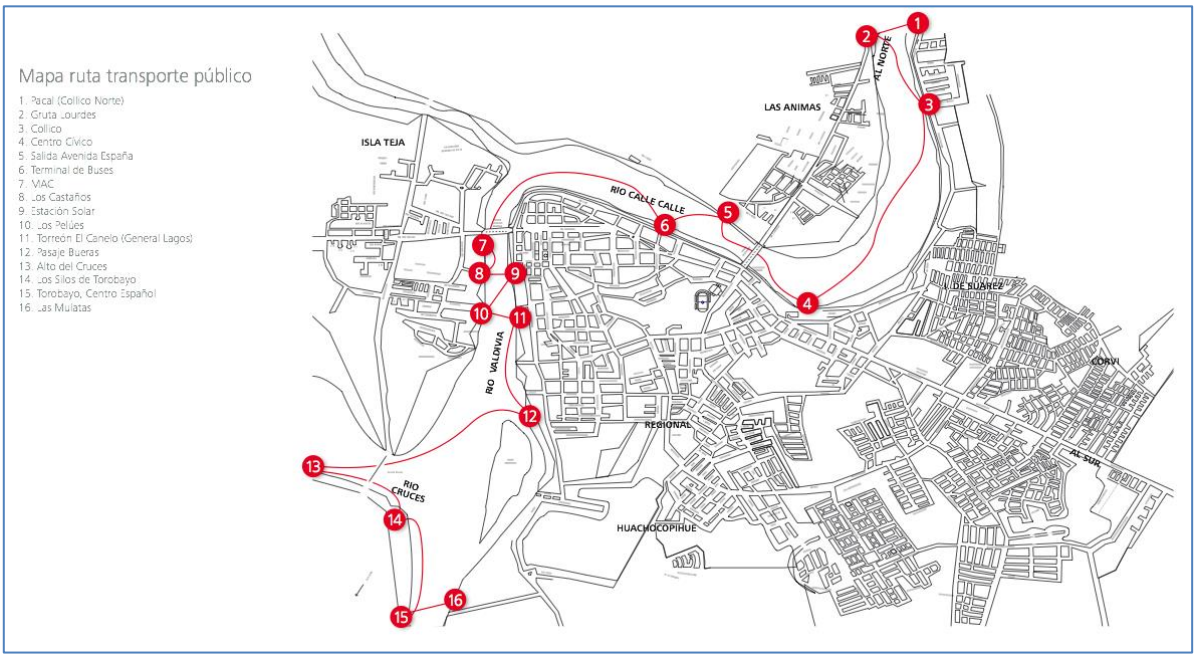


Figura nº 1. Ruta transporte fluvial sustentable – ruta pública

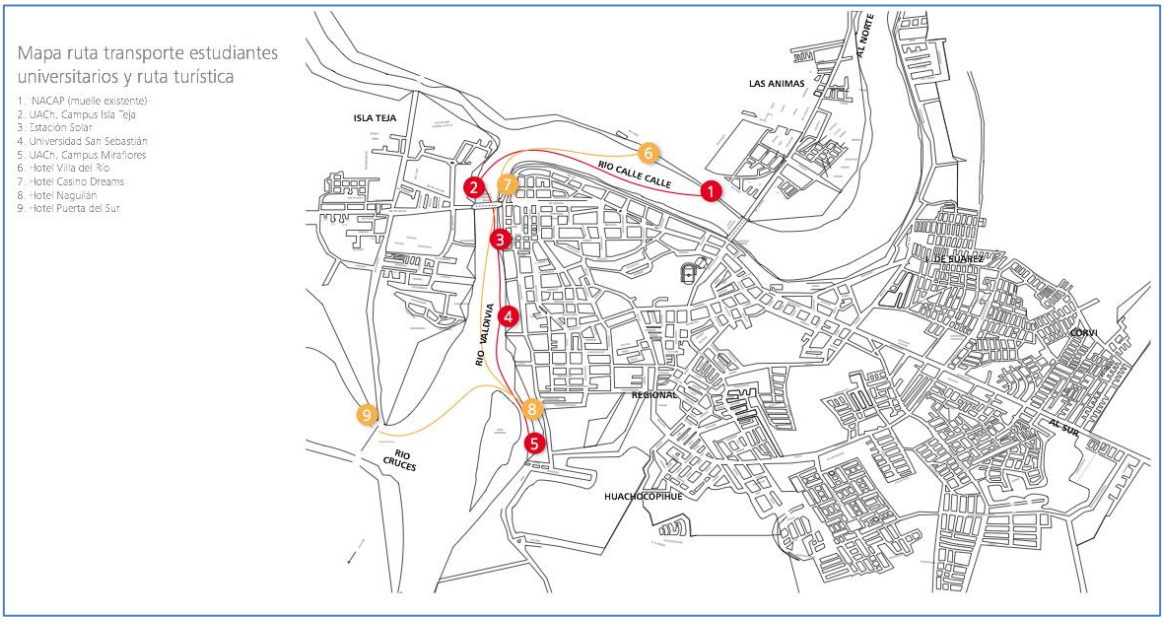


Figura nº 2. Ruta transporte fluvial sustentable – ruta universitaria y turística

Si bien el análisis se plantea de manera de cubrir las necesidades de transporte público, se opta por generar tres rutas a cubrir, definidas como:

a) Ruta pública
b) Ruta turística
c) Ruta universitaria

Las figuras nº1 y nº 2 muestran las rutas proyectadas con sus respectivas "paradas fluviales".

5.- DESARROLLO DE LAS EMBARCACIONES.

El desarrollo de las embarcaciones se ajusta a lo que se aplica normalmente en un proyecto de arquitectura naval, es decir, cubrir las diferentes etapas que considera la espiral de proyecto. En este caso se requiere ajustar un perfil de misión a los requerimientos definidos por los participantes en el proyecto [1], lo que dificultaba el proceso, considerando que el grupo de trabajo se transforma en Armador y Ejecutor. No obstante lo anterior, se definen al menos los siguientes requisitos Armatoriales:

a) nave propulsada con energía solar
b) 12 pasajeros sentados y 2 tripulantes
c) espacio para pasajero con capacidades disminuidas
d) espacio para trasporte de bicicletas
e) velocidad aproximada de servicio 5 a 6 Kn

El marco de proyecto conceptual se desarrolló considerando referentes típicos de estas naves, tales como las proyectadas en Alemania y Australia. El desarrollo de la embarcación requiere considerar los aspectos de seguridad normales, especialmente los referidos a estabilidad y maniobrabilidad. La decisión de la materialidad radicó principalmente en la premisa de que el casco debe "pesar" lo menos posible, a objeto de aprovechar la potencia instalada en mover pasajeros y no una embarcación con un desplazamiento excesivo.

La figura nº 3 muestra la caja de secciones transversales de la embarcación proyectada, cuya materialidad es composites (estructura sándwich de espuma de pvc y fibras de vidrio) [2].

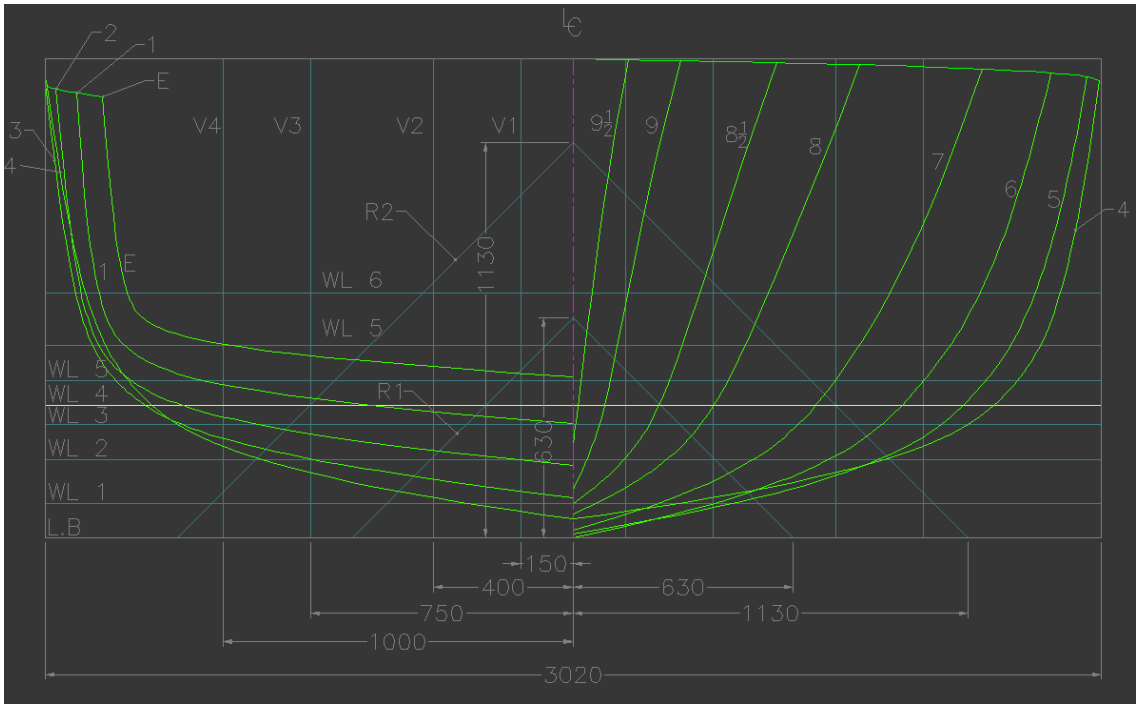


Figura nº 3. Secciones transversales de casco

Las características principales de la embarcación son las siguientes:

Eslora total	9.5 m
Manga	3.02 m
Puntal	1.38 m
Calado	0.38 m
Desplazamiento	2.8 ton
Pasajeros (tripulación)	12
Tripulación	2
Velocidad máxima	6 nudos
Potencia de Motor	4 KW
Corriente Continua	48V
Paneles solares	1.6 KW

El proyecto considera la construcción de cuatro embarcaciones del tipo “solar” (monocasco) y una del tipo “seabus” (multicasco) con una capacidad para 46 pasajeros.

El proceso de diseño ha tomado el natural curso de perfeccionamiento, por lo que el diseño ha sufrido cambios desde el prototipo hasta la versión solar III, especialmente en lo que se refiere a espacios a bordo, potencia instalada y capacidad de paneles solares.

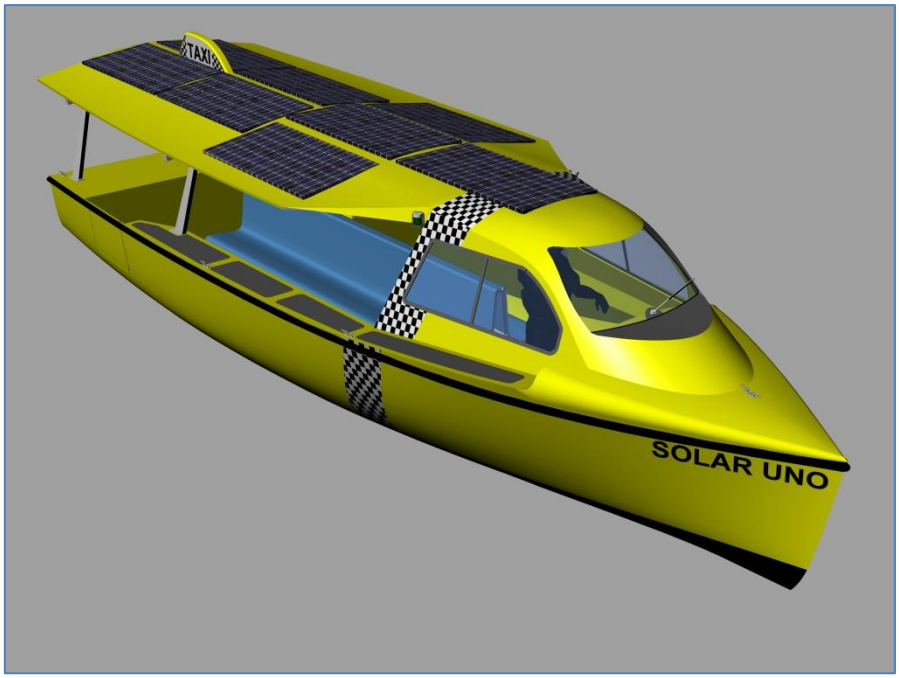


Figura nº 4. Maqueta digital de la embarcación



Figura nº 5. Embarcación construida

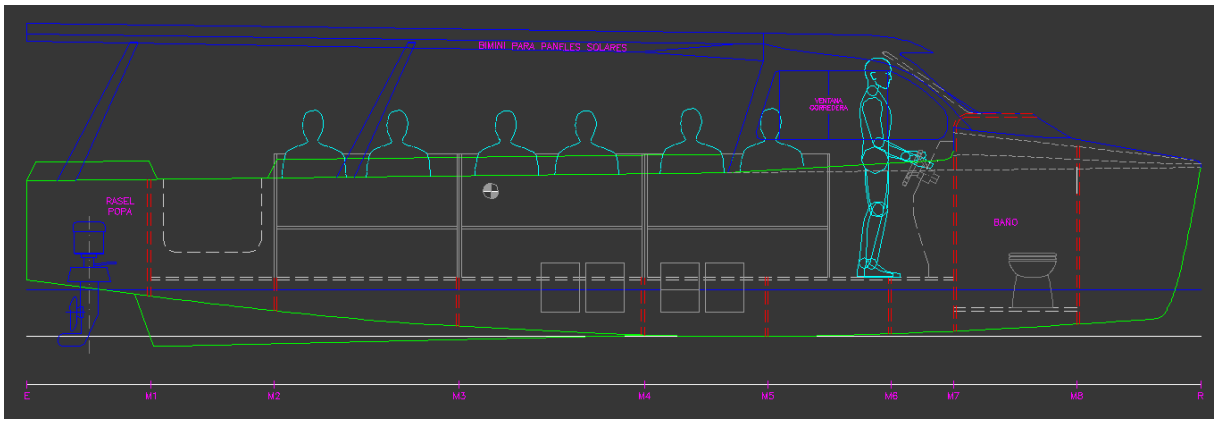


Figura nº 6. Perfil longitudinal del prototipo SOLAR I

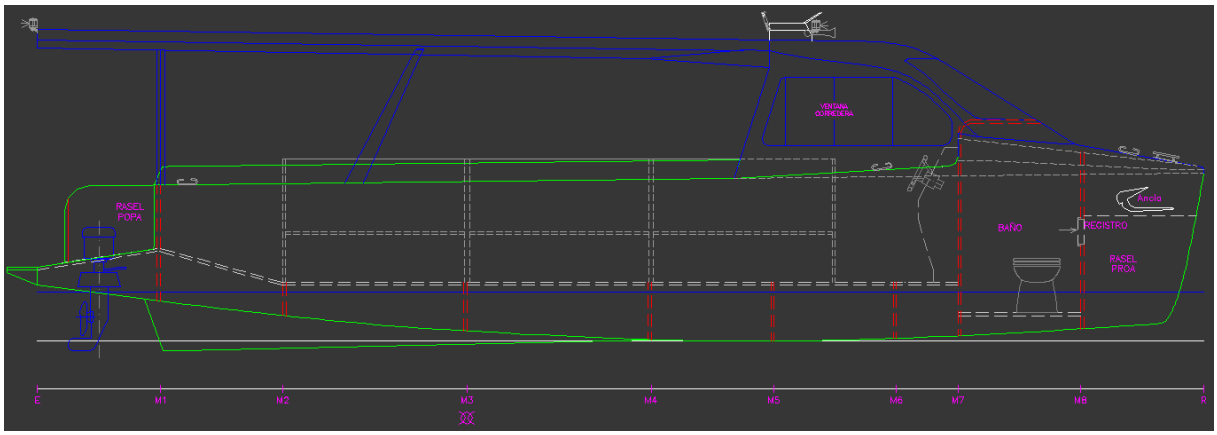


Figura nº 7. Perfil longitudinal SOLAR III

6. PARADEROS FLUVIALES Y ESTACIÓN DE GUARDA.

6.1. Paraderos Fluviales.

Vital importancia cobran dentro del sistema de transporte fluvial, lo que denominamos como "paraderos fluviales", que en definitiva vienen a marcar cada estación o punto de recalada de las embarcaciones.

El proyecto considera 26 estaciones que están constituidas por diferentes tipos de muelles flotantes, los que en general están ubicados en zonas que permiten la conectividad con el sistema de transporte terrestre. El diseño original era bastante simple y cumplía con el

objetivo específico de "contener a los pasajeros" de manera muy temporal, mientras esperan la llegada de la siguiente embarcación [3].



Figura nº 8. Instalación paradero "Los Castaños"



Figura nº 9. Maqueta digital paradero

Con el objetivo de aportar un mayor orden estético a los paraderos fluviales, se diseñaron nuevos muelles [4], evitando que se "uniformizaran" en términos visuales, lo que en cierta medida se logra, aunque se procuró mantener el concepto base del proyecto.



Figura nº 10. Propuesta de "paradero fluvial"

6.2.- Estación de Guarda.

El disponer de una serie de embarcaciones para el sistema de transporte genera la necesidad de contar con un adecuado sistema de guarda y control de operación. De esta manera se proyectó lo que pasó a denominarse como "Barrio Flotante" [5] que está constituido por una serie de módulo flotantes que albergan las oficinas de control del sistema de transporte. Adicional a estas instalaciones se proyectó un restaurant y un set de servicios higiénicos, lo que trajo consigo la complejidad del tratamiento de aguas servidas, que por normativa medioambiental (y principios) no deben ser por ningún motivo vertidas al río.

El sistema de construcción se planteó en módulos unitarios octogonales utilizando plástico reforzado con fibra de vidrio para los pontones y estructuras metálicas en la superestructura.

El proyecto del Barrio Flotante consideró como sistema de tratamiento de aguas lo que se conoce como SBR (Sequencing Batch Reactor) [6], Las depuradoras del tipo SBR se componen siempre de 2 cámaras, en el caso del pontón destinado a este proceso en el Barrio flotante, estas cámaras se encuentran en el centro y con un calado aproximado de 2 metros. La primera cámara se denomina preclarificadora – se decantan los sólidos que llegan de los

diferentes recintos, especialmente de la zona de servicios higiénicos. La Segunda cámara se conoce como cámara de activación y es donde se produce la depuración de las aguas residuales.



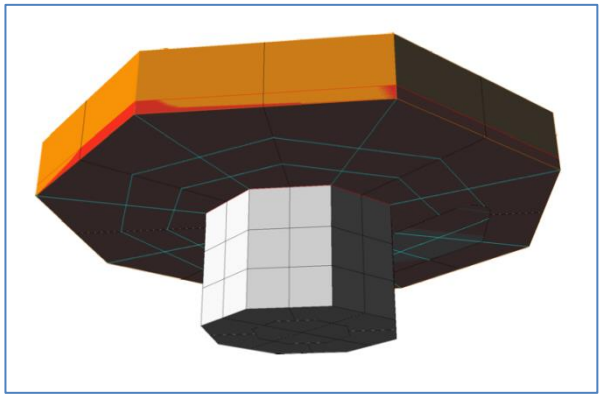
Figura nº 11. Maqueta digital Barrio

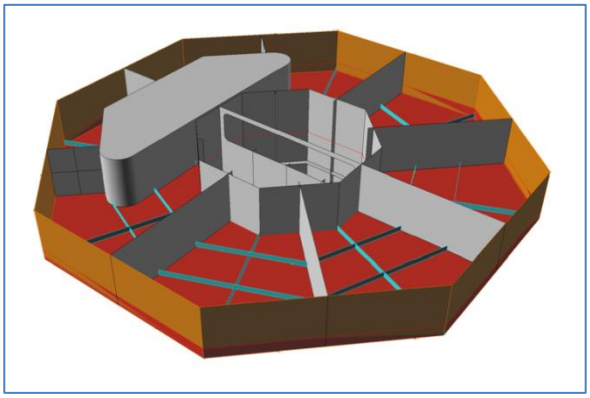


Figura nº 12. Módulo en etapa de pruebas



Figura nº 13. Disposición general del Barrio en etapa de pruebas





Figuras nº 14 y 15. Módulo de depuración de aguas / vista exterior y estructura interior

La totalidad de los módulos del Barrio Flotante suman aproximadamente 600 m^2 , los que contemplan oficinas del Transporte Fluvial, servicios higiénicos, tiendas, restaurant y terrazas, además de los muelles que sirven de parada para los watertaxi.

7. ALGUNOS ASPECTOS DEL FINANCIAMIENTO BASE.

El financiamiento base puede desglosarse en al menos tres áreas, la primera es la etapa de auscultación del estado del arte, para lo cual se opta por postular a fondos de Corfo – Corporación de Fomento de Chile, mediante un programa de Prospección Tecnológica, el cual fue postulado y ejecutado por la incubadora de negocios de la Universidad Austral de Chile

(Austral Incuba) con la participación de diferentes empresas del sector y bajo el marco de la creación de "Visión Valdivia A.G.". La segunda etapa corresponde a diseño, que tuvo un financiamiento de un 95% aportado por el sector privado, específicamente en "horas ingeniería" dedicadas al proyecto y la tercera etapa corresponde a la construcción y puesta en marcha del sistema, el cual se puede dividir en dos aportes principales, el primero es la construcción de la embarcaciones y del barrio flotante, que fue asumido como inversión-aporte por parte de astilleros Alwoplast S.A. y la segunda fue la construcción de los paraderos fluviales, que resultan de un acuerdo público privado de financiamiento, en base a licitaciones de construcción con financiamientos estatales.

8. EVALUACIÓN PRELIMINAR.

La puesta en marcha del sistema de Transporte Fluvial se ha visto afectada por una serie de situaciones que han determinado la situación actual de operación.

La marcha blanca del sistema comenzó en el mes de enero de 2013, contándose con dos embarcaciones, dos muelles y la estación de guarda, la que se encontraba en un emplazamiento temporal, ocupando parte del borde río de la zona de museos de la Universidad Austral de Chile. El servicio se basó principalmente en ruta turística, operando durante los meses de enero a marzo con una alta demanda. Los meses posteriores, que son los de inicio de otoño e invierno, la demanda bajó sustancialmente, aunque se mantiene una demanda media en los servicio adicionales al transporte fluvial, como por ejemplo, la gastronomía.

En base a un análisis posterior y la dificultad de mantener el emplazamiento temporal y habiendo obtenido la concesión fluvial definitiva de la zona final de emplazamiento, se decide el traslado de la estación de guarda aumentando además sus metros cuadrados útiles. El actual emplazamiento queda enmarcado en lo que se conoce como "Costanera de la Ciencia" y en donde se encuentran, además de otras instalaciones, el Centro de Estudios Científicos.

El sistema actualmente cuenta con cinco embarcaciones, cuatro monocascos y un catamarán, nueve paradas fluviales y una estación de guarda.

La instalación y puesta en marcha del sistema se ha visto ralentizada por diferentes aspectos, que van desde un estricto cumplimiento de la normativa vigente hasta la contratación de

personal adecuado, pero se detecta que el eje principal a ser analizado es la difícil relación público-privada en términos de ejecución, administración y financiamiento del sistema o de proyectos asociados a éste, lo que ha decantado en la utilización del sistema de transporte principalmente en rutas turísticas, desvirtuando de cierta manera el objetivo principal del proyecto. Sólo un 10% de los viajes cumplen un fin de transporte efectivamente público y el 90% restante se realiza en carácter turístico y/o universitario. Este último se verá acrecentado con la puesta en operación de dos nuevas paradas fluviales dentro de los Campus Universitarios.

9. A MODO DE CONCLUSIÓN.

No se ha definido este apartado como conclusión, considerando que el proyecto como tal se encuentra en marcha y posee una dinámica propia, que si bien puede no seguir estrictamente lo trazado como objetivo inicial, se ha trasformado en un referente de innovación en el Sur de Chile. De esta manera se amplían las propuestas, no sólo en nuevos diseños de embarcaciones, infraestructura y tipo de operación, sino que en métodos de financiamiento, lo que sin lugar a dudas es la piedra tope en un sistema de transporte que pretende ser un servicio publico. En la escalabilidad del sistema debe considerar, antes de ser aplicada en otras zonas, la solución de problemas detallados anteriormente, en especial si se opta por un sistema mixto de financiamiento e inversión.

10. REFERENCIAS.

[1] “Visión Valdivia A.G.” – Capital Náutica del Pacífico Sur

[2] Proyecto NT_238 “solar water taxi ”, NavTec Ltda

[3] Proyecto NT_241 “paraderos fluviales TFS”, NavTec Ltda

[4] Proyecto muelles flotantes Valdivia, Produce-Universidad FinisTerrae

[5] Proyecto NT_237 “barrio flotante”, NavTec Ltda

[6] www.inia.cl/1292/articles-49990_08

ANÁLISE DE SISTEMAS INTEGRADOS DE TRANSPORTE RODO-FLUVIAL MARÍTIMO SOB A INFLUÊNCIA DE REGIMES SAZONAIS

Novaes Mathias, Tiago[1]; Botter, Rui Carlo[2]

[1]Universidade de São Paulo – USP. Rua Professor Mello Moraes, 2231 – Sala A15 – São Paulo – SP – Brasil. novaes06@gmail.com; tiago.novaes@usp.br

[2]Universidade de São Paulo – USP. Rua Professor Mello Moraes, 2231 – Sala A15 – São Paulo – SP – Brasil. rcbotter@usp.br

RESUMO.

Este trabalho aborda problemas de transporte intermodal sob efeito de restrições que, usualmente, não são consideradas na fase de planejamento e dimensionamento da frota. E, considerando a sobreposição de dois fatores sazonais restritivos ao longo da cadeia de transportes - a variação na produção de grãos ao longo do ano e a sazonalidade das cotas de nível d'água nas hidrovias -, um modelo de simulação de eventos discretos foi desenvolvido para o sistema de transporte intermodal, no qual foram incluídos os fatores sazonais e os estoques nas interfaces entre cada modo de transporte. Assim, foi possível avaliar o impacto no dimensionamento das frotas em conjunto com a avaliação da capacidade portuária para exportação de grãos, bem como a necessidade de se estabelecer estoques intermediários ao longo da cadeia. Este é um sistema de transporte composto pelos modais rodoviário, hidroviário e marítimo, onde o modelo de simulação abrange desde os grãos produzidos pelas fazendas, passando pelo transporte de caminhão, até os armazéns intermediários, nos quais são carregados em barcaças fluviais com destino ao porto para exportação. O presente estudo traz uma série de comparações entre cenários para avaliação dos gargalos existentes no sistema de transporte intermodal, especialmente avaliando cenários com e sem as restrições sazonais, nos quais a frota e os estoques necessários são substancialmente diferentes se a sazonalidade não for considerada.

Palavras-chave: Logística de grãos, sazonalidade, modelo de simulação, transporte multimodal.

1. INTRODUÇÃO.

O agronegócio de uma nação é uma área importante para o crescimento econômico do país. Nas últimas décadas, a cultura de soja teve um crescimento expressivo das áreas de plantio, associado a um aumento na produtividade, que está diretamente ligado aos avanços tecnológicos e ao manejo eficiente dos produtores e transportadores de grãos.

No caso brasileiro, a cultura de soja se dá, principalmente, nas regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil, e se tornou um dos produtos mais destacados no mercado de commodities do país. Porém, ainda enfrenta alguns problemas de infraestrutura para transportar das regiões produtoras até os pontos de escoamento para o mercado internacional.

O Brasil é o segundo maior exportador de soja do mundo, com cerca de 85 milhões de toneladas produzidas em 2013 e 2014, perdendo apenas para os Estados Unidos, com aproximadamente 90 milhões de toneladas no mesmo período (SECEX, 2015).

No entanto, o sistema de transporte brasileiro apresenta alto custo operacional, chegando a ser duas vezes mais caro se comparado ao dos EUA. O escoamento da soja do Centro-Oeste para os portos teve significativas perdas de competitividade devido às precárias condições de conservação das rodovias. O custo logístico do país aumentou expressivamente, superando, em média, em 83% o dos Estados Unidos e em 94% o da Argentina - principais concorrentes brasileiros no setor de soja, conforme apontam (Jasper al. 2004 e 2005).

Para solucionar problemas de planejamento logístico, como o apontado anteriormente, Hoddet al. (2010) acredita que o uso racional dos recursos envolvidos e uma boa gestão das empresas são necessários. Com o avanço da capacidade computacional dos últimos anos, problemas cada vez mais complexos foram estudados por métodos quantitativos oriundos da pesquisa operacional. Sendo assim, os problemas de logística e gestão da cadeia de suprimentos têm despertado grande interesse estratégico das empresas. Isso se deve aos significativos ganhos gerados pela utilização da modelagem matemática e das análises estatísticas.

Neste trabalho, tem-se o transporte integrado de grãos pela rodovia, hidrovia e marítimo, onde a distância a ser percorrida - desde as fazendas produtoras até o porto de exportação - é muito grande e muito custosa para ser feita por apenas um modal.

É importante salientar que, devido à saturação da capacidade portuária do Sudeste brasileiro, a opção de utilizar o Nordeste e Norte do Brasil é uma oportunidade para o desenvolvimento dessas regiões. Neste contexto, é importante para o mercado de commodities brasileiro e para as empresas envolvidas com este segmento que os custos associados ao transporte sejam reduzidos.

Na figura 1 pode-se ver os principais minucípios brasileiros onde se tem a produção de grãos. As regiões Centro-Oeste e Sul do país são responsáveis por aproximadamente 83% de toda produção do país, sendo assim o escoamente desses grãos deve ser feito de forma ágil e adequada.

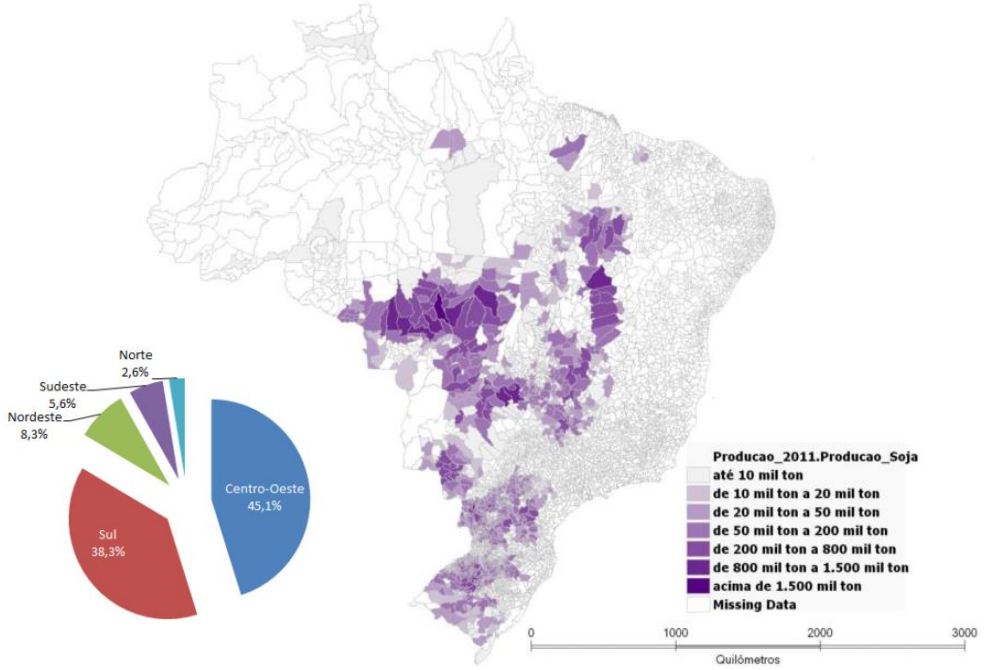


Figura 1: Distribuição da produção de Grãos no Brasil. Fonte: SIDRA, 2013

Devido à grande complexidade do sistema, optou-se pelo uso de simulação de eventos discretos como metodologia, já que este possibilita um maior detalhamento de todas as etapas que envolvem o carregamento de grãos nas fazendas produtoras, o transporte até os pontos de armazenagem intermediários, transbordo, transporte até o porto de destino e o embarque no navio para exportação. Além disso, em um modelo de simulação, podemos facilmente modelar restrições e características peculiares do processo, o que, no caso de um modelo analítico, teria um alto grau de dificuldade.

Foi desenvolvido um modelo de simulação de eventos discretos para avaliar a capacidade de um sistema intermodal de transporte de grãos para o escoamento de carga dos produtores no centro-oeste para um terminal portuário localizado na região Norte do litoral brasileiro, no estado do Pará. Para este sistema, foram consideradas apenas três hidrovias ligadas ao porto de exportação. Os grãos transportados neste sistema têm sua origem nas regiões Centro-Oeste, e Nordeste brasileiras, ou seja, as fazendas de origem da carga encontram-se distantes do porto de exportação em Vila do Conde, como mostrado na figura 2.

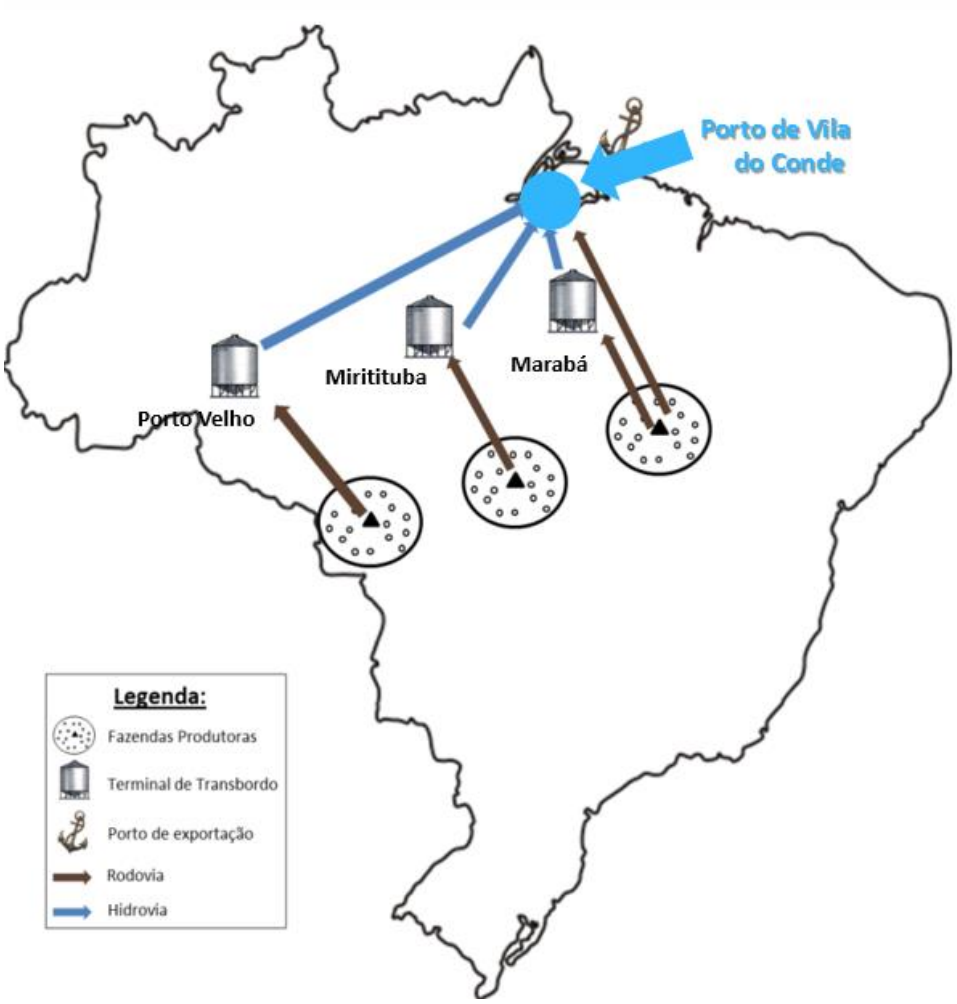


Figura 2: Mapa do escoamento de carga. Fonte: O autor.

Foi utilizada a técnica de simulação de eventos discretos para a modelagem nessa pesquisa, pois foi observada sua eficácia no auxílio à tomada de decisão no estudo de um sistema logístico complexo, onde há transferência de carga entre diferentes modais de transporte, e no qual devem ser considerados os estoques nos diversos pontos, assim como os estoques em trânsito.

Para Chwif e Medina (2006), a simulação não é capaz de prever soluções e tampouco pode ser confundida como otimização. Simulação é uma ferramenta de análise, onde cada cenário simulado pode ser combinado com outras técnicas, como a própria simulação ou mesmo a análise multicritérios para a tomada de decisão empresarial. Os autores ressaltam também que a simulação não é capaz de substituir o pensamento humano.

Diversos pesquisadores buscaram avaliar o transporte e a estocagem de grãos utilizando simulação. No entanto, não foi feita uma avaliação do comportamento dos estoques intermediários e estoque no porto de exportação com a influência de sazonalidade, e em nenhum desses estudos foi avaliada a cadeia logística intermodal. Ou seja, os sistemas de transporte e armazenagem foram estudados separadamente. Para atingir o objetivo deste trabalho, avaliou-se os impactos que as sazonalidades de oferta de produto e de restrição de navegação têm sobre os estoques de toda a cadeia de abastecimento de grãos.

2. OBJETIVO.

O objetivo desta pesquisa é estudar sistemas intermodais de transporte sobre efeitos da sazonalidade da produção e da variação do nível das hidrovias.

Foi escolhida a ferramenta de simulação de eventos discretos para dimensionar de maneira eficiente a frota de veículos terrestres, fluviais e marítimos necessários para o transporte da demanda de grãos associados aos estoques intermediários e levando em consideração todas as características de cada meio de transporte e a sazonalidade da oferta de carga nas fazendas produtoras.

3. REFERENCIAL TEÓRICO.

Os Sistemas de Apoio à Decisão, segundo Junior et al. (2006), são modelos computacionais que visam sistematizar e apoiar os processos decisórios empresariais.

Sendo assim, fornecem ferramentas de modelagem e análise com o objetivo de capacitar os usuários a solucionar problemas de forma integral, fornecendo informações adquiridas de diversas fontes de dados da empresa. As principais características dos sistemas de apoio à decisão segundo Buosi (2004) são:

- Foco nas decisões;

- Ênfase na flexibilidade, adaptabilidade e capacidade de fornecer respostas rápidas;
- Iniciado e controlado pelo usuário;
- Suporte para estilos pessoais de tomada de decisão.

Para Pegden et al. (1990) simulação é um modo de se representar um sistema real através de um modelo computacional que permita o entendimento de todas as ações que ocorrem em um sistema na sequência exata em que acontecem e a avaliação de alternativas que possam trazer melhorias à operação.

Harrington et al. (1992) salientam os impactos financeiros nas áreas de logística e marketing pelas decisões racionais utilizando técnicas de simulação num cenário caracterizado pelo aumento de competição externa, incertezas econômicas e flutuações do mercado financeiro.

A simulação implica em modelar processos ou sistemas, que sejam capazes de reproduzir respostas que seriam dadas pelo sistema real em uma sucessão de eventos durante determinado período de tempo (Schriber, 1974).

No entanto, Harrel et al (2004) define simulação como um processo de experimentação através de um modelo de um sistema real, no qual o objetivo é determinar o comportamento deste sistema quando sujeito a alterações na sua estrutura ou no ambiente que o rodeia. Sendo assim, o autor afirma que a simulação é composta por dois processos. Primeiro a construção de um modelo que representa o sistema, e em seguida observar e entender o sistema em estudo.

Para Chwif e Medina (2006) a simulação é uma metodologia indispensável para solução de problemas de engenharia, de projetos e de administração. Com um modelo de simulação é possível capturar a natureza dinâmica e aleatória de um modelo real com mais precisão e reproduzir em um modelo computacional. Para o desenvolvimento de um modelo de simulação, os autores sugerem três etapas, como mostrado na figura 3.

Sendo assim, todo projeto começa na fase de concepção, onde são traçados os objetivos e ocorrem as descobertas. Essa etapa deve ser discutida exaustivamente e todo o time envolvido deve ter suas expectativas bem alinhadas. Após toda a discussão, com o projeto esclarecido, os objetivos estabelecidos e o modelo conceitual criado, este deverá ser validado pelos especialistas do processo para então os dados de entrada serem coletados e ajustados a uma distribuição de probabilidade que os representem. Os autores enfatizam que é importante

utilizar o tempo necessário para a construção do modelo conceitual, já que este vai nortear a sequência do projeto.

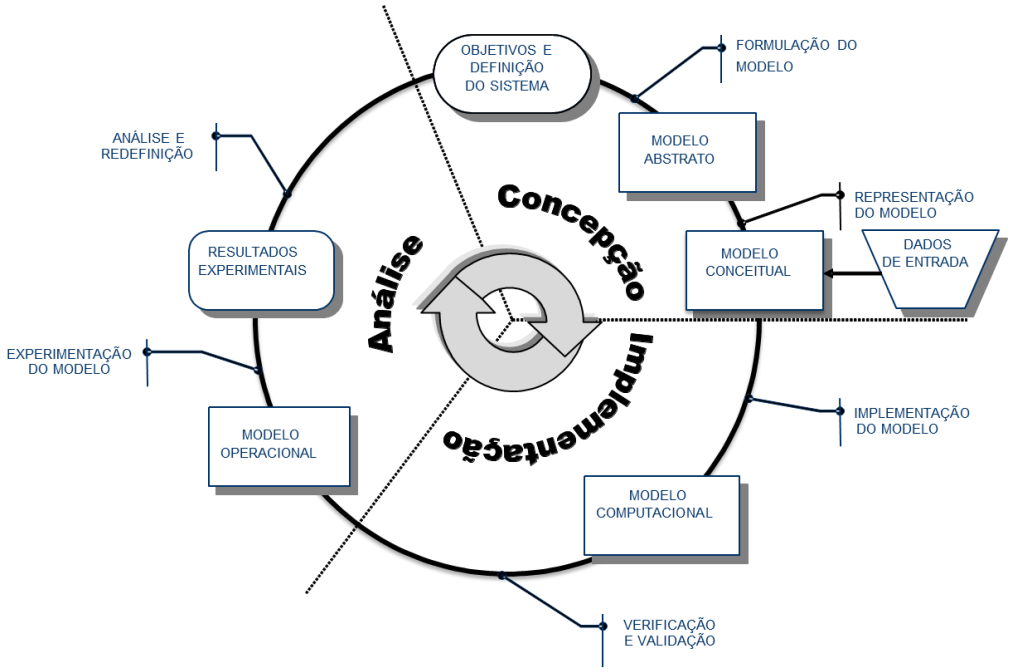


Figura 3 - Etapas do projeto de simulação. Fonte: Chwif e Medina (2006)

Com o modelo conceitual validado, documentado e com dados de entrada prontos para alimentar o modelo computacional, inicia-se a fase de implementação. Nesta parte, o modelo conceitual será implementado em um modelo computacional por meio de uma linguagem de simulação. Este novo modelo deve ser comparado ao modelo conceitual com o propósito de averiguar se sua operação atende ao que foi instituído na etapa de concepção.

Em seguida, o modelo passa por duas etapas importantes: validação e verificação, onde a validação consiste em aceitar ou não o modelo como uma representação aceitável da realidade, enquanto a verificação é para comprovar que o modelo conceitual foi implementado corretamente.

Em seguida, na análise dos resultados podem-se experimentar os cenários propostos e redefinir novos cenários. Nesta fase é possível verificar os gargalos que o sistema vai gerar para cada cenário simulado.

Para Netto (2012) é importante se dar o tratamento necessário à análise de dados disponíveis, já que estes desempenham uma função de extrema influência nos resultados de saída do modelo.

Chowdhury (1989) propõe a simulação como ferramenta ideal para estudar e avaliar sistemas grandes e complexos, onde ocorrem interações entre atividades. Sendo assim, o autor mostra que utilizar valores médios para análises de sistemas de transporte pode induzir a conclusões errôneas, uma vez que há flutuações e variações randômicas no sistema real, e argumenta a importância de testar a influência de diversos fenômenos de caráter aleatório.

Botterat al. (1988) ressalta a importância de utilizar técnicas de simulação de eventos discretos para o dimensionamento de sistemas integrados de transporte para a hidrovia Tietê-Paraná no transporte de álcool e óleo diesel.

Cochran e Lin (1989) ilustram a empregabilidade da técnica de simulação probabilística para auxiliar no desenvolvimento de um plano mestre de transporte de cargas no estado de Arizona (EUA). Devido ao caráter dinâmico e complexo do problema, os autores utilizaram a simulação.

Hameri e Paatela (1995) utilizam a simulação para avaliar um sistema de cadeia de suprimentos que engloba diversas características como a demanda dos clientes finais, medidas de desempenho econômico, restrições físicas no fluxo de material, entre outras. Sendo assim, os autores utilizaram o modelo de simulação implementado para avaliar cenários alternativos de operação do sistema.

Crainic e Laporte (1997) mostraram uma compilação de modelos matemáticos para o planejamento em nível tático, operacional ou estratégico onde a simulação é uma ferramenta chave de avaliação e dimensionamento de um serviço de transporte. Sendo assim, a importância da simulação é ressaltada pela possibilidade de realização de análises do tipo "what-if" para as questões levantadas durante o planejamento estratégico, como também por ser a ferramenta que dará subsídios para elaboração de um plano mestre de transporte, ou seja, indicará as políticas que irão nortear a operação do dia a dia.

Um aspecto importante da logística de navegação marítima, segundo Staford (2008), é como se pode otimizar a matriz de transporte logístico. Sendo assim, foram propostas quatro

variáveis no modelo de logística marítima, distância a ser percorrida, tipo de embarcação, tamanho e velocidade.

A distância é um aspecto crucial, já que afeta diretamente o custo e o tempo de viagem. O tamanho do navio é importante já que se pode obter economia de escala, uma vez que quanto maior a embarcação, mais é possível ser transportado e menor será o custo por unidade. No entanto, podem existir restrições de tamanho em alguns portos devido à profundidade média do calado de cada porto. A velocidade determina o custo da viagem, ou seja, o gasto de combustível e custos associados à movimentação do navio. E, o tipo da embarcação vai determinar sua eficiência e qual carga deverá ser transportada nela.

Sendo assim, para Stanford (2008) o transporte marítimo de cargas é um negócio de baixo custo e altos volumes, apresentando preocupações de infraestrutura nos portos para receber navios maiores, onde, por sua vez, é necessária maior profundidade do calado e consequentemente do berço onde o navio será atracado para carga e/ou descarga.

O transporte intermodal de pessoas e carga é definido pela transferência desde o ponto de origem até o ponto de destino, com uma sequência de pelo menos dois modais diferentes (Barnhart e Laporte, 2007).

Portanto, pode-se considerar neste trabalho que os conceitos de transporte intermodal de cargas foram utilizados, já que há transferências de carga desde seu ponto de origem até o ponto de destino por diferentes modais de transporte.

Para Hijjar (2004) o modal rodoviário é indicado para o transporte de cargas em distâncias curtas, ou seja, trajetos de até 300 quilômetros, assim como - para maiores distâncias -, o modal ferroviário ou hidroviário é mais indicado, por ter menor custo por tonelada x quilômetro. No entanto, isso não acontece no Brasil devido a atual malha de transporte.

Silveira e Vargas (2007) utilizaram técnicas de simulação de fluxo em rede para avaliar as estratégias de utilização rodoviária na região Centro-Oeste para o transporte de grãos, estudando principalmente a infraestrutura de transporte e identificando as rotas mais viáveis para determinado conjunto de pontos produtores com o intuito de aumentar a competitividade brasileira frente ao mercado de soja internacional.

Stringher (2004) afirma que é importante que as empresas possuam uma frota de veículos eficientemente dimensionada para garantir baixos custos marginais e um nível de serviço adequado às práticas de mercado. Dessa forma, para atender a demanda de soja produzida pelas fazendas, é importante que as operações de carga, transporte e descarga sejam efetuadas com eficiência.

No entanto, com a interdependência desses procedimentos e compartilhamento dos recursos envolvidos, podem ocorrer tempos não produtivos, como formação de filas nos locais de carregamento e descarregamentos devido a processos administrativos intrínsecos às operações e também pelo desbalanceamento de produtividade dos recursos disponibilizados ao longo dos processos (Mundim, 2009).

4. CONTEXTUALIZAÇÃO E CENÁRIOS.

As fazendas de soja utilizam caminhões para entregar até os portos fluviais de Porto Velho, Miritituba e Marabá, onde depositam a soja em silos de armazenamento. Esse material será levado de barcaça até o porto marítimo de Vila do Conde, onde será exportado. Portanto, os comboios, que são compostos por um conjunto de chatas e um empurrador têm diferentes capacidades de carga dependendo da hidrovia que vai navegar e, consequentemente, de velocidade de acordo com a época do ano.

No porto de exportação são consideradas três classes distintas de navios, Handymax com a capacidade de mais ou menos 35.000 t; Panamax, com média de 65.000 t e Capesize, com sua carga em torno de 105.000 t.

Para dimensionar e estudar sistemas foi necessário definir os recursos para cada sistema de transporte utilizad (Rodoviário, Hidroviário e Maritimo). Cada recurso que constitui o sistema tem suas taxas de carregamento, descarregamento e tempos de ciclo estratificados para avaliação de medidas de rendimento do sistema. No entanto, alguns *outputs*, como tempo médio em fila e quantidade de elementos em fila, são consequências de operação.

Alem da sazonalidade já conhecida das fazendas produtoras, foi necessário para esse trabalho a análise de nível de água das hidrovias que fazem parte do sistema. Sendo assim, foram coletados da Agência Nacional de Águas (Brasil) os dados referentes ao nível da agua de alguns pontos para as três hidrovias que podem ser vistos na figura 4.

A análise das cotas de nível de água feito mostrou que é possível, na média dos dados analisados para as três hidrovias, o transporte aquaviário de carga. Mesmo nos períodos de seca foi considerado a possibilidade de transporte, reduzindo a capacidade e a velocidade das barcaças. No entanto, ao utilizar a média alguns valores não são corretamente interpretados, já que em alguns casos, o nível d'água ficou tão baixo que impossibilitaria a navegação de carga naquele trecho, porém para este trabalho foi considerado a redução da capacaidade total de carga das barcaças que navegam pela hidrovia.

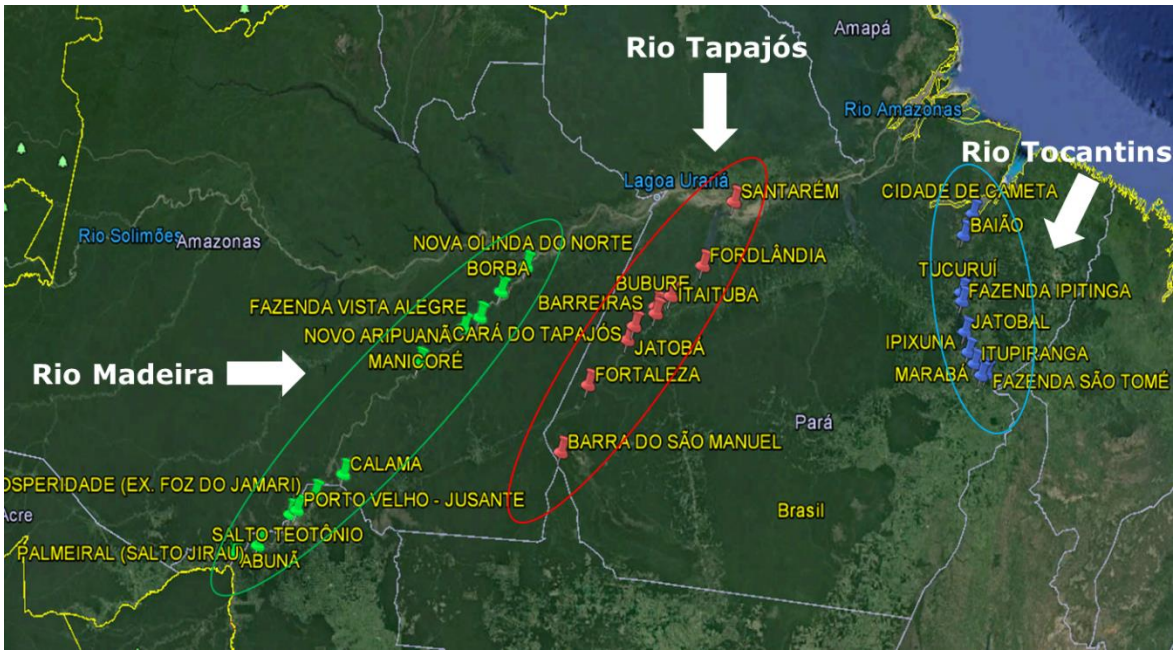


Figura 4: Hidrovias consideradas nesta pesquisa. Fonte: O Autor.

Foram definidos 4 cenários para verificação da influência das restrições da hidrovia e oferta de carga sobre o sistema de transporte. Os cenários são:

- CENÁRIO A "SEM RESTRIÇÕES" - Sem restrição de variação de capacidade de transporte dos comboios nas hidrovias, sem sazonalidade na demanda: neste cenário, a demanda para o transporte hidroviário foi distribuída igualmente ao longo dos meses.
- CENÁRIO B - Com restrição de variação de capacidade de transporte dos comboios nas hidrovias, sem sazonalidade na demanda: neste cenário, a demanda para o transporte hidroviário foi distribuída igualmente ao longo dos meses.

- CENÁRIO C - restrição de variação de capacidade de transporte dos comboios nas hidrovias e com sazonalidade na demanda: neste cenário, foi adotada a premissa de sazonalidade na demanda.
- CENÁRIO D – Sistema real de transporte considerando as restrições das hidrovias e a sazonalidade na oferta de produtos.

Todos os cenários foram testados com três perfis de frota distintos, ou seja, para cada conjunto de cenários a frota de navio é definida como 100% dos navios do tipo Handymax, 100% Panamax e um perfil onde 20% são do tipo Capesize e 80% Panamax.

Sendo assim, foi realizada a simulação do sistema real de transporte (Cenário D), levando-se em consideração todos os recursos e operações envolvidas, sendo este, posteriormente, comparado a um sistema semelhante, mas sem algumas restrições (Cenário A, B e C), para que possamos mensurar a real impedância que cada uma das restrições tem sobre o sistema estudado.

5. CONCLUSÃO.

Em um modelo de simulação, podemos facilmente descrever e definir os circuitos de transporte presentes ao longo da cadeia. Com isso, temos uma análise adequada e com rico detalhamento das interações dos diversos equipamentos e recursos contidos nesse processo, ou seja, com uma ferramenta de simulação matemática de eventos discretos é possível, de forma eficiente, a resolução de um problema de dimensionamento de uma frota de ativos e capacidade de estocagem estática, utilizada para o transporte de grãos das fazendas produtoras, localizadas no Centro-Oeste brasileiro, para o porto na costa leste do país, considerando duas restrições sazonais de grande influência ao longo de cada processo.

Se somadas as características sazonais nesse sistema, tanto por parte da produção quanto por parte da hidrovia, pode-se observar que o dimensionamento das frotas e os níveis de estocagem no processo são superiores aos obtidos sem que os fatores sazonais sejam considerados.

Os resultados obtidos comprovam que esta é uma ferramenta eficaz para a avaliação de um ambiente complexo da cadeia logística. Sendo assim, esta é um instrumento poderoso para a tomada de decisão para analistas envolvidos nessa área.

Além disso, a ferramenta descrita e aplicada no presente estudo pode ser adaptada para outros problemas de transporte intermodal através da releitura de premissas, critérios e do próprio modelo de simulação em si.

Por fim, sugere-se que a metodologia apresentada e a ferramenta desenvolvida sejam adaptadas e aplicadas a outros problemas logísticos de semelhante complexidade, seja com os mesmos modais utilizados ou adicionando outros. Para estudos futuros, recomenda-se que seja aplicada alguma técnica de otimização em paralelo à simulação, obtendo o melhor número possível de ativos e não apenas um número que satisfaça a demanda proposta.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.

Agência Nacional de Transportes Aquaviários- ANTAQ. Transporte de Cargas nas Hidrovias Brasileiras em 2011. Brasília, Ago 2012.

Portos. Principais Portos. Brasília, 2013.

BALLOU, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/ Logística Empresarial. Porto Alegre: Bookman, 2006.

Logística empresarial: transporte, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 1993.

BOTTER, R. C. Analysis of time-windows on ship arrival and its influence on port operations performance. The International Workshop on Harbour, Maritime & Multimodal Logistics Modelling and Simulation, Rio de Janeiro, 2004.

CHWIF, L.; MEDINA, A. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos. São Paulo: Ed. Leonardo Chwif, 2007.

Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações. São Paulo, Ed. Dos Autores, 2006.

Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações. São Paulo, 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

HARRINGTON, T.C.; LAMBERT, D.M.; Sterling, J.U. Simulating the financial impact of marketing and logistics decisions. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 22 No. 7, 3-12.1992.

HOFF, A.; ANDERSSON, H.; CHRISTIANSEN, M.; HASLEC, G.; LOKKETANGEN, A. Industrial Aspects and Literature Survey: Fleet Composition and Routing. Computers & Operations Research, v. 37, n. 12, p. 2041-2061, 2010.

JASPER, S. P., BIAGGIONI, M. A. M., RIBEIRO, J. P. Viabilidade econômica de aquisição de um silo-secador para pequenas áreas de produção. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.26, n.3, p.795-803, set./dez. 2006.

JUNIOR, S. N.; TSUNECHIRO, A. Pontos Críticos da Armazenagem de Grãos no Brasil. Análise e Indicadores do Agronegócio, v. 6, p. 1-5, 2011.

MUNDIM, J. U. C. Uso de simulação de eventos discretos para o dimensionamento de frota para a colheita e transporte de cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PEGDEN, C. D.; SADOWSKI, R. P.; SHANNON, R. E. Introduction to simulation using SIMAN. New York: Ed. McGraw-Hill, 1995.

SECRETARIA DO COMÉRCIO EXTERIOR (SECEX), 2012 Disponível em: <http://aliceweb.mdic.gov.br//menu/index/item/outrasEstatisticas> Acesso em: 29/04/2015.

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática. Produção Agrícola Municipal (anos 1990 a 2013): tabela 1612, área plantada, área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura temporária. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1612&z=t&o=11>. Acesso em: 09 Mar 2015.

SILVEIRA, V. VARGAS, I. A competitividade da soja do centro-oeste através da logística de redes de transporte de grãos de soja para exportação do estado do Mato-Grosso. XLV Congresso da Sober. p. 1-20, 2007.

STRINGHER, F. G. Designação de Rotas para Frota Dedicada em uma Rede de Distribuição de Linha Branca. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BARNHART, C.; LAPORTE, G. Handbook in OR & MS, Vol 14. Elsevier B.V. 2007.

CHOWDHURY, K.H. Simulation in marine transportation system. Marine Technology, Vol. 26, No. 1, 74-85, 1989.

CHURCHMAN, C. W. The Systems Approach, Delacorte Press, New York. 1968.

COCHRAN, J.K. e LIN, L. Application of computer simulation to freight transport systems. Journal of Operational Research Society, Vol. 40, 433-441. 1989.

CRAINIC, T.G. e LAPORTE, G. Planning models for freight transportation. European Journal of Operations Research, Vol. 97, 408-439. 1997.

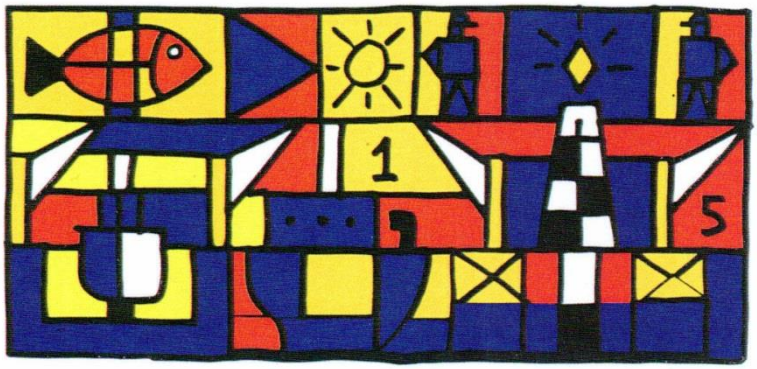
HARRELL, C., GHOSH, B. K., BOWDEN JR, R. O. Simulation Using Promodel. McGraw Hill, Nova Iorque, EUA. 2004.

HIJJAR, M. F. Logística, soja e comércio internacional. Centro de Estudo em Logística. COPPEAD, UFRJ, Rio de Janeiro. 2004.

HOFF, R. K., O'KRAY, C. Soybean Production Forecast at Record 97 Million Metric Tons (MMT); Exports Forecast at Record 50 MMT. USDA – United StatesDepartmentofAgriculture. 2014.

NETTO, J., F. Modelo de simulação para dimensionamento da frota de contêineres movimentada por navios em rota dedicada. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. 2012.

STANFORD, M. Maritime Economics.3rded. New York: Routledge. 2008.



XXIV COPINAVAL

CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERÍA NAVAL, TRANSPORTE MARÍTIMO E INGENIERÍA PORTUARIA.

MARINEXPO

EXPOSICIÓN COMERCIAL Y RONDA DE NEGOCIOS.

RADISSON HOTEL - MONTEVIDEO - URUGUAY

Anexo del Libro de Conferencias Magistrales y Trabajos Libres

INSTITUTO PANAMERICANO DE INGENIERIA NAVAL IPIN 1966

Copyright ©2014 Copinaval 2015 - Todos los derechos reservados XXIV COPINAVAL es un Congreso organizado por el Instituto Panamericano de Ingeniería Naval (IPIN). Editores: José Ángel Fraguela Formoso; Luis Carral Couce; Jorge Freiria Pereira

ISBN: 978-9974-91-047-8

Depósito Legal: 358853

Todos los derechos reservados, incluido el de traducción. A excepción de la copia autorizada, ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en sistema de recuperación transmitida en cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia u otro, sin el permiso previo por escrito de la editorial IPIN.

Este libro se publica entendiendo que los autores son los únicos responsables de las declaraciones y opiniones expresado en el mismo y que su publicación no implica necesariamente que tales declaraciones y/u opiniones son o reflejan las opiniones o dictámenes de los organizadores o los editores.

All rights, including translation reserved. Except for fair copying, no part of this publication may be reproduced, stored in retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying or otherwise, without the prior written permission of the publisher IPIN.

This book is published on the understanding that the authors are solely responsible for the statements made and opinions expressed in it and that its publication does not necessarily imply that such statements and/or opinions are or reflect the views or opinions of the organisers or publishers

INDICE

1. As atividades do método educacional de formação do profissional da marinha mercante: um estudo do CIABA
Charles Hudson M. de Vasconcelos *1*

2. Control de la biblioteca del IPIN – Capítulo Cuba
Paderni López, María del Carmen
Galiano Paderni, Amado E.
Galiano Ortiz, Amado F. *16*

3. Integración de sistemas de gestión: desde la calidad al medio ambiente en una empresa de diseño y construcción naval
Lic. Natasha Aguila Valdés *24*

4. Estudio de pertinencia de la creación de la carrera de ingeniería en seguridad y transporte marítimo en el ecuador
Mendieta Villalba N. M. *41*

5. Implementación de ingenieria en confiabilidad, en planes de sostenimiento de unidades navales
Grilli Bebelli, Leonardo *58*

6. Análisis técnico de las alternativas de optimización de un difusor de descarga de gases para submarinos convencionales
Manuel Herrera Romero *70*

7. Introduccion a la producción offshore
Gustavo Fabian Acosta
María Curria
Laura Stempkowski *88*

8. Desafios profesionales en el mar
Gustavo Fabian Acosta
Magdalena Martinsen Hansen
Catalina Rigou *115*

9. Introduccion a la perforación offshore
Gustavo Fabian Acosta *125*

10. Análisis hidrodinámico de una turbina hidrocinética con difusor mediante herramientas numéricas
Troncoso Paredes, C. E.
Tampier Brockhaus, G. A.
Salas Inzunza, M. A. *150*

11. Diseño de los sistemas de comunicación, navegación y automatización de un buque fluvial de acción social
Clara Tatiana Cañón Perdomo
Roberth Arturo Alvarez Jimenez *164*

12. Análisis técnico y operacional de sistema de transporte marítimo de agua dulce en contenedores flexibles
M. Salas *177*

13. Uma análise preliminar de riscos para a construção de lanchas em alumínio naval
Rafael Araújo Sales
José Ailton da Silva Júnior
Bruno Farias de Andrade *189*

14. Previsão de preço para empurradores fluviais
Brizamar Muniz de Aguiar Filho
Thiago Lemgruber Porto
Eduardo R. Barreda del Campo
José Teixeira de A. Neto Santos *205*

15. Evaluación de las implicaciones de los sistemas de propulsión diesel-eléctrico y diésel en un buque tipo OPV, durante su ciclo de vida
Wilmer Enrique Castro Reyes *224*

16. Desempenho de embarcações mistas usando modelo DEA
Nadson Cavalcante
Larissa de Andrade Silva *242*

17. Geração de energia elétrica em embarcações com o trocador de calor através do efeito Seebeck
Dayana Oliveira Magalhães
Edelson da Cruz Luz *261*

18. Análisis de los efectos en las defensa marinas para buques debido a un impacto localizado
Cueva Huamalies, M.A.
Rivera Tirado, F. *284*

19. Análise de resistência hidrodinâmica em uma embarcação utilizando dois diferentes softwares: COMSOL e ANSYS
Ricciardo S. Cei
Gabriel O. Bemerguy
Gabriel J. Ohana
Edelson Luz *307*

20. Problema de alocação de berços em terminais hidroviários
Paulo Vinícius Silva Brilhante

Matheus Monteiro Campos
Marcelo Henrique Dibo Paes
Eduardo R. Barreda del Campo
José Teixeira de A. Neto Santos *320*

21. Internal mechanics analysis on ship collisions
Rodrigo Michels *340*

22. Gestión de riesgo operacional en la industria marítima y portuaria
Rodrigo Andrade Rigazzi *356*

23. Diagnóstico e proposta de modelo de avaliação operacional para automação em terminais de contêineres no brasil
Prof. Dr. Marcelo Patricio
Prof. Dr. Rui Carlos Botter *373*

24. Dimensionamiento de estrobos para redes de pesca de arrastre
Freiria, J.
La Paz, P.
Marín, Y.
Chocca, J.
González, B.
Beathyate, G. *391*

25. Estudio de las condiciones de estabilidad de pontones
La Paz, P.
Álvarez, M.
Freiria, J. *403*

As atividades do método educacional de formação do profissional da marinha mercante: um estudo do CIABA

Charles Hudson M. de Vasconcelos
CIABA – Centro de Instrução Almirante Braz Aguiar
BELÉM – PA – BRASIL
charles.vasconcellos@ig.com.br

RESUMO

A inserção do Profissional da Marinha Mercante no mercado de trabalho se torna cada vez mais difícil, pois há um alto crescimento no nível de qualificação exigida desse profissional. A evolução e modernização da Marinha Mercante brasileira, o crescimento da indústria de construção naval e a globalização do comércio mundial impuseram o crescimento do nível de qualificação dessa mão de obra.

Uma das maneiras de ingressar nesse exigente mercado de trabalho é a categoria aluno da EFOMM - Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante. A EFOMM é o alicerce do CIABA- Centro de Instrução Almirante Braz de Aguiar, uma das principais escolas do mundo que oferece esse curso e investe na capacitação desses jovens que buscam uma colocação no mercado de trabalho.

A categoria exige ter entre 17 e 23 anos. Atualmente, o CIABA localiza-se à Rodovia Arthur Bernardes, n° 245, Bairro do Pratinha, Belém-PA, Brasil, em uma área construída de aproximadamente 147 mil metros quadrados. O Processo de Ensino do CIABA é certificado ISO 9001, que tem por missão formar, aperfeiçoar, atualizar e adestrar o pessoal das categorias profissionais da Marinha Mercante nas especialidades de Náutica e Máquinas, além de vários cursos de formação de pessoal subalterno (fluviários e portuários).

A ordem, a disciplina e a responsabilidade consistem em valores indispensáveis da instituição para uma produção satisfatória que está presente nas relações cotidianas, tanto para com os alunos e professores como para todo o funcionamento administrativo. Este artigo levanta a temática estudada no enfoque de ministrar os cursos necessários à formação e ao preparo do Profissional da Marinha Mercante e atividades correlatas do CIABA. Tem-se como objetivo mostrar a atuação e grandeza do método educacional que une a teoria com a prática para formação dos alunos. É considerado um Estudo de Caso por investigar um fenômeno

contemporâneo dentro de seu contexto real. O Estudo tem como procedimento metodológico a pesquisa bibliográfica, pois são utilizados materiais já publicados. Também é considerado análise observatória, pelo acompanhamento do cotidiano escolar e das aulas práticas.

PALAVRAS CHAVE: Marinha Mercante, Método Educacional, Mercado de Trabalho.

1 – INTRODUÇÃO

Ao estudar o tema sobre as Práticas Educacionais, como apoio para o desenvolvimento de Competências e Habilidades no preparo de profissionais para ingresso na Marinha Mercante, percebeu-se a relevância da temática na contribuição do trabalho do Ensino Profissional Marítimo para o crescimento de uma Nação. Este artigo levanta a temática estudada no enfoque do Curso de Formação de Oficial de Máquinas da Marinha Mercante - FOMQ do CIABA.

O CIABA, atuante como uma "Escola" que oferece cursos de formação, aperfeiçoamento e adaptação tem um papel muito importante na vida dos jovens, na disseminação do conhecimento técnico que serve como canal de ligação entre a Marinha Mercante e o aluno.

Inicialmente, foi realizado um enfoque do papel do CIABA, em seguida as diretrizes do curso e por fim contextualização da importância das Práticas Educacionais no uso dos laboratórios / oficinas como forma e método de aprendizagem.

Justifica-se a importância deste estudo por ser mais uma literatura para a temática estudada e também por trazer e instigar outros pesquisadores na divulgação dos trabalhos da instituição e ver que os laboratórios / oficinas são considerados método de ensino / aprendizagem, ou seja, é uma prática educacional.

Tem-se como objetivo mostrar a atuação e grandeza dos laboratórios / oficinas como método de prática educacional que une a teoria com a prática para os alunos do CIABA.

2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fim de obter um estudo apurado foi realizada uma abordagem sobre o assunto com base em três pilares. O primeiro dará referência ao papel do CIABA. Logo em seguida, será possível visualizar quais são as diretrizes do curso de Formação de Oficial de Máquinas da Marinha Mercante - FOMQ. Por fim, no terceiro pilar deste estudo, será sobre os laboratórios / oficinas como prática educacional no apoio à atuação do aluno junto ao mercado de trabalho.

2.1. O Papel do Centro de Instrução Almirante Braz Aguiar – CIABA

O objetivo do CIABA é habilitar o aluno, com as competências exigidas do 2º Oficial de Máquinas / Náutica, (2OM / 20N), conforme a Convenção Internacional sobre Padrões de Instrução, Certificação e Serviço de Quarto para Marítimos, 1978 (STCW-78, como emendada Manila 2010), Regra III/1 e o seu respectivo Código, Seção A-III/1, Tabela A-III/1, para o exercício das capacidades previstas nas Normas da Autoridade Marítima para Aquaviários, estabelecidas pela Diretoria de Portos e Costas.

O CIABA é secular. Sua história ultrapassa a casa dos cem anos. Remonta ao Curso de Maquinista e ao Curso de Náutica, que foram criados em 1892, pelo Presidente da República, Marechal Floriano Peixoto, por meio dos Decretos 101 e 102 de outubro daquele ano, sendo o Ministro da Marinha á época, o Almirante Custódio de Mello.

Em 1907, além dos cursos já ministrados, foram implantados novos cursos tais quais os Cursos de Comissários e de Radiotelegrafistas, o que ocasionou nova transformação. Surgiu, então, a Escola de Marinha Mercante do Pará - EMMPA, que deixou a pequena sala do Arsenal de Marinha para ocupar o seu novo prédio de dois andares, chantado, também, em terreno do Comando do 4º Distrito Naval .

A EMMPA continuou formando e adaptando fluviários, pilotos, maquinistas, radiotelegrafistas e comissários até que, por força do progresso tecnológico, foi novamente transformada pelo Decreto nº 71.718 de 16 de janeiro de 1973 em Centro de Instrução Almirante Braz de Aguiar, por sugestão do historiador paraense Augusto Meira Filho. O recém-criado Centro teve como seu primeiro comandante o Capitão-de-Fragata LOURIVAL ANCHIETA (13 de janeiro de 1973 a 21 de janeiro de 1976).

O nome do Centro é uma homenagem ao "Almirante Braz Dias de Aguiar" (1881-1947), que participou de atividades hidrográficas no Rio Amazonas e ao longo do litoral brasileiro, instalou e determinou as coordenadas geográficas de estações termo pluviométricas. As diversas transformações pelas quais passou a antiga Escola de Marinha Mercante do Pará foram uma consequência e imposição da mesma evolução e modernização da Marinha Mercante brasileira, do crescimento da indústria de construção naval, da expansão do comércio exterior e da preparação e treinamento de mão-de-obra especializada para operação dos navios. Seu atual

regulamento não limita mais a área de atuação profissional, bem como, suas instalações provêm todo o apoio para que alunos de outros estados possam, em regime de internato, usufruir, também dessa opção de carreira.

É difícil avaliar a abrangência e o alcance dos objetivos do CIABA. Se isto for ser baseado no número de alunos formados, não há dúvidas sobre seu estrondoso sucesso. Neste ponto de vista, deve-se analisar também a inclusão desses alunos no mercado de trabalho, uma das iniciativas promissoras da instituição, dar oportunidade de egresso no mercado de trabalho. Através dos cursos, o CIABA procura construir uma classe de colaboradores diferenciada, introduzindo os princípios técnicos de cada conteúdo ministrado.

2.2. Diretrizes do Curso de Formação de Oficial de Máquinas da Marinha Mercante - FOMQ

Conforme disciplinado nos artigos 5º e 10º da Lei nº 7.573 de 23/12/1986 (Lei do Ensino Profissional Marítimo), o currículo (plano) de curso fundamenta-se nos princípios da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), no decreto que a regulamenta, no tocante à Educação Profissional de Nível Superior (Bacharelado em Ciências Náuticas – com ênfase em Máquinas), pareceres e Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia, aprovada pela Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação.

Este curso destina-se ao preparo de profissionais para ingresso na Marinha Mercante como Aquaviários do 1º Grupo - Marítimos, Seção de Máquinas, com inscrição na categoria de 2º Oficial de Máquinas, (2OM), no nível de equivalência 7, para o exercício das capacidades previstas nas Normas da Autoridade Marítima para Aquaviários.

Por outro lado, capacita para o exercício de atividades operacionais e gerenciais básicas nas áreas correlatas ao setor aquaviário.

Também busca desenvolver as competências necessárias a formação do indivíduo para a incorporação à Reserva da Marinha do Brasil, como 2° Tenente, de acordo com a Legislação do Serviço Militar.

Em cumprimento ao contido na NORMAM-30/DPC, Volume I - Aquaviários, a aferição da aprendizagem do aluno fornece dados que permitam avaliar se o aluno atingiu padrão de competência aceitável em relação aos propósitos gerais do curso. Em todas as avaliações das disciplinas da Matriz Curricular, do Trabalho de Conclusão do Curso (TTC), Programa de Leitura (PROLER), Prova de Conhecimentos Técnicos (PCT), Programa de Estágio (PREST) e do Conceito de Oficialato, são atribuídos graus que variam de zero a dez, com aproximação a décimos.

A Sistemática de Avaliação da Disciplina:

- Ocorre de forma contínua, por meio de trabalhos, de provas e do desempenho pessoal na execução de tarefas, conforme estabelecido no sumário da disciplina;
- O aproveitamento em cada disciplina será expresso por uma Média da Disciplina (MD), obtida pela média aritmética das notas das avaliações a que for submetido o aluno;
- O aluno cuja MD foi igual ou superior a seis será considerado aprovado em qualquer disciplina;
- O aluno cuja MD for igual ou superior a três e inferior a seis será submetido à Prova Final (PF);
- O aluno que obtiver MD inferior a três terá sua matrícula cancelada;
- Para ser considerado aprovado na disciplina, quando submetido a uma PF, o aluno deverá obter, na mesma, nota que somada à MD perfaça um total de dez pontos;
- Após a PF, o aluno que não obtiver média para aprovação em até três disciplinas, será submetido a um período de recuperação com aulas, equivalente a vinte por cento da
- Carga horária (CH) da respectiva disciplina, para realização de uma prova, cuja nota para aprovação deverá ser igual ou superior a seis;
- O aluno que não obtiver a nota mínima igual a seis na avaliação do período de recuperação terá sua matrícula cancelada;
- Compete ao Comandante do CIABA ou Superintendentes de Ensino, por delegação, após decisão do Conselho de Ensino, a anulação de provas e quaisquer outras medidas ou avaliações, quando constatadas irregularidades ou resultados anormais, e,
- As avaliações das atividades práticas serão expressas por notas atribuídas por meio da análise do desempenho do aluno na execução das tarefas no decorrer das aulas, conforme os seguintes parâmetros:

Tabela 1 – Parâmetros para avaliações das atividades práticas

NOTA	EXECUÇÃO DA TAREFA (%)
0	0
1 a 3	até 30
4 a 5	entre 31 e 50
6 a 7	entre 51 e 70
8 a 10	entre 71 e 100

O número máximo diário de horas-aula é dez e o mínimo seis, considerando duas horas-aulas consecutivas, com duração de quarenta e cinco minutos cada, seguidas de intervalo de dez minutos. Outras atividades são conduzidas além deste horário, inclusive no período noturno e em dias de rotina de domingo e feriados, quando determinadas.

As atividades de ensino compreendem:

- Atividades acadêmicas – desenvolvidas em salas de aula, laboratórios, oficinas, simuladores a bordo de embarcações, plataformas, terminais marítimos e estaleiros;
- Atividades militares – desenvolvidas com vista à formação militar-naval e compreendem disciplinas curriculares, embarques, formaturas, cerimônias, eventos cívico-militares, serviço diário, prática de liderança e atividades de rotina da Organização Militar (OM); e,
- Atividades extraclasses – destinam-se a complementar o curso e compreendem palestras, seminários, filmes, visitas, atividades sociais e esportivo-culturais, de interesse para a formação do aluno.

O curso, no sentido mais amplo, abrange os seguintes Tipos de Ensino:

- Ensino Básico – destinado a assegurar conhecimentos lógico-matemáticos e de Ciências Físicas necessários ao desenvolvimento técnico-profissional;
- Ensino Profissional – destinado a desenvolver as competências e habilidades necessárias ao exercício das atividades técnicas e especializadas; e
- Ensino Militar-Naval – destinado a promover a instrução militar que contribua para a capacitação do exercício de funções gerais básicas de caráter militar, bem como, aquelas

capazes de desenvolver as qualidades morais, cívicas e físicas necessárias à condição de Oficial da Reserva da Marinha do Brasil (MB).

Para implementar os diferentes Tipos de Ensino acima citados, tomar-se por base a proposta pedagógica dos quatro pilares da Educação para o século XXI, quais sejam: aprender a fazer, aprender a conhecer, aprender a ser e aprender a conviver, no intuito de propiciar o desenvolvimento das seguintes habilidades pessoais:

- Embasamento operacional e gerencial básico pertinentes às atividades desenvolvidas pelo Oficial da Marinha Mercante;
- Formação profissional que garanta sólida base de conhecimentos e que possibilite o desempenho das funções de operação, nos níveis estabelecidos para a Marinha Mercante;
- Auto desenvolvimento progressivo de competências e habilidades profissionais e intelectuais, exigidas para aperfeiçoamento, especialização e acompanhamento da evolução tecnológica na área da Marinha Mercante;
- Formação militar compatível com aptidão moral e ética para o oficialato da reserva da MB;
- Manutenção dos padrões de aptidão médica e habilidade física necessárias para o desempenho das funções a bordo;
- Conscientização crítica com relação à Segurança, Preservação do Meio Ambiente e Saúde (SMS), conforme as normas nacionais e internacionais;
- Inspeções e manutenção a bordo e em terra, em atividades correlatas ao setor aquaviário;
- Comunicação clara e precisa nas formas oral e escrita, utilizando o português e o inglês;
- Resistência à pressão psicológica em situações de crise e adaptação à rotina de confinamento;
- Aceitação de situações adversas na vida pessoal em proveito da atividade ‘profissional;
- Destreza motora; e,
- Natação e sobrevivência no meio aquático.

O curso tem duas fases e é desenvolvido em oito semestres, a saber:

- Primeira fase denominada de Período Acadêmico, composto de três anos letivos (seis semestres), em regime de internato, com dedicação exclusiva do aluno e estruturado em um sistema serial semestral; e,

- Segunda fase denominada de Período de Estágio, compreendendo um semestre embarcado, cumprindo estágio supervisionado.

Durante o Período Acadêmico, além dos estudos dos conteúdos das diversas disciplinas do currículo do curso, os alunos são submetidos a um Programa de Leitura (PROLER), no qual sob orientação e avaliação dos Departamentos e Divisões de Ensino os mesmo leem dois livros por semestre, sobre história, sociologia, filosofia ou economia da Marinha Mercante. O PROLER tem como principal propósito despertar o interesse do aluno para a leitura, com ênfase em assuntos ligados a Marinha Mercante.

Os 1º e o 2º semestres são compostos por disciplinas comuns às habilitações de Náutica e de Máquinas, em especial as denominadas de básicas, exigidas para a graduação em bacharelado. Durante o 2º semestre podem ser programadas palestras de orientação e visitas às embarcações nos portos e estaleiros, visando contribuir para a escolha do aluno pela habilitação de Náutica ou de Máquinas. A escolha da habilitação está sujeita à classificação do aluno e ao número de vagas estabelecidas para cada formação. Os outros semestres atenderão ao Ensino Profissional;

A partir do 3º semestre, o aluno inicia sob orientação dos Docentes dos Departamentos e Divisões de Ensino, a elaboração de um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) individual, conforme projeto de pesquisa baseado nas normas da ABNT, e nos conhecimentos adquiridos na disciplina Metodologia da Pesquisa, que deve ser concluído no 6º semestre até o final do mês de agosto.

Após o término do 6º semestre, o aluno realiza, obrigatoriamente, o Programa de Estágio (PREST), a bordo de embarcações mercantes utilizadas na navegação em mar aberto, exclusivamente em empresas indicadas pelo CIABA. Este estágio tem a duração mínima de seis meses de embarque e é supervisionado e conduzido de acordo com a programação estabelecid no Livro de Registro de Estágio, aprovado pela Autoridade Marítima;

Durante as atividades extraclasse, as horas correspondentes aos períodos de embarques de oportunidade deverão ter um registro efetuado pelo CI e serão adicionadas ao tempo do PREST. O mesmo deverá ser concluído em até dois anos, contados a partir da data de conclusão do último semestre escolar.

Durante os semestres acadêmicos, os alunos são militares, conforme previsto no Estatuto dos Militares, por estarem realizando a formação de Oficiais da Reserva da MB. Após a declaração de Praticantes, os alunos são desligados do Serviço Ativo da MB, inclusos como Guardas-Marinha da Reserva, de acordo com a legislação em vigor. Como alunos civis, passam a ser regidos pela NORMAM-30/DPC, Volume I - Aquaviários e pelo Regimento Interno dos CI.

2.3. A Oficina como Prática Educacional no Apoio à Atuação do Aluno junto ao Mercado de Trabalho

Segundo Peréz (1979), os métodos de ensino nas Escolas sejam elas profissionalizantes ou não, são as formas através das quais os professores/instrutores irão trabalhar os diversos conteúdos com a finalidade de atingirem os objetivos propostos. Outro conceito dado pelo autor é que o Método de Ensino compreende as estratégias e procedimentos adotados no ensino por professores e alunos. Os métodos se caracterizam por ações conscientes, planejadas e controladas, e visam atingir, além dos objetivos gerais e específicos propostos, algum nível de generalização.

Como visto no tópico 2.1 deste estudo, o foco do ensino na Habilitação Técnica da Educação Básica promovido pelo CIABA é parte integrante na preparação do aluno para o mercado de trabalho, mas precisamente, na Marinha Mercante. É imprescindível destacar, para entendimento deste trabalho, que as Práticas Educacionais, utilizada como estudo, limitam-se ao uso da tecnologia como ferramenta e suporte para o entendimento do conteúdo, como também aos trabalhos realizados nas oficinas/laboratórios da Escola.

A definição de método de ensino acima colocado, das práticas em oficinas/laboratórios compreende o método de plano ideal de ação, a ser executado por professores e alunos no processo de ensino-aprendizagem. Para este processo, se faz necessário destacar, a dimensão do planejamento, da idealização geral de um plano de trabalho, que se faz à luz de determinados princípios teóricos e práticos. A oportunidade que o aluno possui, em ter como instrumento de articulação a vivência com protótipos de máquinas e equipamentos, além dos elementos teóricos, leva para uma análise mais profunda do que é a educação, no contexto socioeconômico específico.

Podemos afirmar com convicção que os Laboratórios e Oficinas de Aprendizagem como Prática Educacional do CIABA preparam o aluno para a formação profissional. É uma excelente forma de construção de conceitos através de atividades práticas, e não somente daqueles conceitos que dizem respeito diretamente aos conteúdos, como também de valores, como respeito às diferenças, solidariedade e compreensão do outro. Estes fatores são tão presentes e identificadores nos alunos que no próprio manuseio da máquina e/ou equipamento percebe-se a interação do grupo como parceiro na atividade e a ajuda mútua entre eles.

A metodologia de ensino CIABA, durante as últimas décadas, foi enriquecida em consonância com o aperfeiçoamento exigido pelo mercado. O "Sumário", das disciplinas que compõe a etapa ensino profissionalizante, passou a ser integrado por "Folhas-Tarefas" (o que fazer, como fazer e com que fazer). Os alunos, após estudo das unidades de ensino, em grupo ou individualmente, sob a direção do professor, executam as tarefas nos laboratórios ou nas oficinas. Adotou-se a técnica da "instrução individual", o desenvolvimento progressivo da iniciativa, do senso de responsabilidade e da criatividade dos alunos. Os professores, com a nova metodologia, se responsabilizam pela demonstração de como executar as operações podendo acompanhar com mais facilidade e melhores resultados a execução das tarefas.

Na busca do aperfeiçoamento de uma metodologia e procurando atender de forma mais racional as necessidades das empresas e as características individuais dos alunos foi utilizado o Ensino Individualizado durante a realização do estudo de tarefa. É de se notar que a instrução individual já vinha sendo adotada para a prática profissional mediante a utilização das "Folhas-Tarefas". O que caracterizou a melhoria da metodologia foi a globalização do ensino de laboratório / oficina com o das disciplinas instrumentais, permitindo que o aluno condicionasse seu progresso na aprendizagem ao seu próprio ritmo, interesse e conhecimentos anteriormente adquiridos.

Atualmente é adotada a formação e a certificação por competências. Competência é a mobilização de conhecimentos, habilidades e atitudes necessários ao desempenho de atividades ou funções típicas segundo padrões de qualidade e produtividade requeridos pela natureza do trabalho. O CIABA está adotando o enfoque por competências procurando maior articulação entre o mundo da educação e do trabalho, ditada pelo novo paradigma da sociedade do conhecimento. Além disso, busca-se a ampliação das oportunidades de inserção profissional do

aluno, através da preparação para perfis mais abrangentes bem como a renovação do processo de ensino e aprendizagem e o reconhecimento e validação de competência, independente da forma como foram adquiridas, para atendimento das disposições legais, dispostas na Lei de Diretrizes e Bases – LDB, de 1996, conforme Ministério da Educação, Esporte e Cultura (2013).

O estudo mostra que a realização deste tipo de metodologia também faz perceber quanta diversidade há em sala de aula. Enquanto um aluno se mostra mais habilidoso para as aulas práticas, o outro para a escrita, a fala e assim por diante.

Peréz (1979) relata que o resgate da dimensão prática, operativa e atualizada como método de ensino é fundamental para se avaliar a sua eficácia. É pensado que, enfatizando o lado operativo e instrumental do método, também está contribuindo para uma melhor compreensão sobre a relação entre o arcabouço teórico de uma determinada corrente pedagógica e a aplicação de seus princípios.

Já Vargas (1994) traz para enriquecimento as definições em seu contexto histórico dos conceitos de teoria e técnica, ou seja, a teoria (theoreo) e técnica (techné) foram elaborações dos gregos, na Grécia, entre os séculos VI e IV a. C., que se deu o desenvolvimento da explicação racional para as questões pertinentes a natureza e ao mundo dos homens. Theoreo, para os gregos, significava ver com os olhos do espírito, contemplar e examinar sem a atividade experimental. Techné estava ligada a um conjunto de conhecimentos e habilidades profissionais. O conhecimento técnico era o trabalho feito com as mãos, como a fabricação de engenhos mecânicos e não o trabalho manual em si.

2.3.1. Atuação dos Laboratórios / Oficinas do CIABA

Destacam-se como objetivos organizacionais dos Laboratórios / Oficinas como método de Aprendizagem, Kuller (2008):

- Proporcionar ao educando situações de aprendizagem, teóricas/práticas, a fim de desenvolver as competências necessárias, para atuar com eficácia de forma individual e coletiva, nas áreas de projetos, métodos e processos, planejamento e execução;

- Possibilitar ao aluno apropriação de conhecimentos científicos e tecnológicos, que lhe permitam exercer a profissão e sua cidadania de forma responsável, reflexiva, proativa, criativa e dinâmica;
- Fornecer condições para a aquisição de competências profissionais e pessoais, necessárias ao desenvolvimento das atividades de acordo com os padrões de qualidade, segurança, saúde e de respeito ao meio ambiente e convivência humana;
- Oferecer situações que permitam seu autodesenvolvimento, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho;
- Propiciar aos alunos, vivência profissional em ambientes pedagógicos e do processo produtivo, para desenvolver atividades práticas consistentes.

Os laboratórios / oficinas são práticas existentes no CIABA como método definido. No caso, têm-se Laboratórios de: Metrologia, Ensaio de Materiais, Eletrônica, Controle de Processos, Automação, Eletricidade. Eletrotécnica, Telecomunicações, Termodinâmica, Informática, Refrigeração, Virtual e Oficinas de: Diesel Elétrico, Usinagem, Ajustagem, Soldagem.

A resposta junto ao mercado de trabalho vem de imediato. Vários alunos são absorvidos de forma que as empresas solicitam através de encaminhamento, os jovens aprendizes para que estes desenvolvam as suas práticas aprendidas no CIABA. De fato, existe um acompanhamento junto a esses alunos de forma que a Escola verifique e acompanhe o rendimento deste em atuação.

Outro ponto a ser ressaltado é o papel do Educador no processo de Ensino aprendizagem. A ordem, a disciplina e a responsabilidade consistem em valores indispensáveis da instituição para uma produção satisfatória que está presente nas relações cotidianas, tanto para com os alunos e professores como para todo o funcionamento administrativo.

Os docentes (professores / instrutores / coordenadores e avaliadores) atendem aos seguintes requisitos:

- Possuir formação apropriada em técnicas educacionais, práticas de docência e métodos de avaliação;
- Possuir qualificações e experiência relacionadas aos conteúdos a serem ministrados;

- No caso de disciplinas técnicas possuir experiência de preferência na atividade aquaviária;
- Estar qualificado na função à qual corresponde a tarefa objeto da aula prática que irá ministrar;

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

É considerado um Estudo de Caso por investigar um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real. O Estudo teve como procedimento metodológico a pesquisa bibliográfica, pois foram utilizados materiais já publicados. Também é considerado uma pesquisa de análise observatória, pelo acompanhamento do cotidiano escolar e das aulas práticas e mostrar a importância da atuação das oficinas como prática educacional.

4. RESULTADOS ESPERADOS

Pode-se concluir, com o estudo, que a prática educacional do uso dos laboratórios / oficinas, adotada pelo CIABA como Método Educacional é satisfatória e tem obtido êxito concordante com os objetivos da instituição: formar mão-de-obra para a Marinha Mercante. Uma formação de profissionais por meio de uma metodologia da racionalização, da divisão do trabalho que, além do ensinamento das técnicas do ofício em si, comportam também o aprendizado da postura e de uma determinada maneira prática para ter um futuro no mercado de trabalho.

A procura de um primeiro emprego além de ser dificultoso para o jovem gera medo e insegurança por ser ainda algo novo, com pessoas e tarefas que ainda não são de seu hábito, mais isso com o passar do tempo vai ficando de lado, e em seu lugar fica a satisfação e a vontade de cada dia aprender mais.

O CIABA se empenha a dar oportunidades aos alunos que após o curso de aprendizagem já tem mais segurança e experiência para obter outra oportunidade, pois já saem como um profissional. Isso se não houver a efetivação desse aluno na empresa, o que é praticamente uma rotina.

O curso leva muitos benefícios não só para os alunos que estão se qualificando, mas também para as empresas contratantes que os habilitam, que futuramente poderão ser seus funcionários.

Esse curso abre uma porta para quem procura ser um bom profissional, depende de cada um procurar meios de se habilitar cada vez mais para obter uma vida profissional de sucesso.

As práticas educacionais de qualquer instituição é ponto norteador da qualidade do ensino seja ele profissionalizante ou não. Transformar o aluno como formador de opinião é levar para o mercado de trabalho alunos capacitados e orientados para enfrentar as situações problemas que o mercado exige.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. Currículo Curso de Formação de Oficial de Máquinas da Marinha Mercante. Marinha do Brasil. Diretoria de Portos e Costas. 2013;

_____. Ministério da Educação, Esporte e Cultura. [2013]. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seed/arquivos/pdf/tvescola/leis/lein9394.pdf/>

KÜLLER, J. A. Como trabalhar metodologias na educação profissional. [2013a?] Blog Germinal – Educação e Trabalho, jul.2008. Disponível em: <http://germinai.wordpress.com/2008/07/08/como-trabalhar-metodologias-na-educacao profissional/>;

Manual de Implementação do Programa Adolescente Aprendiz: vida profissional: começando direito. 2ª edição / Conselho Nacional do Ministério Público. - Brasília: CNMP, 2013;

MICELI, P. C. e PAZZINATO, A. L. SENAI – SP: 65 anos de um sistema educacional consequente. São Paulo: SENAI, 2007, 191p;

PERÉZ, RAÚL FERRER E OUTROS. Algumas considerações sobre os métodos de direção do processo de ensino. Editora: Havana, 1979.

VARGAS, MILTON (Org.) História da técnica e da tecnologia no Brasil. São Paulo, Ed. UNESP: Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 1994.

Control de la biblioteca del IPIN – Capítulo Cuba

Paderni López, María del Carmen; MSc. [1]
Galiano Paderni, Amado E.; Ing. [2]
Galiano Ortiz, Amado F.; Dr. C. T [3]

[1] Softel/Gestores de Producto, La Habana, Cuba, carmenchu@softel.cu
[2] ICID, / Tecnólogo., La Habana, Cuba, amado@icid.cu
[3] CEPRONA, / Especialista Ingeniero Naval, La Habana, Cuba, amado@almendar.alinet.cu

Resumen

El IPIN - Capítulo Cuba cuenta con una amplia biblioteca fruto de los muchos años de aportes de las diferentes instituciones que lo conforman, de miembros y colaboradores que han donado incomparables materiales a esta. Se cuenta con libros, revistas y folletos que no solo son de la rama naval. Por características de la sede, ha habido necesidad de trasladar estos libros de forma física en numerosas ocasiones, por lo que esto siempre resulta engorroso. Debido a esto se hizo preciso crear una base de datos que pudiera ser consultada por los miembros, o por otras personas que acudan a la sede. También se contaba con un grupo de libros en idioma ruso que eran donaciones de antiguos estudiantes de Ingeniería Naval. Se hizo un trabajo de levantamiento de los libros, por temática, autores, países y en el caso de los libros rusos una traducción de sus datos generales. Creándose dos Bases de Datos para separa los libros en español e inglés y los Libros Rusos. Para manipular dicha Base de Datos se decidió desarrollar un Software en Microsoft Access 2010 por sus facilidades de traslado, instalación y no requerir el equipamiento de prestaciones muy especiales. En el presente trabajo después de una introducción previa a la problemática presentada, se hace una explicación del software desarrollado y de sus facilidades de uso.

Palabras clave: Biblioteca, Software, Ingeniería Naval.

Abstract

The IPIN-Chapter Cuba counts with a wide library as result of the many years of contributions from the different institutions that conform it, members and collaborators that have donated incomparable materials to this collection. It have books, magazines and pamphlets that are not only from the naval branch. For characteristics of the library has been necessary transfer this books physically several times. For this reason was created a database that can be consulted by

the members, or other people who visits the headquarters. Also the library counts with a group of books in russian language, product of donations from former students of naval engineering. It was made a categorization of the books by topic, authors, and countries and in the case of the russian books was carried out a translation of its general data.

Finally two databases were created to separate the russian books from the rest (books in english and spanish language). A software in Microsoft Access 2010 was developed to manipulate the database. In the present writing after a brief introduction to the problematic presented it is made an explanation of the software developed and their use facilities.

KeyWords: Library, Software, Naval Engineering

INTRODUCCIÓN

Desde la creación del **Capítulo Cuba** del **Instituto Panamericano de Ingeniería Naval (IPIN CUBA)** se pensó en la necesidad de crear una biblioteca de consulta para los profesionales de la rama y los miembros de la Organización.

La biblioteca se inicia con la *donación* de un grupo de libros de las especialidades navales que pertenecían a antiguos estudiantes. Con el tiempo fueron aumentando en esta Biblioteca, nuevos folletos y libros, también donados por algunos miembros de las organizaciones extranjeras colaboradores del propio IPIN. CUBA. De estos libros una parte considerable está en idioma ruso.

Todo este material fue organizado físicamente en anaqueles y fue creado un fichero en Microsoft Excel, que contenía un número, el nombre y su autor, así se podían realizar reportes de esta información. Pero esto no resultó suficiente, ya que se hacía difícil realizar una consulta y los fines para lo que fue creada esta biblioteca, dejaron de ser tan efectivos.

MATERIAL Y MÉTODO

En el año 2014, se decide analizar las dificultades que se presentaban:

- ✓ Los libros no se encontraban ordenados físicamente.
- ✓ No todos estaban registrados en el Fichero en Excel.
- ✓ Aquellos libros escritos en idioma ruso, no tenían traducidos los títulos y no estaban registrados apropiadamente.
- ✓ Los volúmenes repetidos no quedaban juntos, ni se sabía la cantidad.
- ✓ En algunos casos en el listado habían libros que no aparecían. En otros, por los diferentes traslados de local de esta biblioteca, se encontraban destruidos de forma parcial o completamente, por lo que resultaban inservibles.

Para solucionar los problemas detectados se realizó primeramente una búsqueda a partir del listado existente de los fondos en idioma español e inglés, los libros que coincidían fueron numerados consecutivamente, y a su vez se agregaban a un nuevo listado, que además incluía el país, la editorial, el año de publicación y el tema. Después se realizó un reordenamiento de los libros en idioma ruso para su posterior clasificación y traducción.

Una vez organizados los libros físicamente en las estanterías, y habiendo separado los volúmenes rusos de los volúmenes en español o inglés por numeraciones consecutivas diferentes se procedió a etiquetarlos nuevamente para que fuera fácil localizarlos.

Finalmente fueron creadas las Bases de Datos en Access, con una aplicación Web. Esta selección se hizo por ser el Access el más portable bajo las diferentes versiones de Windows. Ya se estaba listo para introducir en dichas bases de datos la información de los nuevos listados. Una base para los fondos bibliográficos en español, inglés u otra lengua romance y otra para los libros y documentos en idioma ruso.

RESULTADOS

La aplicación fue desarrollada para una plataforma Windows de 32 bits (Windows XP y Windows 7) y el uso del gestor de bases de datos relacional Access 2010 como reservorio de la información, consta de las siguientes opciones, que se muestran en la Figura 1:

- ✓ Inserción
- ✓ Vista Previa de Informes
- ✓ Configuración (No es visible)

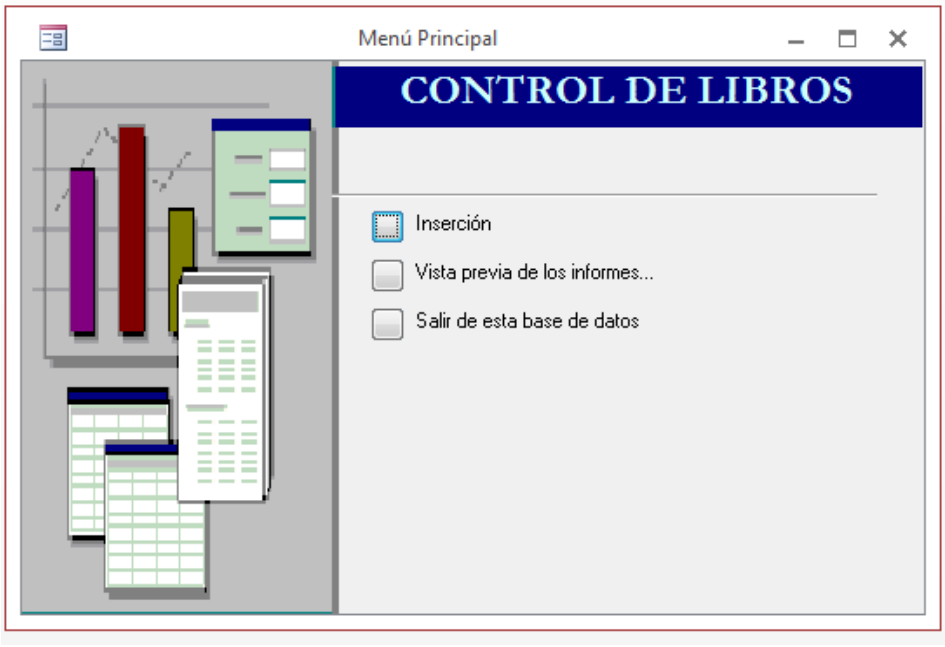


Figura 1 Opciones del sistema

A. INSERCIÓN

En este Módulo se realizan la inserción de todos los datos del sistema, ya sean los autores, las categorías de los libros y los títulos de los propios libros, así como información general de la Organización. Esta opción solo será utilizada para modificar algunos datos necesarios por el personal de administración.

Ver Figura 2, con las diferentes opciones:

- Introducir/Libros (Para la inserción de los títulos y los datos generales de los libros)
- Introducir/Autores (Para la inserción de Autores)
- Introducir/Categorías (Para la inserción de las categorías de los libros)
- Introducir/Ver Información del IPIN CUBA (Para la inserción de la Información general de IPIN, Nombre, dirección , zona postal)

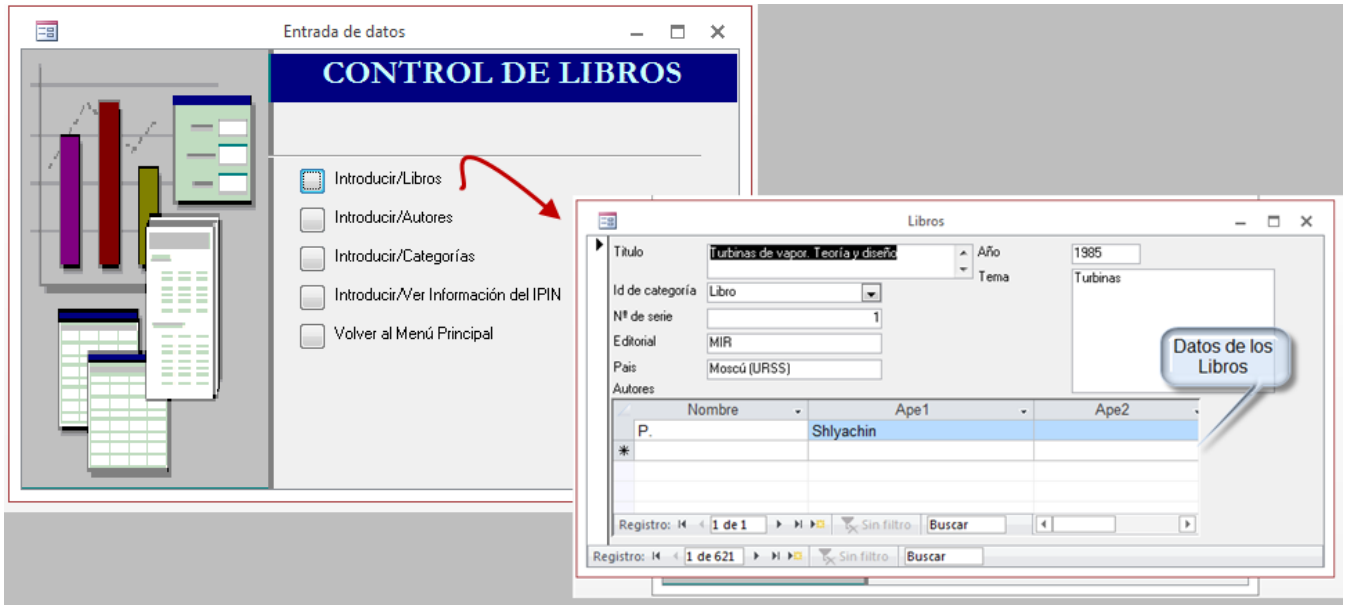


Figura 2 Opciones de Inserción

B. VISTA PREVIA DE INFORMES

En este Módulo el sistema muestra una vista previa de los Informes, y a partir de ellos es posible imprimirlos. Estos informes muestran información de los libros, y en algunos casos con una consulta previa. Ver Figura 3:

- Vista previa del Informe por años (Informe organizado por Años)
- Vista previa del Informe Autores (Permite seleccionar los autores)
- Vista previa del Informe por Temas (Informe organizado por Temas)

- Vista previa del Informe por Temas /Categoría (Informe organizado por Temas y Categoría)
- Información IPIN (Información general del IPIN)

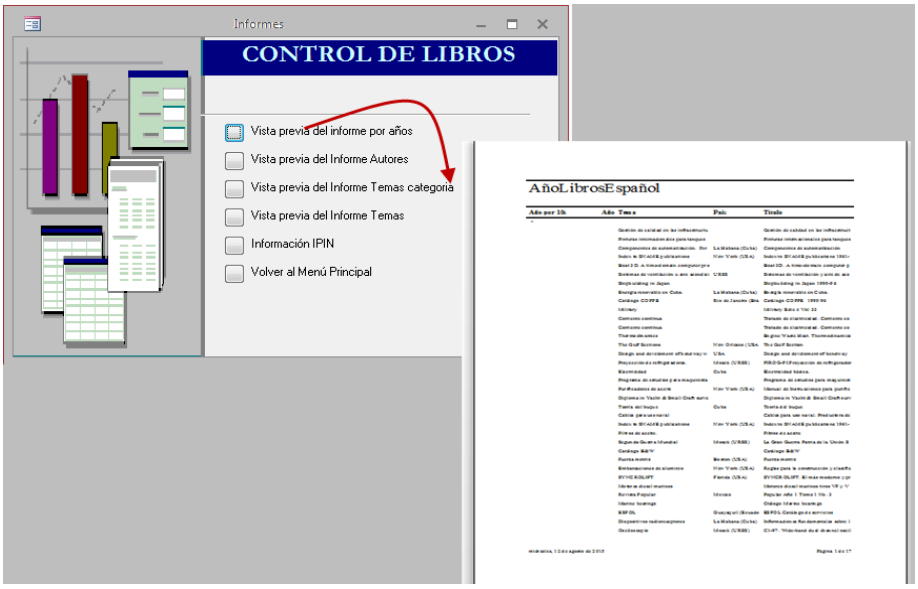


Figura 3 Opciones de Vista previa de Informes

Los libros en idioma ruso fueron puestos en una Base de Datos similar, con los datos que se obtuvieron de su traducción. Para el caso de dichos libros, la opción de búsqueda por autores se realiza por una subcadena de su primer apellido. Ejemplo: Ver Figura 4.

Los restantes informes se obtienen de la misma forma que en el caso de los libros en idioma español, inglés o cualquier otra lengua romance



Figura 4 Búsquedas de subcadenas de los Libros Rusos

C. CONFIGURACION.

En este Módulo, no se encuentra visible y solo se realizan los cambios de configuración para el menú y solo es de uso de los desarrolladores del sistema.

De esta forma la Biblioteca IPIN-Capítulo Cuba puede crecer y solo faltaría añadir el nuevo volumen a la base de datos que corresponda con el consecutivo obtenido, etiquetarlos y ordénalo físicamente. En caso que el título ya exista, o sea un *volumen repetido*, se añadirá a las características, en el lugar que le corresponde, con la numeración respectiva, una forma de añadirlo puede ser localizando el autor primeramente.

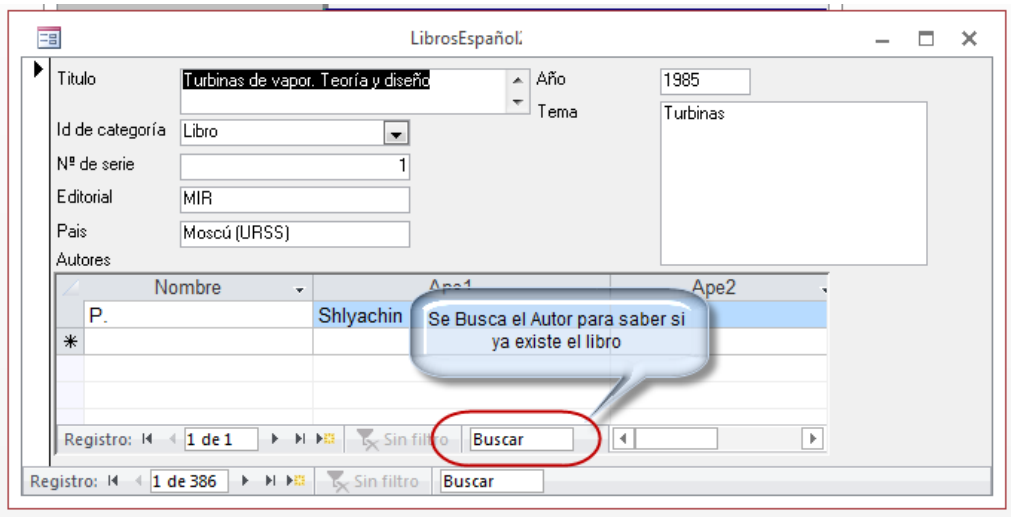


Figura 5 Búsquedas de Autor

CONCLUSIONeS

El Sistema Control de Libros, actualmente está instalado en la Oficina del IPIN Capítulo – CUBA, facilitando el acceso a los fondos de la Biblioteca existente y manteniendo los libros organizados, de forma tal que cualquier persona interesada puede conocer la información que se tiene. Además los nuevos volúmenes serán añadidos a dichas Bases de Datos como corresponda.

BIBLIOGRAFÍA

(1) Galiano P. A., Paderni L. M., Galiano O. A. Manual de Usuario, CONTROL DE LIBROS, Edición de la Versión 1.0:

(2) Manual de Microsoft Access 2010

(3) Paderni López María del Carmen, Aguilar León Idorys, Cabrera Hernández Mirna, Delgado Ramos Ariel. Bases de datos distribuidas para aplicaciones médicas en el Sistema Nacional de Salud. RCIM [revista en la Internet]. 2014 Dic [citado 2015 Ene 13]; 6(2):227-235. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S168418592014000200011&lng=es.

Integración de sistemas de gestión: desde la calidad al medio ambiente en una empresa de diseño y construcción naval

Lic. Natasha Aguila Valdés
Empresa de Proyectos, Construcciones y Servicios Navales, CEPRONA
Calle 26 s/n e/ 11 y 13, Vedado, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba
natasha@almendar.alinet.cu

Resumen

La creación de una empresa a partir de la fusión de otras llevó a utilizar la mejora continua con el propósito de ampiar el ámbito de certificación del sistema de gestión de la calidad a otros servicios y productos en un futuro cercano. Pero en el proceso de integración a otros sistemas de gestión en cumplimiento de regulaciones internacionales se planteó un reto importante relacionado con el medio ambiente: el impacto de la gestión de una empresa de diseño e ingeniería naval no era igual al de una empresa constructora.

El trabajo se centra en el diagnóstico realizado, la planificación de la mejora, identificación de procesos, la formación del personal, la modificación y elaboración de documentación de los sistemas con visión integradora son algunos de los elementos propuestos, así como el establecimiento de indicadores para la medición de la marcha del proceso de implementación del cambio. Se exponen los primeros resultados del proceso de integración en cuanto a resultados en el mercado y reconocimiento por terceras partes acreditadas.

Abstract

The creation of a company from the merger of others led to continued improvement in order to broaden the scope of certification of quality management system to other services and products in the near future. However, in the process of integration into other management systems in compliance with international regulations a major challenge related to the environment was raised: The impact of the management of a company related to shipbuilding and design was not equal to that of a construction company.

The work focuses on the diagnosis made, improvement planning, identification of processes, staff training, modification and processing of documentation of systems with integrating vision are some of the proposed elements, as well as the establishment of indicators for measuring the progress of the process of implementing change. The first results of the integration process are discussed in terms of market performance and certification by third parties accredited.

1. INTRODUCCIÓN

Es un requerimiento en las empresas estatales cubanas la implantación de sistemas de gestión, regulados unos a nivel internacional según normas ISO (ISO 9001, ISO 14000 y OHSAS 18000) y otros sistemas propios del entorno nacional que responden a requisitos expresados en regulaciones vigentes. Por otra parte en el entorno económico nacional se suceden una serie de cambios en los organismos e instituciones que alcanzan hasta el sector empresarial estatal a tenor del proceso de optimización de estructuras y redimensionamiento de empresas en pos de maximizar la eficiencia.

En un entorno cambiante, donde reordenamiento empresarial del sector estatal ha llevado a la disolución y fusión de empresas, la empresa CEPRONA[1] mantiene su marca en el 2011 pero se convierte en una nueva entidad con carácter nacional tras la fusión con 6 empresas más, las que se extinguen como tal y pasan a ser parte de la nueva empresa como unidades básicas de producción. De modo que CEPRONA, pasa a ser de una organización que prestaba servicios de diseño e ingeniería en el sector naval, marítimo y portuario a una que además de esto, construye a partir de diseños propios o ajenos, y por consiguiente comienza a poner en el mercado nuevos servicios y productos.

El nivel de implantación de los sistemas de gestión en cumplimiento de las regulaciones vigentes en las unidades de producción incorporadas a la organización a partir del año 2011 es heterogéneo, así como la envergadura de las acciones a realizar para lograr la inserción de lo existente en una sola forma de hacer, la que mejor se ajuste a las nuevas condiciones.
Se determinó que para llevar a cabo la doble tarea de engranar los sistemas implantados en cada lugar como uno solo, y a su vez continuar la integración de todos los sistemas de gestión

[1] CEPRONA es una empresa con un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) certificado según la norma ISO 9001 desde el año 2000 por el Lloyd´s Register Quality Assurance y la Oficina Nacional de Normalización; implantó el Perfeccionamiento Empresarial de forma integrada al sistema ya implantado a partir del 2002 y los Sistemas de Control Interno, de Seguridad y Salud y el Medioambiental se han ido implmeentando desde el 2004. Desde el 2009 se estaba implementando el Sistema Integrado de Gestión (SI) con vistas a su certificación por una tercera parte. El proceso paulatino de integración de cada sistema se ha realizado desde el enfoque de la mejora continua.

con vistas a su certificación como tal, el enfoque debía ser el de la mejora continua con enfoque de procesos y tomando en cuenta las pautas expuestas en la NC PASS 99: 2008.

El acápite DESARROLLO del presente documento se centra inicialmente en lo antecedentes a la fusión y las condiciones iniciales respecto al nivel de implementación de los sistemas gestión en cada parte que se fusionó, en la identificación de los nuevos procesos y de los riesgos cn respecto al medio ambiente, la planificación de la mejora, la formación del personal, la modificación y elaboración de documentación de los sistemas con visión integradora son algunos de los elementos propuestos, así como el establecimiento de indicadores para la medición de la marcha del proceso de implementación del cambio. Se exponen los primeros resultados del proceso de integración en cuanto a resultados en el mercado y reconocimiento por terceras partes acreditadas.

2. DESARROLLO

2.1 Antecedentes necesarios y planteamiento del problema

En el año 1998, el entonces Centro de Proyectos Navales[2], CEPRONA, inició la tarea de diseñar e implantar un Sistema de Aseguramiento de la Calidad según la norma ISO 9001: 1994, que era el entonces modelo vigente. Inició este proceso bajo la asesoría y consultoría del Lloyd´s Register Quality Assurance (LRQA), Oficina Habana y finalmente el sistema fue certificado por la Oficina Nacional de Normalización y el LRQA en febrero del 2000. Posteriormente, se hicieron las adecuaciones pertinentes y el sistema implantado pasó a ser Sistema de Gestión de la Calidad según modelo de la norma ISO 9001 vigente y recertificado sucesivamente en los periodos establecidos, con vigencia hoy hasta el 2018 (Ver Anexo 1).

La formulación de regulaciones nacionales y el propósito de cumplir con aquellas internacionales que llevarían a la organización a ser una entidad de alto desempeño, planteó el problema de implantar todos esos sistemas de gestión derivados de tales regulaciones y la necesidad de hacerlo de forma (Sistemas de Gestión Ambiental (NC - ISO 14 000) y de

[2] Este era la denominación legal de la empresa antes de implantar el Perfeccionamiento Empresarial; con el cambio la organización pasó a ser denominada Empresa de Proyectos Navales, manteniendo la marca reconocida de CEPRONA.

Seguridad y Salud del Trabajo (primero con OHSAS 18000:2000, posteriormente con NC 18000).

Como parte del reordenamiento empresarial emprendido en el país, en el año 2011 mediante la Resolución 166/2011 del Ministerio de Economía y Planificación se declara la fusión de los astilleros ASTISUR (Cienfuegos), ASTINOR (Gibara) , ASTIGOLF (Manzanillo), ASTIGAL (La Habana), la Brigada de Construcción y Reparación Naval de Chullima (La Habana) y al Empresa de Servicios Técnicos NAVALEC (La Habana) a CEPRONA como unidades básicas de producción (UEB). Todas estas empresas que se fusionaron tenían sistemas de gestión implantados o en proceso de implantación, en cumplimiento de las regulaciones citadas anteriormente. El grado de avance en estos temas era disímil, lo que se demuestra en la siguiente tabla:

Sistema/ regulación	ESTADO DE IMPLEMENTACIÓN ANTES DE LA FUSIÓN						
	CEPRONA	NAVALEC	ASTIGAL	CHULLIMA	ASTISUR	ASTINOR	ASTIGOLF
SGC/ NC ISO 9001	Certificado (ONN/LRQA	Certificado (ONN/BV)	Implantado	Proceso de implantación	Certif. hasta 2009[3]	Proc. elab. e implant.	Proc. elab. e implant.
SGA / NC ISO 14000	Proceso de implantación/ c/reconoc. CITMA	Proceso de implantación	Implantado	-	Implantado c/reconoc. CITMA	-	-
SGSST / NC ISO 18000	Implantado	Proceso de implantación	Implantado	-	Implantado	-	-
Sistema Integrado	Proceso de implantación	-	Proceso de implantación	-	-	-	-

Ante esta situación se agruparon en tres niveles por el grado de avance en la implantación de forma general de todos los sistemas:

1er nivel: CEPRONA, NAVALEC, ASTISUR

2do nivel: ASTIGAL

3er nivel: CHULLIMA, ASTINOR, ASTIGOLF

Pero concretamente en cuanto al Sistema de Gestión Medioambiental la situación variaba de esta manera:

[3] Mantuvo Sistema de Gestión de Calidad certificado hasta el 2009 por el Bureau Veritas y la ONN; en junio del 2010 se realizó una nueva auditoria por la ONN, la misma culminó con resultado satisfactorios con no conformidades señaladas. La visita de reinspección y el aval de certificación por la ONN se pospuso por el comienzo del reordenamiento empresarial.

1er nivel:, ASTISUR, ASTIGAL

2do nivel: CEPRONA, NAVALEC

3er nivel: CHULLIMA, ASTINOR, ASTIGOLF

El problema radicaba en realizar la integración de sistemas de gestión manteniendo en paralelo dos cuestiones de forma general:

- fusionar los sistemas establecidos o en proceso de implementación en las empresas que se unen al más avanzado y estable, el de CEPRONA, utilizando el método de la gestión por procesos, y
- continuar el proceso de integración de los sistemas con vistas a su certificación según NC PASS 99: 2008.

Y en particular respecto a la gestión medioambiental:

- revisar y actualizar el sistema implantado en las unidades agrupadas en el primer y segundo grupo según las nuevas condiciones
- implementar en las unidades del tercer grupo

2.2 Fusión más integración de sistemas: una nueva empresa

La necesidad de buscar medios de competitividad en el mercado es lo que da origen, principalmente, a la ***fusión de empresas***; lo que ha sido una estrategia de crecimiento y optimización de recursos, puesto que el valor de la entidad resultante de la fusión de las empresas es superior al de las empresas que se fusionan si se tomara por separado. Constituyó esto un presupuesto para la reingeniería empresarial, donde variaron sustancialmente las bases de la organización, sus estructuras y procesos, productos y servicios, mercados, y por tanto, el impacto en el entorno ante las partes interesadas[4].

La gestión empresarial llevada hasta ese momento en cada organización por separado tenía por fuerza que unirse en una sola, a partir del sistema integrado en proceso de implantación en la empresa fusionante, enfocado como una ***mejora continua***[5] de este. Esta emana de los objetivos

[4] Persona o grupo a quien le interesan las actividades, lo productos y/oi servicios de una organización o puede ser afectado por los mismos; Puede incluir clientes, propietarios, reguladores, ONGs, personas en una organización, proveedores, banqueros, sindicatos, asociados o la sociedad en su conjunto. (Tomado de: NC PASS 99:2008)

[5] La Norma ISO 9000: 2005 la define como sigue: "actividad recurrente para aumentar la capacidad para cumplir los requisitos" y añade como NOTA: El proceso mediante el cual se establecen objetivos y se identifican oportunidades para la mejora es un proceso continuo a través del uso de los hallazgos de la

establecidos por la alta dirección de la organización que deben por lo menos estar dirigidos a: la mejora de la eficiencia interna (para la organización significa mantenerse económicamente competitiva), las necesidades individuales de los clientes y el nivel de desempeño que el mercado normalmente espera. Es, además, un requerimiento de los sistemas de gestión empresariales según las normativas que los regulan.

En cuanto a ***la integración de los sistemas,*** en la modernidad se ha detectado que la mejor forma de obtener la eficiencia y eficacia en la productividad, lejos de la especialización, se encuentra en la integración de procesos, en la integralidad de las personas y en las soluciones integrales y en las organizaciones con enfoque hacia la Calidad es aún más importante ya que la meta es la optimización. Es decir, hacer que todo funcione de una forma en la que se minimicen los recursos y se maximicen las utilidades (lo óptimo).
Un sistema de gestión es un *sistema o conjunto de elementos mutuamente relacionados o que interactúan para establecer la política y los objetivos y para lograr dichos objetivos*; un sistema de gestión podría incluir diferentes sistemas de gestión, tales como un sistema de gestión de la calidad**,** un sistema de gestión financiera o un sistema de gestión ambiental, etc.[6]

Un Sistema de Gestión Integral asegura un mismo sistema para todos los procesos, donde se aseguren unos objetivos y metas organizacionales, y el cuál se mueva en busca de objetivos comunes, por caminos comunes y no como elementos sueltos dentro de la misma organización. Las bases esenciales y comunes de los sistemas radican en: Liderazgo, Cultura basada en valores, Ética del trabajo, Innovación tecnológica, Comunicación, Participación, Información, Formación y Cooperación o trabajo en equipo.

Las diferencias entre los sistemas se centran en lo que cada uno hace énfasis, ya sea la calidad, el medio ambiente, la seguridad y salud del trabajo, la eficiencia y la eficacia organizacional, el control interno, etc. De ahí que externamente la acción de cada uno se manifieste en las

auditoría, las conclusiones de la auditoría, el análisis de los datos, la revisión por la dirección u otros medios, y generalmente conduce a la acción correctiva y preventiva. Tomado de Norma ISO 9000: 2005 Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario, Doc. Eléc p.19

[6] Ob.cit. p. 9

relaciones entre producto/servicio y el cliente; entre empresa, el entorno y la sociedad; entre empresa, trabajadores y autoridad laboral; entre empresa, regulaciones y sociedad, etc.

2.3 Principios observados en la implementación

El proceso de fusión e integración de sistemas que ya se han modelado y/o implementado de forma parcial o total en las empresas que desaparecen no debe suceder sin la observancia de determinados principios que garanticen no dejar a un lado lo que funciona y ha demostrado eficacia, que las buenas prácticas asociadas a los proceso que se mantienen perduren y se establezca una derivación hacia la conjunción valores y formas de hacer únicas de forma paulatina y sobre la base del respeto a la singularidad de cada lugar.

Las pautas o principios que se propusieron son los siguientes:

- La implementación de la fusión e integración se incluyó dentro de los objetivos estratégicos de la organización
- Realización de un diagnóstico de la situación o estado inicial.
- Realización del estado comparativo entre sistemas implementados o en proceso de implementación.
- Planificación del proyecto y su implementación
- Implementación del proyecto y monitoreo del avance.

2.4 Metodología implementada

Los requisitos de regulaciones que estimulan los sistemas de gestión tienen en común seis elementos fundamentales los cuales se ordenan respondiendo al ciclo PHVA (Planear – Hacer – Verificar – Actuar)[7] relativo a la mejora continua.

1. **Política de Calidad[8] y Riesgos**

[7] Deming, Edwards. *Fundamentos para la Gerencia de Calidad en el Mundo Occidental*. Doc. Elect. La metodología aplicada cumplió paso a paso con estos seis elementos que ordenados corresponden a la Planificación los pasos 1 y 2, al Hacer el paso 3, al Verificar los pasos 4 y 5 y al actuar el 6, del ciclo PHVA (Planear – Hacer – Verificar – Actuar)

[8] Se trata de una declaración autorizada por la alta dirección de la organización, de sus intenciones y principios, que establece los objetivos globales de la Calidad, el Medio Ambiente la Seguridad y Salud

El primer elemento del Sistema es el compromiso de la dirección, puesto de manifiesto en la o las Políticas de Calidad y Riesgos. Siguiendo el propósito integrador se estableció una sola política, la que ha sido revisada y adecuada periódicamente. En ella se expresa la observancia como principio a seguir el *"Minimizar los impactos ambientales de las operaciones propias y de los servicios que se brindan, garantizando el desarrollo sostenible mediante el uso racional del consumo de recursos financieros, materiales y energéticos*".

Esta política ha sido el marco de referencia obligado para el establecimiento de los objetivos en el proceso de la integración de los sistemas y estos se convirtieron en una herramienta eficaz y efectiva para establecer metas y controlar su cumplimiento.

2. Planeación

Este segundo elemento del Sistema de Gestión Integral se desarrolló a la luz de la Visión, Misión, Valores y las Políticas. Es aquí donde se identificaron los requisitos de los productos o servicios, aspectos ambientales significativos, riesgos intolerables y requisitos legales u otros compromisos contraídos, en relación a los distintos procesos que se desarrollan en la empresa; se definieron los controles operacionales necesarios, los impactos ambientales asociados, manteniendo los riesgos en niveles aceptables y razonables sin afectar la posición competitiva de la empresa.

Pero es importante tener en cuenta que es la norma NC ISO 9001:2008 la que promueve el ***enfoque basado en los procesos***, por lo que de este modo cada documento, por ejemplo, reglamentos, procedimientos generales, procedimientos específicos, procedimientos de operación, mantenimiento, etc., que formaban parte de un proceso y asegura su buen funcionamiento fueron revisados bajo la perspectiva de generar valor.

Teniendo en cuenta las diferencias existentes en cuanto a desarrollo y madurez entre los sistemas de gestión implementados en las empresas que se fusionaron en CEPRONA fueron las actividades planificadas. En cumplimiento de los principios expuestos se realizó un diagnóstico y como consecuencia un informe con la situación o estado en el momento de la fusión. El personal de las unidades productivas incorporadas a CEPRONA recibió la formación y actualización necesaria para la tarea a emprender y estas acciones de preparación del personal fueron incluidas en la planificación.

Los requisitos establecidos por la legislación vigente a nivel nacional se tuvieron en cuenta a la hora de la planificación de las acciones y los recursos a disponer, como parte de las exigencias específicas para cada sistema de gestión.

3. Implementación y Operación

En estos momentos estamos en proceso de implementación de lo planificado. Otras acciones de formación del personal se implementaron, tales como encuentros o talleres de especialistas de gestión de la calidad de todas las áreas con la participación directa de los directivos de las UEB para exponer las metas a seguir, resultados de monitoreos realizados y resultados de la integración.

4. Verificación y Acción Correctiva

La verificación y acción correctiva se corresponde con la etapa de Comprobar del ciclo PHCA o de mejora continua; este es el momento de comparar los ***resultados obtenidos contra los esperados*.** Es bueno para la buena salud del sistema integrado fomentar la autoevaluación para la revisión del sistema, auditando los procesos y medir lo escrito y su concordancia con lo observado en la práctica. Siempre es óptimo echar mano a los registros e información que utilizamos diariamente para ver el funcionamiento de nuestros procesos, evitando tanto como sea posible agregar nuevos.

También las normas requieren que se efectúen mediciones y seguimiento al Sistema, por lo que es necesario verificar y corregir los procesos, utilizando indicadores de gestión, traduciendo la estrategia y la misión de la organización en un conjunto de medidas de la actuación que proporcionan la estructura necesaria para un sistema de de gestión y medición estratégica.

El instrumento de medición por excelencia en este proceso ha sido hasta hoy ***las auditorías internas*** con la incorporación de especialistas como expertos de diferentes áreas de la empresa. También ***las revisiones externas*** por expertos de los sistemas de gestión medioambiental y de seguridad y salud del trabajo, que ha dado origen a dictámenes de condiciones concretas existentes han sido vitales en la identificación de oportunidades de mejora y de identificación de acciones concretas para el cumplimiento de requisitos establecidos.

5. Revisión por parte de la Gerencia

Finalmente, con toda la información suministrada por el sistema en base a las auditorías internas y los indicadores de resultados principalmente, la alta dirección de la organización ha ido revisando el avance en la implementación del sistema de gestión integral, su continua idoneidad, adecuación y eficacia. Se han tomado las decisiones pertinentes en materia de Calidad, Medio Ambiente, Seguridad y Salud, Control Interno, etc., en base a una información documentada y fiable. Se trata de verificar que el "HACER" de la etapa de implementación y operación va en la dirección correcta para los intereses del proceso, de la empresa y del negocio

y se han tomado decisiones importantes priorizando aquellas actividades que lo ameritan en dependencia a las necesidades del mercado y del proceso productivo, en cuanto a actividades, asignación de recursos, definición de responsabilidades respecto a la solución de los problemas detectados en los dictámenes de impactos medioambientales y en la seguridad y salud del trabajo.

6. Mejoramiento Continuo.

Este paso se refiere a un proceso que describe muy bien lo que es la esencia de la calidad: constituye el cierre y el inicio de todo el ciclo. La importancia de esta técnica gerencial radica en que con su aplicación se puede contribuir a mejorar las debilidades y afianzar las fortalezas de la organización. De esta forma se logra ser más productivos y competitivos en el mercado, analizando los procesos, de manera tal, que si existe algún inconveniente pueda mejorarse o corregirse; como resultado de la aplicación de esta técnica puede ser que las organizaciones crezcan dentro del mercado hasta llegar a ser líderes reconocidos y estables.

2.5 Implementación del Sistema de Gestión Ambiental en Cuba: Marco legislativo.

En Cuba, en la Constitución de la República se reconoce que el Estado ejerce su suberanía y protege sobre el medio ambiente y los recursos naturales del país, y su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y el bienestar de las generaciones actuales y futuras. Además, que es deber de los ciudadanos contribuir a la protección del agua, la atmósfera y la conservación del suelo, la flora, la fauna y todo el rico potencial de la naturaleza.[9]

En 1997 entró en vigor la Ley 81 del Medio Ambiente, que derogó la legislación anterior promulgada a partir del 1981. Esta ley dispone en su Artículo 11, que el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, es el "*encargado de proponer la política ambiental y dirigir su ejecución sobre la base de la coordinación y control de la gestión ambiental del país, propiciando su integración coherente para contribuir al desarrollo sostenible".* Con la creación del CITMA[10] se dio un importante impulso a la política y la gestión ambiental en el ámbito nacional, dada la necesidad de revisar los marcos estratégicos y regulatorios del país, en materia de medio ambiente; se desarrolló la Estrategia Ambiental Nacional (EAN), que

[9] Artículos 11 y 27, Constitución de la República de Cuba.
[10] Decreto Ley No. 147 del 21 de abril de 1994 el Consejo de Estado

constituyó el fundamento para el desarrollo de las Estrategias Ambientales Territoriales, así como de las Estrategias Ambientales Sectoriales.

Posteriormente la legislación aplicable a la gestión ambiental[11] se ha ido completando y atemperando a los cambios que han ocurrido y los resultados nuevos obtenidos por la ciencia y la técnica (ver Bibliografía).

2.5.1 Estado del Sistema Gestión Ambiental en CEPRONA hasta el 2011

Desde el 2003 se comienza a trabajar a partir de un diagnóstico del impacto ambiental de los procesos de la empresa, en el que identificaron inicialmente problemas asociados al ***Diseño***, los ***Servicios Técnicos Navales, Civiles e Industriales*** y al ***Buceo No Turistico***, que eran los procesos de realización del producto fundamentales.

Hasta el 2011 estaba en proceso de implantación el Sistema de Gestión Ambiental, y ya había logrado ***el "Reconocimiento de Centro Responsable con el Medio Ambiente"*** por parte del CITMA, a nivel territorial. (en la capital) según legislación vigente hasta ese momento. Desde el 2006 contaba con una Política Ambiental, una Estrategia Ambiental, un Programa Ambiental con medidas a mediano y largo plazos primero del 2006 al 2009, y luego extendido hasta el 2012 para darle solución a los principales problemas ambientales detectado en el Diagnóstico Ambiental realizado por una tercera parte reconocida por el CITMA. Gran parte de las medidas proyectadas se habían cumplido o estaban en proceso, referentes en lo fundamental a: reparación de ventanas, cambio de sistemas de climatización, sistema de recolección de polvo en talleres, de depósitos de desechos, recogida clasificada de estos y su posterior destino final, control de derrames de aceites, cumplimiento de medidas de ahorro energético referentes al consumo de electricidad, agua, combustibles. Como parte del programa de educación ambiental se desarrolló una labor fundamental en cuanto a la actualización en la información científico técnica a través de un boletín informativo mensual en la intranet y en la capacitación a directivos y trabajadores de la empresa.

2.5.2 Desde la Gestión de la Calidad a la Gestión del Medio Ambiente en las nuevas condiciones

La nueva empresa, concretamente la Oficina Central y la unidad de producción de Proyectos e Ingeniería cambia su localización de la Bahía de la Habana hacia las márgenes del Río

[11] ***Legislación ambiental:*** conjunto de elementos de carácter legislativo que regulan las actividades a nivel ambiental que abarca Ley, Decretos Leyes, Decretos, Resoluciones, Normas internacionales, nacionales y ramales

Almendares, cerca del litoral de la ciudad, en edificaciones dentro de los terrenos donde ya se hallaba enclavada la anterior Empresa de Astilleros Chullima, que pasó a ser una Unidad productiva más. Además, en el reordenamiento interno de la empresa, los talleres que eran de la CEPRONA anterior se unieron al Astillero ahora denominado UEB Astigal, ubicada en el litoral oriental de la Bahía de la Habana, cerca de su canal de entrada.

Como ya se planteó a fin de mantener la certificación por terceras partes del Sistema de Gestión de la Calidad, era preciso su adecuación a las nuevas condiciones y continuar la integración de los otros sistema de gestión con el enfoque de procesos y mediante la mejora continua de los mismos. Para la tarea entonces de integrar los sistemas de gestión, y concretamente la gestión medioambiental se imponía realizar nuevos estudios de impactos ambientales agrupados de la siguiente manera:

a) En la provincia La Habana la Oficina Central, la vUEB Proyectos y la UEB Chullima ubicadas en las márgenes del Río Almendares; las UEB Astigal y Navalec ubicadas en la Bahía de la Habana.
b) En las provincias de Cienfuegos, la UEB Astisur (Bahía de Cienfuegos), en la de Holguín la UEB Astinor (Bahía de Gibara) y en Granma la UEB Astigolf (Bahía de Manzanillo) debían actualizar sus sistemas o iniciar el proceso también para homogeneizar su gestión de acuerdo al resto de la empresa.[12]

De una empresa de ingeniería y diseño a una empresa de ingenieria, diseño y construcción naval, la variación fue sustancial. Los nuevos procesos incorporados en el el Sistema de Gestión de la Calidad en junio del 2012 implicaba el reconocimiento de nuevos problemas asociados a los procesos empresariales:

a) Gestión del diseño
b) Gestión de los servicios técnicos navales e industriales
c) Gestión de la construcción y reparación de equipos y embarcaciones
d) Gestión de la instalación y mantenimiento de sistemas y equipos electrónicos navales y equipos informáticos

Además, de los ajustes que se realizaron ajustes en la estructura interna y de localización territorial.

[12] Vale aclarar que las Bahías de La Habana, Cienfuegos y Manzanillo están especialmente protegidas a nivel nacional

De los procesos quedarían por revisar y actualizar de acuerdo a las nuevas condiciones los impactos ambientales de la Gestión del Diseño, pues hubo también un cambio de lugar e instalaciones para la unidad de producción "Proyectos e Ingeniería", la que incluye en su estructura al Laboratorio de ensayos químicos; en el caso de los demás procesos había que dictaminar las condiciones de prestación y su impacto en el medio ambiente, teniendo en cuenta las condiciones de cada unidad ejecutora de las operaciones y la localidad donde se hallan enclavadas cada una de ellas.

Solamente en la identificación y gestión de los desechos peligrosos[13] la diferencia es notable; A partir del 2014 comienza el levantamiento y planificación de los desechos según la legislación, en el que se identifican los desechos, su grado de peligrosidad, el área en que se generan, se clasifican y se planifican las actividades para **minimizar su impacto**.Se ha obtenido la autorización para la creación y mantenimiento de vertederos de desechos sólidos en las UEB Astigolf y Astinor, las que cuentan ya con la Licencia Ambiental para esto. Las demás están en proceso de otorgamiento de estos permisos.

Se planificaron las tareas pertinentes para la implementación en todas las unidades de producción de la empresa lo estipulado en la legislación ambiental en lo referente a:

1. Documentación general: desde el punto de vista integrador se revisó y adecuó la documentación general, comenzando por los procedimientos mandatorios del sistema de gestión que son comunes según las normas ISO 14000 y 9001.
2. Documentación específica: se elaboró, actualizó e implemento la documentación interna (procedimientos e instrucciones) para la regulación de las actividades relacionadas con la preservación del medio ambiente natural y laboral. Se mantiene la actualización e implementación en todas las áreas donde es aplicable la documentación externa, incluida la legislación ambiental.

[13] Según Resolución No. 136/2009 "Reglamento para el Manejo Integral de Desechos Peligrosos", CITMA

3. Acciones para la prevención de la contaminación mediante residuales líquidos[14] y sólidos[15], las emisiones a la atmósfera[16], la contaminación sonora[17], los productos químicos[18], el uso de los recursos hídricos.
4. Acciones para la prevención de desastres naturales.
5. Programa de ahorro energético.
6. Programa de educación ambiental.
7. Gestión de la seguridad y salud del trabajo según legislación aplicable.

Las acciones descritas en los puntos 3 y 4 anteriores partieron de los impactos ambientales detectados en dictámenes elaborados por terceras partes acreditadas en el país por las autoridades competentes: Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB) del CITMA.

Principales resultados

Se han obtenido como primeros resultados:

1.- Establecimiento de una Política Integrada y objetivos empresariales en todos los niveles pertinentes

2.- Generalización de procedimientos mandatorios para todos los sistemas (implementación en todas las áreas)

3.- Revisión y ajuste de forma gradual de procedimientos e instrucciones correspondientes a procesos de realización del producto de las unidades productivas a las nuevas prácticas

4.- Realización de actividades de revisión y seguimiento por la Oficina Central a todas las UEB con la participación de especialistas expertos

5.- Realización de auditorías integrales según plan atodas las área de la empresa

6.- Realización de Revisiones por la Dirección en las unidades productivas y a nivel de toda la empresa

[14] Comprende la carga contaminante de origen orgánico, recuperación de aguas residuales y su tratamiento

[15] Comprende la recuperación, reciclaje y reutilización de desechos sólidos como son el acero, plomo, papel, chatarra electrónica a través de la Empresa de materias primas

[16] Comprende el consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono, fundamentalmente los relacionados con los equipos de refrigeración

[17] Comprende el ruido ambiental de acuerdo a cada lugar donde están enclavadas las instalaciones, medio urbano fundamentalmente, además del que se genera en el proceso de productivo de los talleres de los astilleros y las vibraciones

[18] Se refiere a los utilizados en el Laboratorio de análisis de las materias primas utilizadas en plástico reforzado con fibra de virio de la construcción y reparación naval

7.- Ampliación del ámbito de certificación del Sistema de Gestión de Calidad de CEPRONA a los procesos ejecutados por la UEB Navalec en el año 2012[19]. Antes de la fusión abarcaba: ***"Proyectos de arquitectura naval, incluyendo el diseño de embarcaciones de hasta 65 m de eslora y servicios técnicos marítimos e industriales"***. Ahora se le añadió ***"Servicios de instalación y mantenimiento de sistemas y equipos electrónicos navales y equipos informáticos ".***

8.- Se cuenta con un informe de Auditoría de diagnóstico o carencia al proceso de construcción y reparación naval para la ampliación del ámbito de certificación del Sistema de Gestión de la Calidad realizado por el LRQA como parte del proceso de ampliación del ámbito de certificación del Sistema de Gestión de la Calidad a otros procesos.

9.- Recertificación del Sistema de Gestión de Calidad de CEPRONA en abril del 2015 por el Lloyd´s Register Quality Assurance y la Oficina Nacional de Normalización, manteniendo el ámbito de certificación referido anteriormente hasta el 2018.

10.-Hoy todas las unidades, incluida la Oficina Central, cuentan con un Dianóstico de los impactos ambientales, Plan de Manejo Integral de los Desechos Peligrosos; Plan de acción de Bahías Priorizadas para los casos de las UEB Astigal (La Habana) y Astisur (Cienfuegos), Licencia Ambiental tienen UEB Astigolf y Astinor. La UEB Astigal forma parte del Grupo de Gestión Medioambiental Bahía Habana[20] y cuentan ya con Licencia sanitaria en las UEB Astigal, Astisur, Astigolf y Astinor[21].

3.- CONCLUSIONES

1. La integración de los sistemas de gestión desde el enfoque de la mejora continua ha permitido alcanzar las metas trazadas en condiciones controladas: PLANIFICAR los cambios a partir de diagnósticos evaluativos, de la determinación de los elementos comunes y diferentes entre los sistemas y establecimiento de planes para la ejecución del proyecto; HACER los cambios, incluyendo la formación e información del personal; MEDIR los cambios a través de las herramientas proporcionadas por el SGC y ACTUAR sobre lo aprendido aplicando mejoras.

[19] 2012 fue el primer año de funcionamiento de la nueva empresa, luego de la fusión.
[20] Proyecto auspiciado por la Fundación Antonio Nuñez Jimenez (ONG) en la que la empresa interactúa y participa en diversas actividades apra la limpieza y rpeservación de la Bahía de la Habana.
[21] Esta Licencia se le otorga a las entidades con centros de elaboración de alimentos por el Ministerio de Salud Pública (MINSAP)

2. En tres años se han logrado implementar los requisitos establecidos nacionalmente para la gestión ambiental en todas las unidades de producción y en la Oficina Central, a partir de Dianóstico de los impactos ambientales, otorgamiento de Licencias Ambientales a algunas unidades para el manejo de desechos peligrosos y acciones para obtenerlas en las unidades que restan, además de la inclusión de los planes de las unidades en los proyectos nacionales para la protección de Áreas o Bahías Priorizadas
3. La aplicación de las auditorías, el análisis de datos, las mediciones de la satisfacción del cliente, de los productos y servicios ha permitido a la dirección de la empresa medir, controlar, prevenir y mejorar el funcionamiento de todos los sistemas, cumpliendo con las regulaciones establecidas en el logro de las metas deseadas. La aplicación de acciones correctoras y preventivas proporcionan la confianza en la calidad de los productos y servicios que proporciona la organización y refuerza los valores compartidos en la cultura empresarial.
4. El análisis de riesgos potenciales ha sido uno de los elementos en la integración de los sistemas de gestión empresariales. La prevención de riesgos en los procesos evita incumplimientos de lo establecido por las regulaciones para la calidad del producto, para el medioambiente, seguridad y salud, además de garantizar la seguridad razonable de que la información es confiable, de la eficiencia, de la eficacia empresarial, del control de los recursos. El análisis de riesgos, ha sido la meta planificada por CEPRONA para lograr una matriz de acciones preventivas y evitar que ocurran no conformidades en los sistemas integrados. Los esfuerzos y recursos no se dispersan ni derrochan: se establecen prioridades en las acciones de acuerdo a la severidad, la ocurrencia y la facilidad de detectar los riesgos.

4.- BIBLIOGRAFÍA

- Asamblea Nacional de Poder Popular *Constitución de la República de Cuba,*1976, reformada en 1992 y 2002.
- Asamblea Nacional de Poder Popular *Ley 81 del Medio Ambiente, 1997*
- CITMA Resolución No. 136/2009 Reglamento para el Manejo Integral de Desechos Peligrosos
- Consejo de Estado del Consejo de Ministros *Decreto Ley No. 147 del 21 de abril de 1994*
- Consejo de Estado del Consejo de Ministros *Decreto Ley 187/1998 Perfeccionamiento Empresarial*

- Cuadra González-Adalid, Antonio de la *Gestión estratégica de la calidad. Proyectos y equipos de mejora de la calidad*.
- Deming, Edwards. *Fundamentos para la Gerencia de Calidad en el Mundo Occidental*. Doc. Elect.
- LRQA *Implementación del Sistema de Gestión de la Calidad de acuerdo a los requisitos de ISO 9001: 2000. Guía Práctica*. Doc. Eléc.
- LRQA *Política de la Calidad.* Doc. Eléc.
- Contraloría General de la República *Resolución No. 60/2011* "*Normas Del Sistema De Control Interno*"
- Norma ISO 9000: 2000 Sistemas de gestión de la calidad: Fundamentos y Vocabulario
- Norma ISO 9001: 2000 Sistemas de gestión de la calidad: Requisitos
- Norma NC 18001: 2005 Seguridad y Salud del Trabajo. Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud del Trabajo. Requisitos.
- Norma ISO 14001: 2004 Sistemas de Gestión Ambiental: Requisitos
- Norma Cubana NC PAS 99:2008. Especificación de requisitos comunes del sistema de gestión como marco para la integración.

  Disponible en: http://www.nconline.cubaindustria.cu.Resolución No. 297/03 Sistema de Control Interno (MFP)

Estudio de pertinencia de la creación de la carrera de ingeniería en seguridad y transporte marítimo en el ecuador

Mendieta Villalba N. M.
Universidad Politécnica Salesiana (UPS)
Robles 105 y Chambers, Guayaquil-Ecuador
nmendieta@ups.edu.ec

Resumen

El objetivo de este artículo es incluir en las ofertas académicas de las universidades ecuatorianas a la carrera de Ingeniería en Seguridad y Transporte Marítimo, para lo cual se pretende incitar en los lectores: editores del congreso de Copinaval XXIV, directivos de universidades y de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), comunidad marítima, catedráticos de universidades y estudiantes, el deseo de colaborar con la creación de la misma.

La relevante propuesta es justificada con estadísticas que evidencian la realidad mundial y nacional. Se presenta una encuesta dirigida a 78 administradores marítimos que permite percibir la importancia real que se le da a los convenios marítimos internacionales de los cuales el Ecuador es signatario y la necesidad de crear condiciones para el acceso a una educación de nivel superior que favorezca y capacite a la colectividad con énfasis en el marco reglamentario marítimo, a fin de preparar a las personas del sector a los desafíos que se enfrentan las empresas navieras y a prevenir los siniestros de embarcaciones en el mar.

La falta de capacitación en seguridad marítima ocasiona los siniestros o daños que sufren las embarcaciones, personas o medio ambiente durante la navegación: naufragios, muertes, derrames de crudo, colisiones, etc., que pueden ser verificados en la estadística nacional de la Dirección de los Espacios Acuáticos (DIRNEA), cuya causa más frecuente es el error humano y que se producen debido a la carencia de conocimiento, a la aplicación inadecuada de una regulación, exceso de confianza o a la falta de inspecciones en las embarcaciones.

Por lo tanto, si se estructura la carrera de Ingeniería en Seguridad y Transporte Marítimo para solucionar la problemática planteada y suplir la insuficiencia de personal especializado que se

requiere durante las inspecciones se verificará que los buques cumplan con las normas existentes y se logrará prevenir los siniestros, aportando significativos beneficios al transporte marítimo y por ende, a la matriz productiva y a la economía del estado ecuatoriano.

Palabras clave

CARRERA - TRANSPORTE – MARÍTIMO – PREVENIR - SINIESTROS

Introducción

En la actualidad es necesario identificar las necesidades de formación profesional en el país para poder establecer y definir requerimientos de nuevas ofertas académicas y líneas de investigación, siguiendo el principio de pertinencia de la Ley Orgánica de Educación Superior, que posibiliten optimizar el cambio de la matriz productiva y el desarrollo socio económico ecuatoriano, apoyando a través de la capacitación el desarrollo de proyectos que respondan a las expectativas y requisitos de la colectividad.

El estudio de pertinencia de la creación de la carrera Ingeniería en Seguridad y Transporte Marítimo se fundamenta en dos hechos: En primer lugar el transporte marítimo es la columna vertebral del comercio, más del noventa por ciento del comercio internacional se ejerce por vía marítima, los buques transportan cargas día a día en todo el mundo, lo que incrementará en años venideros, se prevé que millones de personas salgan de la pobreza gracias a un mayor acceso a materiales, bienes y productos básicos, generación de empleo y consecuentemente el desarrollo económico y social. En segundo lugar, las cifras estadísticas de siniestros marítimos dadas por la Dirección de los Espacios Acuáticos (DIRNEA) que permiten evidenciar la necesidad de contar con personal calificado para desempeñarse apropiadamente en las organizaciones públicas o privadas del Ecuador en el área de la seguridad marítima, en el control del cumplimiento de las regulaciones nacionales e internacionales, a fin de evitar los siniestros marítimos, la pérdida de vidas humanas y materiales, la contaminación del medio ambiente marino provocado por el vertido de hidrocarburos que destruye la flora y fauna marina, amenaza la salud pública, disminuye el turismo, posterga el comercio intercontinental y motiva el desempleo en las comunidades pesqueras.

Entonces, es relevante despertar el interés y apoyo por parte de los editores y participantes de este Congreso Copinaval XXIV 2015 en Montevideo - Uruguay, directivos de universidades ecuatorianas, de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), la Autoridad Marítima Ecuatoriana, catedráticos de universidades, estudiantes, armadores, navieras y comunidad marítima en general para la creación de la carrera y lograr contar con personal marítimo especializado y altamente entrenado requeridos durante el diseño, construcción, inspección, control y aseguramiento de que los buques se ajusten a las regulaciones para el tráfico marítimo dispuestas por la Organización Marítima Internacional

(OMI) y leyes nacionales. Este recurso humano podrá ser empleado en el mercado laboral para lograr dinamizar el transporte y comercio marítimo, prevenir o minimizar los efectos de los accidentes que acontecen en el mar ecuatoriano y fortalecer la transformación de la matriz productiva, lo que incrementará la economía nacional.

1. Manejo de la seguridad y transporte marítimo en el mundo

1.1. Organización Marítima Internacional (OMI)

En la actualidad la Organización Marítima Internacional OMI, agencia especializada de las Naciones Unidas, constituye el foro en el cual los gobiernos de los países con intereses en el sector del transporte marítimo se reúnen para decidir las normas a las que deben someterse los buques que realizan viajes internacionales. La OMI garantiza que se cuente con un marco amplio y eficaz de normas de aplicación internacional relativas al diseño, construcción, funcionamiento y gestión de los buques. (International Maritime Organization, 2013)

En el presente la OMI está integrada por 170 Estados Miembros, Ecuador es parte de la OMI desde 1956, gracias a su trabajo ha fomentado la adopción de aproximadamente 50 convenios y protocolos, códigos y recomendaciones de gran significación mundial para garantizar la seguridad marítima, la protección de la vida humana en el mar y la prevención de la contaminación del medio marino en general.

Sin embargo, pese a que las mejoras en la seguridad marítima son mensurables y demostrables, continúan produciéndose accidentes marítimos debidos en la mayoría de los casos a que no se adoptó las medidas preventivas necesarias para evitar un problema, por falta de conocimientos e inspecciones o por cometimiento de errores en la aplicación inadecuada de las normas básicas de navegación.

A continuación se exponen en la Tabla 1 los convenios marítimos internacionales de la OMI que han sido ratificados por Ecuador (Mendieta, 2012, p. 201), éstos instrumentos son los compromisos obligatorios que Ecuador ha adquirido a través de la firma del presidente de la república (International Maritime Organization, 2015) y se encuentran publicados en los respectivos registros oficiales.

Tabla 1
Instrumentos de la Organización Marítima Internacional (OMI) ratificados por el Ecuador

Instrumento	Aprobación (OMI)	Entrada en vigor (OMI)	Entrada en vigor Ecuador
Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (SOLAS), 1974	1/ nov/ 1974	25 / may /1980	Reg. Oficial Nº 242; 13 de Mayo de 1982
Convenio internacional sobre líneas de carga (LL), 1966	5 / abril / 1966	21 / jul / 1968	Reg. Oficial Nº 925; 06 de Sep. de 1975
Convenio sobre el reglamento internacional para prevenir los abordajes (COLREG), 1972	20 / oct / 1972	15/ jul / 1977	-
Convenio internacional sobre normas de formación, titulación y guardia para la gente de mar, STCW 1978	7 /julio/ 1978	28/ abril / 1984	Reg. Oficial Nº 904; 30 de Marzo de 1988
Convenio internacional sobre búsqueda y salvamento marítimos, 1979	27/ abril / 1979	22 / jun / 1985	Reg. Oficial Nº 862; 28 de Enero de 1988
Convenio internacional relativo a la intervención en alta mar en casos de accidentes que causen una contaminación por hidrocarburos, 1969	29 / nov / 1969	6 / may / 1975	Reg. Oficial Nº 229; 08 de Dic. de 1976
Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973	2 / nov / 1973		
El Protocolo de 1978	17 / feb / 1978	2 / oct / 1983	Reg. Oficial Nº 411; 05 de Abril de 1990
Convenio internacional sobre cooperación, preparación y lucha contra la contaminación por hidrocarburos, 1990	30 / nov / 1990	13 / may/ 1995	Reg. Oficial Nº 056; 07 de Abril de 2003
Convenio internacional sobre responsabilidad civil por daños causados por la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos, 1969	29 / nov / 1969	19 /junio/ 1975	Reg. Oficial Nº 229; 08 de Dic. de 1976
Convenio para facilitar el tráfico marítimo internacional, 1965	9 / abril / 1965	5 / mar / 1967	Reg. Oficial Nº 992; 03 de Agosto de 1988
Convenio internacional sobre arqueo de buques, 1969	23 / jun / 1969	18 / jul / 1982	Reg. Oficial Nº 749; 31 de Julio de 1995
Convenio para la represión de actos ilícitos contra la seguridad de la navegación marítima, 1988	10 / mar/ 1988	1 / mar / 1992	Reg. Oficial Nº 220; 27 de Noviembre de 2003
Convenio internacional sobre salvamento marítimo, 1989	28/ abril / 1989	14/jul/ 1996	-

Fuente: Capacitación en seguridad marítima en organizaciones públicas y privadas en educación continua y propuesta de un módulo de prevención de siniestros y acciones ilícitas en el mar.
Elaborado por: Ing. Nadia Mendieta V.

1.2 Autoridad Marítima Ecuatoriana

La Subsecretaría de puertos y Transporte Marítimo y Fluvial es la Autoridad Marítima Ecuatoriana que tiene como misión impulsar el desarrollo de la actividad marítima y fluvial, planificar, regular y controlar el sistema naviero y portuario en el territorio nacional, asegurando el cumplimiento de objetivos y prioridades definidos en el marco legal vigente (Ecuador ama la vida, 2015), formado por las leyes y reglamentos marítimos que se exponen en la Tabla 2. (Mendieta, 2012, p.198)

Tabla 2
Leyes y reglamentos marítimos ecuatorianos

Ley	Fecha Publicación	Fecha Actualización
Código de Policía Marítima	R.O. Sup No. 1202 20/AGO/1960	
Ley Gral. del Transporte Marítimo y Fluvial	R.O. No. 406 1/FEB/1972	
Ley de Faros y boyas	Dec. Sup. 133 - R.O. No. 32 - 3/ABR/1972	
Ley de Prevención y control de la contaminación ambiental	R.O. No. 97 31/MAY/1976	R.O. No.418 10/SEP/04
Ley de admisión y permanencia de nave de Guerra en aguas territoriales, puertos bahías e islas de la República del Ecuador	R.O . No. 484 15/DIC/1977	R.O. 58 14/AGO/81
Ley de Fomento a la Marina Mercante Nacional	R.O . No. 824 - 3/MAY/1979	
Ley de facilitación de las exportaciones y del transporte acuático	R.O . No. 901 - 25/MAR/1992	
Ley de régimen especial para la conservación y desarrollo sustentable de la prov. de Galápagos	Ley 67 R.O . No. 278 - 18/MAR/98	Ley 2003-17 Sup. R.O. No.184 6/OCT/03
Ley de Fortalecimiento y desarrollo del Transp. acuático y actividades conexas	Ley 2003 - 18 R.O No.204 - 5/NOV/03	R.O. No. 148 18/NOV/05
Ley de Aguas		

Fuente: Capacitación en seguridad marítima en organizaciones públicas y privadas en educación continua y propuesta de un módulo de prevención de siniestros y acciones ilícitas en el mar.
Elaborado por: Ing. Nadia Mendieta V.

2. Estadística de Siniestros Marítimos

2.1. Estadística Mundial

La estadística mundial nos revela el efecto de la aplicación de las regulaciones de la OMI en el mundo. A través de las Figuras 1 y 2, puede verificarse que la introducción de nuevas regulaciones y la continua reforma de las mismas han permitido reducir paulatinamente la pérdida de buques y vidas, así como también los derrames de hidrocarburos con sus nocivos efectos contaminantes, como se muestra en las figuras de estadísticas mundiales. (Segovia) e (International Tanker Owner Pollution Federation Limited, 2014)

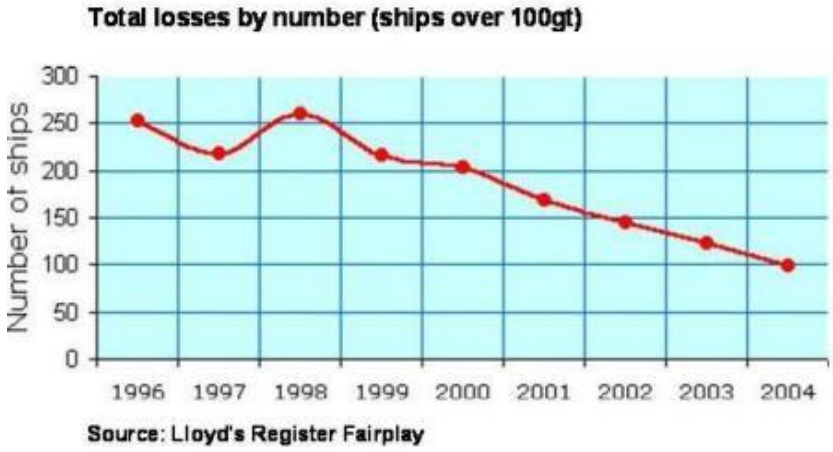


Figura 1.
Número de buques siniestrados (sobre 100 Toneladas Gruesas) en funcion de años.
Fuente: Lloyd´s Register Fairplay

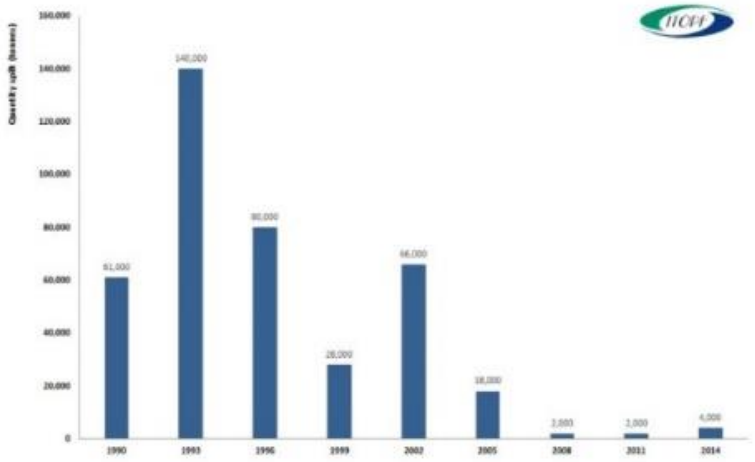


Figura. 2.
Cantidad estimada de hidrocarburo derramado en miles de toneladas en función de años.

Fuente: International Tanker Owner Pollution Federation Limited (ITOPF)

2.2. Estadística Nacional

A continuación se presenta en la Figura 3 la estadística de siniestros de buques en el Ecuador por Capitanías de Puerto, dentro del período de años 2005 – 2010, se muestra la falta de la prevención de siniestros en el Ecuador y se comprueba una cifra de 173 buques accidentados a lo largo de la costa continental y en la región insular ecuatoriana. (Dirección de los Espacios Acuáticos, 2010)



Fuente: Dirección de los Espacios Acuáticos (DIRNEA)
Elaboración: DIRNEA

Figura 3.
Número de siniestros marítimos en función de Capitanías de Puerto Ecuatorianas

3. Fundamentación legal

3.1. La Constitución

La Constitución 2008, la norma suprema de la República del Ecuador, establece en el Artículo 350 que:

> El sistema de educación superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las culturas; la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con los objetivos del régimen de desarrollo. (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Por lo cual, para lograr el desarrollo, bienestar social y crecimiento económico ecuatoriano, debemos de fortalecer los sistemas educativos, innovación, investigación científica, tecnológica y global, proveer conocimientos actualizados, cultura nacional y valores a fin de impulsar, con igualdad de oportunidades, pertinencia y calidad, la obtención de una sociedad más justa, productiva y equitativa.

3.2. Principio de Pertinencia de la Ley Orgánica de Educación Superior

El artículo 107 de la Ley Orgánica de Educación Superior establece que:

> El principio de pertinencia consiste en que la educación superior responda a las expectativas y necesidades de la sociedad, a la planificación nacional, y al régimen de desarrollo, a la prospectiva de desarrollo científico, humanístico y tecnológico mundial, y a la diversidad cultural. (Consejo de Educación Superior, 2010).

Entonces, la creación de la carrera Ingeniería en Seguridad y Transporte Marítimo cumple con el Principio de Pertinencia puesto que es un proyecto que al ser llevado a cabo lograría obtener profesionales de alto nivel académico que respondan a las necesidades y exigencias de una economía globalizada, a la importación y exportación de materias primas, alimentos, bienes manufacturados, etc., para fortalecer el desarrollo nacional, comercio intercontinental contando con buques seguros, generando empleos y aumentando la productividad nacional.

3.3. Plan Nacional 2013 – 2017. Buen Vivir (objetivo 10): Impulsar la transformación de la matriz productiva

El Plan Nacional para el Buen Vivir, elaborado por Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo Senplades, constituye el camino técnico y político que el gobierno ecuatoriano actual deberá seguir para cumplir con los 12 objetivos que ha formulado para el desarrollo nacional.

Este plan cuenta con una estrategia territorial de desarrollo, plantea los lineamientos para la inversión de los recursos públicos y la regulación económica. (El Telégrafo, 2015) La transformación de la matriz productiva es el objetivo 10 de este plan.

Por un lado para la lograr la transformación de la matriz productiva, en el área marítima, es necesario que se trabaje en conjunto, sectores público y privado, de manera que se logre pasar de ser un país exportador de materia prima a uno que genere mayor valor agregado a su producción, enfatizando la generación de empleo. (El Telégrafo, 2015) Por otro lado, se debe fortalecer y desarrollar la industria de astilleros, articulando la educación e investigación a la generación de capacidades técnicas y de gestión. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo Senplades, 2013, p. 300)

La Senplades determinó las Agendas Zonales, las mismas que enmarcan la visión de desarrollo y la planificación de políticas, programas y proyectos que el Gobierno Nacional planea realizar en los próximos años.

Las zonas de planificación que contempla y fortalece este trabajo de investigación comprende las regiones 1 - 4 - 5 - 8 - 7 - 10, localizadas a lo largo de la costa ecuatoriana continental e insular (ver Tabla 3 y Figura 4), porque se desea impulsar el comercio, productividad y competitividad del sector marítimo, a través de la generación de profesionales capacitados, lo que incidirá en la transformación de la matriz productiva.

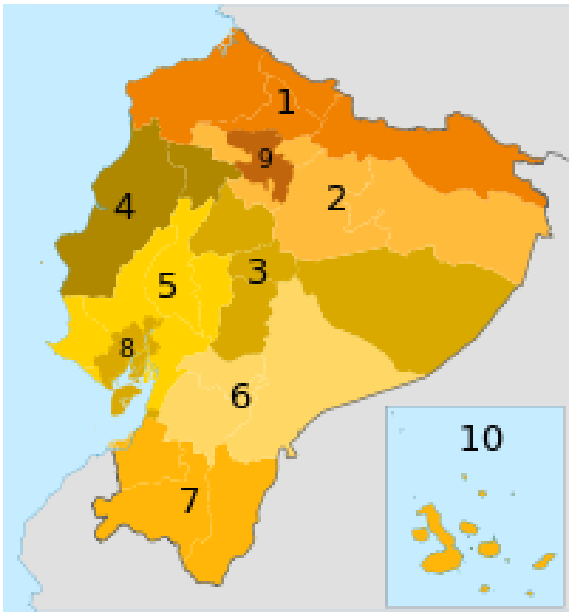


Figura 4.
Regiones autónomas de Ecuador
Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Regiones_aut%C3%B3nomas_de_Ecuador

Tabla 3
Regiones autónomas continentales e insulares de la costa ecuatoriana

No.	Regiones Autónomas de Ecuador	Localización
1	Región Norte	Carchi, Esmeraldas, Imbabura, Sucumbios
4	Región Pacífico	Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas
5	Región Litoral	Bolívar, Guayas, Los Ríos, Santa Elena
8	Distrito Metropolitano de Guayaquil	Guayaquil, Durán, Samborondón
7	Región Sur	El Oro, Loja, Zamora Chinchipe
10	Régimen Especial de Galápagos	Islas Galápagos

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Regiones_aut%C3%B3nomas_de_Ecuador

Según el Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia del Guayas 2012 – 2021 tienen la prioridad de acción dos megas proyectos, el de Construcción del Puerto de Aguas Profundas y los Estudios por parte de la Armada Nacional Ecuatoriana, para la planificada construcción del Astillero Naval, ambos serán llevados a cabo en Posorja por el Gobierno Nacional, lo que impulsará el desarrollo económico productivo revertiéndose el mismo en beneficio de la población. (Jairala y Nicolalde, 2013, p. 209)

En la provincia de Manabí, existen proyectos marítimos estratégicos de desarrollo que se plantean realizar como el Puerto Multipropósito de Aguas Profundas, la sede Manta, y el Corredor Multimodal Manta-Manaos. (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas, 2011, p. 7) Esta provincia también cuenta con el proyecto de la Refinería del Pacífico en El Aromo, las otras provincias costeras tienen planes de desarrollo pesquero y actividades turísticas.

3.4. Red Metalmecánica y Astilleros

La Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación SENESCYT creó la Red Metalmecánica y Astilleros estableciendo articulación entre la academia, empresa privada y pública, Estado, gobiernos autónomos descentralizados, colectivos y miembros de la sociedad en el territorio. El objetivo fue levantar una oferta académica pertinente de formación profesional de nivel técnico, tecnológico, de grado, pos grado y líneas de investigación acorde a las agendas zonales 5 y 8 (ver Figura 4) y al cambio de la matriz productiva en el país. La carrera Ingeniería en Seguridad y Transporte Marítimo fue sugerida dentro de la propuesta de la red, porque se identificó la necesidad de contar con profesionales con esta formación para

plantear soluciones a problemas de desarrollo socio económico del sector marítimo. (Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, 2014)

4. Materiales y métodos

La investigación fue de campo descriptiva, exploratoria, explicativa y cuantitativa elaborada por la autora de este artículo. Se utilizó la modalidad de investigación Ex–Post –Facto, en la cual a partir de una retrospección se determina la relación causa-efecto de los fenómenos ocurridos y su significado (Centro de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación). Se aplicó esta modalidad a la estadística internacional de las Figuras 1 y 2, para demostrar que el cumplimiento de las regulaciones OMI ha permitido a través del tiempo, la reducción de pérdidas de vidas, siniestros, derrames de petróleo y el incremento de la flota mundial. Luego, se efectuó la investigación de campo que registró, analizó e interpretó la naturaleza de la falta de capacitación en seguridad y transporte marítimo mediante la encuesta dirigida a 78 administradores marítimos, como indica la Tabla 4 y se obtuvo la estadística expuesta en la Figuras 5, 6 y 7. (Mendieta, 2012, p.122)

Tabla 4

Población y muestra de administradores marítimos

Administradores Marítimos	Población	Muestra
Centros Educativos de la Fuerza Naval	20	20
Universidades Ecuatorianas que forman a profesionales de tercer nivel en el área marítima	4	4
Agencias Navieras afiliadas a la Corporación de la Cámara Marítima del Ecuador CAMAE	41	27
Colegio de Ingenieros Navales	31	27
Total	**96**	**78**

Fuente: Capacitación en seguridad marítima en organizaciones públicas y privadas en educación continua y propuesta de un módulo de prevención de siniestros y acciones ilícitas en el mar.
Elaborado por: Ing. Nadia Mendieta V.

5. Resultados y discusión

a) De la estadística mundial y nacional

-La estadística mundial de las Figuras 1 y 2 revela el efecto de la aplicación de las regulaciones de la Organización Marítima Internacional OMI en el mundo. La investigación ex post facto verifica que la introducción de nuevas regulaciones y la continua reforma de las mismas han permitido reducir paulatinamente, a través del tiempo, la pérdida de buques y vidas, así como

también los derrames de hidrocarburos con sus nocivos efectos contaminantes. Esto se debe a que las sociedades marítimas hoy en día cuentan con personal capacitado tanto para ejercer el control y cumplimiento de las regulaciones como para las inspecciones de los buques. Por lo tanto, se justifica la creación de la carrera propuesta porque si contamos con profesionales calificados que verifiquen continua y obligatoriamente el cumplimiento de las regulaciones OMI disminuirá a futuro las cifras estadísticas nacionales de buques siniestrados de la figura No.3, de manera análoga como ha ocurrido con las estadísticas mundiales.

b) De la encuesta realizada a los administradores marítimos

Pregunta 1: ¿Considera usted conveniente realizar una capacitación continua acerca de las regulaciones marítimas?

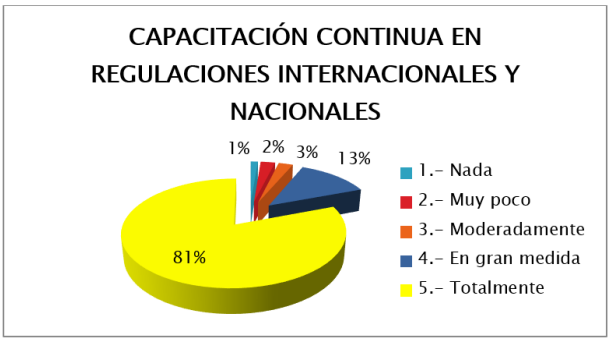


Figura. 5.
Capacitaciòn continua en regulaciones internacionales y nacionales en funciòn de porcentaje de respuestas

Fuente: Capacitación en seguridad marítima en organizaciones públicas y privadas en educación continua y propuesta de un módulo de prevención de siniestros y acciones ilícitas en el mar.
Elaboración: Ing. Nadia Mendieta

-Se observa de la encuesta efectuada que el 81% de los administradores marítimos están totalmente de acuerdo en que es conveniente realizar una capacitación continua acerca de las regulaciones internacionales y nacionales relativas a la seguridad y transporte marítimo debido a que los nuevos cambios tecnológicos y los recientes informes de siniestros de buques modifican las regulaciones, por lo que se requiere de una actualización continua de éstas y consecuentemente en los contenidos de los diseños curriculares de las asignaturas de la carrera sugerida.

Pregunta 2: ¿Considera relevante construir las instalaciones de recepción en puertos ecuatorianos?

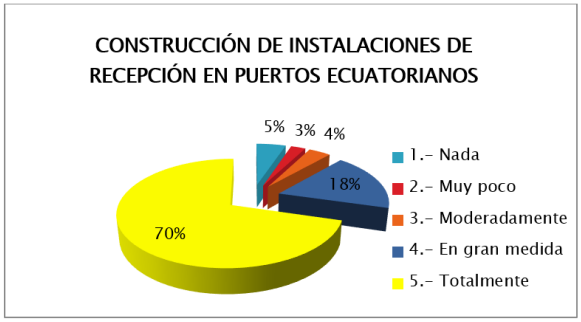


Figura 6
Construcciòn de instalaciones de recepciòn en puertos ecuatorianos en funciòn de porcentaje de respuestas

Fuente: Capacitación en seguridad marítima en organizaciones públicas y privadas en educación continua y propuesta de un módulo de prevención de siniestros y acciones ilícitas en el mar.
Elaboración: Ing. Nadia Mendieta

-Según el gráfico, es requerida la capacitación en el diseño y construcción de instalaciones de recepción en puertos ecuatorianos para lograr cumplir con el compromiso adquirido, debido a que Ecuador es signatario del convenio para la prevención de contaminación operacional de buques Marpol. Además, es necesaria la formación en medidas de prevención de la contaminación, planes de contingencia y recursos para responder de una manera inmediata a la contaminación y solucionar problemas derivados de derrames de crudo en las costas los cuales desestabilizan la economía ecuatoriana y la generación de empleos. Añadiendo, es de vital importancia crear conciencia ecológica en las comunidades marítimas y costeras e incrementar las multas por descargas ilegales como lo han hecho otros países en el mundo.

Pregunta 3: ¿Cree que Ecuador está preparado para solucionar el problema de un derrame de petróleo?

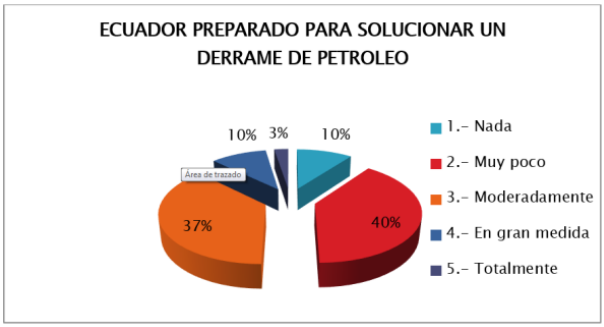


Figura 7
Ecuador preparado para solucionar un derrame de petroleo en funciòn de porcentaje de respuestas

Fuente: Capacitación en seguridad marítima en organizaciones públicas y privadas en educación continua y propuesta de un módulo de prevención de siniestros y acciones ilícitas en el mar. Elaboración: Ing. Nadia Mendieta

-Se observa de los resultados de la encuesta que un 40% están muy poco de acuerdo y el 37% moderadamente en que Ecuador está preparado para solucionar el problema de un derrame de petróleo por siniestros de embarcaciones, por lo cual deben implementarse de manera prioritaria la capacitación y especialización en seguridad, medidas de prevención y recursos que logren dar una pronta respuesta que contrarreste y/o minimicen la contaminación operacional de buques y eviten las pérdidas humanas y materiales en el transporte marítimo ecuatoriano.

6. Conclusiones

- El estudio de pertinencia efectuado justifica la creación de la carrera Ingeniería en Seguridad y Transporte Marítimo porque atiende las necesidades del sector, aporta al cambio de la matriz productiva ecuatoriana, mejora procesos de producción, de conocimiento, de trabajo y de empleo. Además de generar mayor valor agregado a la producción marítima nacional, incrementa comercio y competitividad.
- Los actuales proyectos marítimos ecuatorianos son innovadores, en especial el de construcción del astillero en Posorja, considerado como la meta clave para el desarrollo del país, debido a su potencial de mercado interno y externo y por ser la fuente de encadenamientos productivos para el fortalecimiento de actividades industriales y conexas.
- Con el objeto de priorizar los contenidos del diseño curricular de la carrera propuesta se recomiendan investigar las causas de los accidentes marítimos, conocer las reformas de normas internacionales y nacionales, nuevas tecnologías, prácticas abordo y aplicaciones de la formación dual. Se sugiere indagar cuáles son las universidades marítimas que dictan especialidades en el exterior, con el objeto de que los futuros ingenieros logren obtener una capacitación a nivel de postgrado en las diferentes líneas de investigación ofertadas.

7. Bibliográfia

1. Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (2011). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Manta. Recuperado de www.ame.gob.ec/.../35-participacion-y-desarrollo-en-la-gestion-publica?
2. Centro de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación. Escuela de Formación, Infantería de Marina, Colombia. Investigación “ex post facto”. Recuperado de

https://sites.google.com/site/ciefim/investigaci%C3%B3n%E2%80%9Cexpostfacto%E2%80%9D

3. Consejo de Educación Superior CES. Ley Orgánica de Educación Superior. Recuperado de http://www.ces.gob.ec/descargas/ley-organica-de-educacion-superior
4. Constitución de la República del Ecuador 2008. http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
5. Dirección Nacional de los Espacios Acuáticos DIRNEA. (2010). Estadística de Siniestros Marítimos. Departamento de Operaciones.
6. Ecuador ama la vida. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Puertos y Transporte Marítimo y Fluvial. Recuperado de http://www.obraspublicas.gob.ec/puertos-y-transporte-maritimo-y-fluvial/
7. El Telégrafo. El cambio de la matriz productiva en análisis. Recuperado de http://www.telegrafo.com.ec/economia/item/el-cambio-de-la-matriz-productiva-en-analisis.html
8. El Telégrafo. ¿Hacia dónde apunta el nuevo Plan Nacional para el Buen Vivir? Recuperado de http://www.telegrafo.com.ec/economia/masqmenos/item/hacia-donde-apunta-el-nuevo-plan-nacional-para-el-buen-vivir.html
9. International Maritime Organization (2013). OMI Qué es. Recuperado de http://www.imo.org/About/Documents/What%20it%20is%20Oct%202013_Web.pdf
10. International Maritime Organization IMO. Status of Conventions 12/02/2015. Excel chart listing ratifications by State. Recuperado de: http://www.imo.org/About/Conventions/StatusOfConventions/Pages/Default.aspx.
11. International Tanker Owner Pollution Federation Limited. ITOPF. Oil tanker spill statistics 2014. Recuperado de http://www.itopf.com/knowledge-resources/data-statistics/statistics/.
12. Jairala J y Nicolalde L (2013). Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia del Guayas 2012 – 2021. Gobierno Provincial del Guayas, versión 004. Recuperado de http://www.guayas.gob.ec/dmdocuments/ley-de-transparencia/literal-k/Plan-de-Ordenamiento-T-2013.pdf
13. Mendieta N (2012). Capacitación en seguridad marítima en organizaciones públicas y privadas en educación continua y propuesta de un módulo de prevención de siniestros y acciones ilícitas en el mar. (Tesis inédita de Maestría). Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador.

14. Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación Senescyt (2014). Informe red Metalmecánica y Astilleros. Propuesta de líneas de investigación y oferta académica pertinente a las regiones 5 y 8. Período Agosto a Diciembre 2014.
15. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo Senplades (2013). Buen vivir. Plan Nacional 2013-2017.
16. Segovia R. Liga marítima de Chile. Revista Mar. Mares más limpios, buques más seguros. Recuperado de: http://www.ligamar.cl/revis7/17.htm.
17. Wikipedia. Ecuador. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Ecuador#Regiones_o_Zonas_de_Planificaci.C3.B3

Implementación de ingenieria en confiabilidad, en planes de sostenimiento de unidades navales

Grilli Bebelli, Leonardo
Capitan de Corbeta
Ingeniero Naval Mecánico
Buzo de Salvataje

DIRECCIÓN DE INGENIERÍA DE SISTEMAS NAVALES
PRAT 620, VALPARAISO, CHILE
ARMADA DE CHILE

lgrilli@armada.cl

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GESTION DE ACTIVOS

Debido a la necesidad de ser más eficientes en el uso de los recursos fiscales orientados al mantenimiento de Unidades Navales, se han investigado diversas materias relacionadas con la gestión activos físicos. La necesidad de las grandes organizaciones que utilizan es sus procesos productivos activos físicos, se han visto en la necesidad de mejorar todos sus procesos. Uno de los procesos con mayor carga económica es el mantenimiento de los activos, desde la revolución Industrial hasta ahora la administración del mantenimiento a variado por distintas corrientes, desde la falla correctiva, hasta políticas de mantenimiento programado, por parámetros o condición, con sus altos costos relacionados. Con el fin de optimizar los recursos para tener políticas de mantenimiento eficaz y eficiente, nace como solución la Ingeniería en Confiabilidad.

1.2. INGENIERIA EN CONFIABILIDAD

Podemos determinar que **hablar de confiabilidad es hacer hincapié en la probabilidad de que una maquinaria, funcione según sus especificaciones dentro de un periodo de tiempo establecido tomando en cuenta las condiciones especificadas desde el principio**; la confiabilidad es una rama de la ingeniería, la cual se basa en el recurso estadístico, dentro del cual se hace uso de las herramientas requeridas para poder hacer un análisis o evaluación de: las mejoras, el diseño, el pronóstico, y el mantenimiento de las máquinas, los procesos y/o los productos que ofrecen las organizaciones a los clientes (Unidades Navales), que todos los conceptos anteriores requieren de su control y medición para poder disminuir la totalidad de los costos, y por ende incrementar las ganancias y obtener la satisfacción del cliente.

1.3. CREACION DE INDICADORES (KPI)

“Lo que no se mide, no mejora” uno de los resultados más importantes de la ingeniería en confiabilidad, es la creación de indicadores, estos indicadores son utilizados como parámetros de medición, de esta forma el administrador puede fácilmente identificar mejoras en los procesos, reducción de costos y finalmente mejoras en la productividad.

1.4. MODO DE FALLAS

Una vez determinados los indicadores criticidad de los sistemas en las Unidades, se sigue con un proceso de análisis de Modo de Falla (FMECA), en conjunto con un grupo multidisciplinario, de este proceso de análisis de falla, se deben determinar las políticas a implementar en el sistema, objeto buscar el mejor beneficio equilibrado con su criticidad.

1.5. GESTIÓN DE ACTIVOS EN ARMADA DE CHILE

En la Armada de Chile, el sistema preponderante en el mantenimiento usa como base principal el mantenimiento programado o planificado, llevado por el software SALINO, de MIMS, este programa, en lo que respecta al mantenimiento, gestiona el mantenimiento programado, mantenimiento correctivo y algunos por condición es ejecutado dependiendo del nivel, por Unidades operativas o por maestranza y fabricante.

1.6. AJUSTE AL GRADO DE ACTIVIDAD

Los equipos que integran una Unidad Naval, vienen originalmente con algún tipo de mantenimiento programado, por monitoreo o paramétrico, sin embargo siempre se ajusta al grado de actividad u operación del activo, ya que la forma de operar un activo va a depender de cada organización y al medio en que opere. Esto hace más necesario el cambio del paradigma y por ende la implementación de Ingeniería en Confiabilidad, de esta forma y gracias a la gran base de datos actual, es factible crear un mantenimiento a la medida.

1.7. COSTO DE PARADA NO PROGRAMADA

Al introducir la Ingeniería en Confiabilidad, se logra reducir los tiempos de paradas de las Unidades, conocido como Down Time, o tiempo de detención no programado. La detención no programada significa para las empresas dos tipos de gastos, perdida por no producción y perdida por costo oculto. En el caso de detención un activo fiscal (militar), se puede calcular el costo con la determinación del costo oculto, es decir los costos operativos anuales en personal y material para tener una Unidad operativa según la programación del operador, ejemplo: 250 de

disponibilidad anual. De esto se desprende en un gran costo fiscal cada día que una Unidad tiene una parada no programada, es decir cada día detenido de los 250 programados, significa un costo fiscal por indisponibilidad.

2. OBJETIVOS.

2.1. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS O SISTEMAS CRITICOS

El primer objetivo identificado de este trabajo es definir los equipos críticos por Unidad, para esto se van a utilizar algunas herramientas de manejo de Base de Datos, objeto determinar los sistemas críticos, dependiendo de indicadores como frecuencia de falla y Down Time, de esta forma se logra determinar donde enfocar los esfuerzos del resto del trabajo.

2.2. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA

Una vez identificados los equipos o sistemas críticos, en conjunto con grupos multidisciplinarios, se debe descomponer el equipo en subsistemas, con el objeto de lograr identificar los modos de falla de cada uno de estos subsistemas.

2.3. IMPLEMENTACIÓN DE POLITÍCAS DE MANTENIMIENTO

El objetivo principal es la implementación de políticas de mantenimiento a los equipos analizados y determinados como críticos, o que afectan directamente a la disponibilidad de la Unidad, de esta forma al determinar una nueva política de mantenimiento se deberá seguir en el tiempo, para comparar el estado anterior al nuevo estado, logro orientado a la productividad o disponibilidad de la misma Unidad.

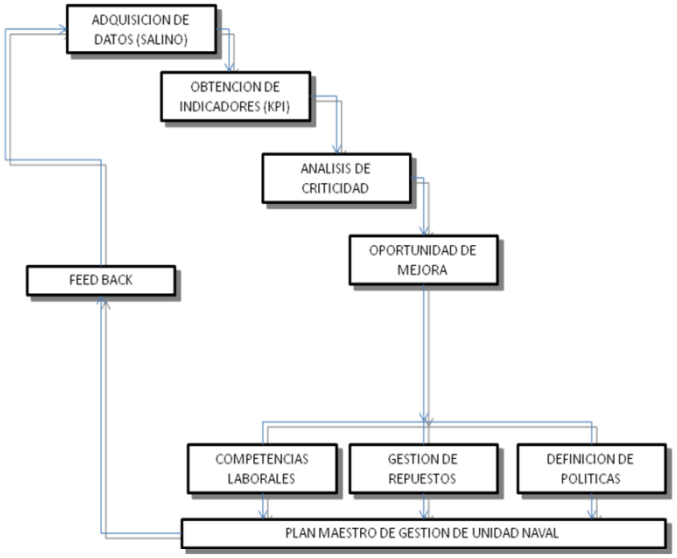
2.4. IMPLEMENTACIÓN PROGRAMA DE CONTROL DE POLÍTICAS

Una vez implementados los cambios de políticas de mantenimiento se debe establecer un estricto control de las nuevas políticas de mantenimiento implementadas, objeto poder dimensionar y contrastar el impacto a la disponibilidad esperado con el real. De esta forma se podrá determinar el éxito de la política aplicada o un cambio de ser necesario.

3. METODOS Y MATERIALES

3.1. PROCESO DE ANÁLISIS

Objeto seguir un proceso formal usaremos el análisis estandarizado para análisis de confiabilidad, con los pasos descritos en la siguiente figura:



3.2. ADQUISICIÓN DE DATOS

Adquisición de datos, en esta etapa se rescatan los datos del software de mantenimiento usado por la Armada de Chile, SALINO. En esta base de datos todas las Unidades de la Armada ingresan las ordenes de trabajo de los equipos y sistemas, en estas órdenes de trabajo (OT), detallan tanto al equipo con su código, como a la naturaleza de la falla y el grado de criticidad en la operatividad de la Unidad.

Tras la adquisición de datos se efectuaron filtros a la base de datos de las Unidades agrupadas por el mismo tipo de Unidad, de esta forma se logra el primer criterio que es separar las fallas por unidades TIPO. El siguiente criterio de filtrado es separar todas las Ordenes de Trabajo (OT), que son de alto impacto para el usuario, esto se logra debido a que en las fallas ingresadas a la base de datos, el usuario debe incluir el uno de los tres criterios definidos en el manual de mantenimiento de la Armada de Chile.

3.3. OBTENCIÓN DE INDICADORES (KPI)

Obtención de indicadores o Key Performance Indicators (KPI), es la etapa fundamental, debido a que de estos indicadores se deprenden las prioridades.

Los indicadores que se van a usar para sistemas o equipos son los de parada no programada o "Down Time", que representan el tiempo total de parada no programada de un equipo en su periodo operativo, este factor está relacionado con la severidad. Luego está el de frecuencia de falla, este indicador está relacionado con la frecuencia que se producen las fallas en un sistema, independiente del tiempo de parada.

- Frecuencia de Falla o MTBF (OCURRENCIA).
- Tiempo de Parada o Down Time (SEVERIDAD).
- Nivel de impacto a la operatividad (SEVERIDAD).

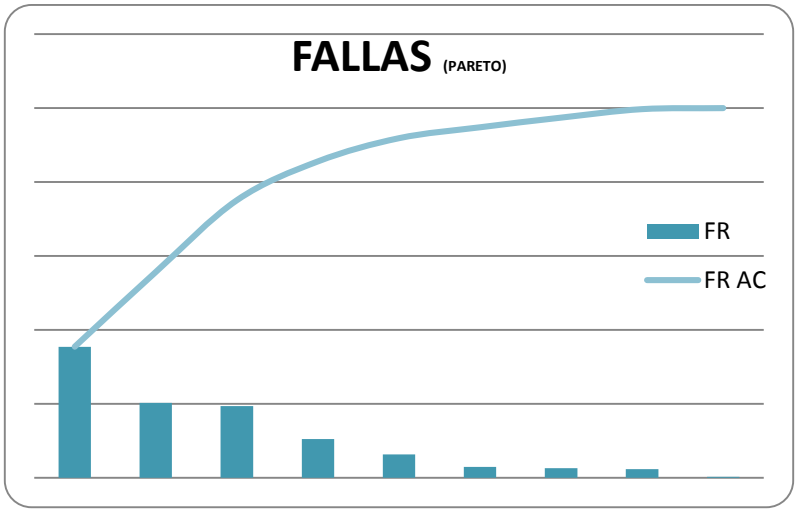
Para esta fase del trabajo se seleccionaron tres Fragatas del mismo modelo y se les extrajo la información de los últimos 5 años de Órdenes de Trabajo (Fallas), con esto se pudo determinar la primera distribución de estudio:

Se definen las columnas:

- CARGO, Cada Unidad está dividido en cargos con equipos y sistemas asignados.
- NR OT, en esta columna se cuenta el numero de Ordenes de Trabajo (OT) por cargo.
- FR, Frecuencia, que es el porcentaje de OT con respecto al total.
- FR AC, Frecuencia acumulada, es el porcentaje acumulado.

FRAGATAS

CARGO	NR OT	FR	FR AC
MAQUINAS AUXILIARES	1932	35%	35%
MAQUINAS PROPULSION	1101	20%	56%
BOTES	1057	19%	75%
ELECTRICIDAD	572	11%	86%
ARTILLERIA	342	6%	92%
NAVEGACION	161	3%	95%
ELECTRONICA	142	3%	97%
CONTROL DE AVERIAS	125	2%	100%
MANDO Y CONTROL	15	0%	100%
	5445	100%	

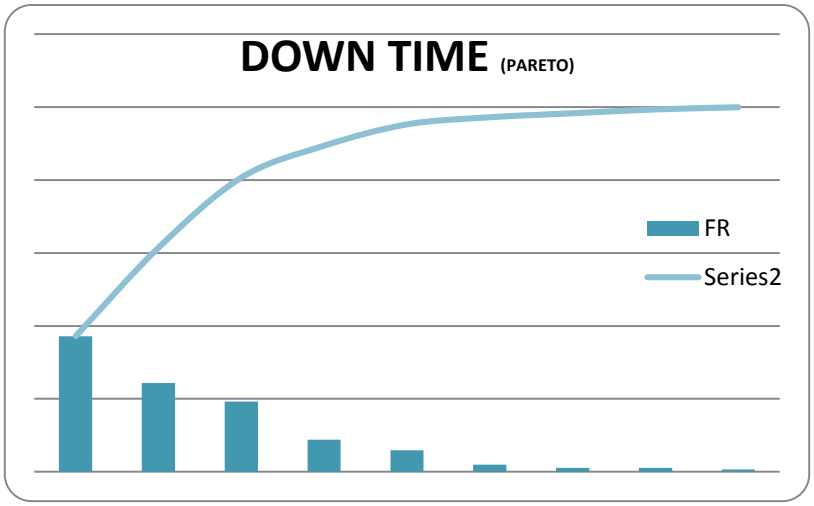


En esta primera etapa vemos como tres cargos acumulan el 75% de las fallas, en cuanto a frecuencia, con lo que podemos destacar ocurrencia.

Luego para determinar severidad, vamos a usar dos factores distintos, tiempo de parada o Down Time y Nivel de impacto en la operacional, factor entregado por el operador en cada una de las órdenes de trabajo. Para este trabajo expondremos solo el tiempo de parada, debido a que el Nivel de Impacto operacional es de carácter Reservado.

FRAGATAS

CARGO	DT (DIAS)	%	% AC
BOTES	3587	37%	37%
MAQUINAS AUXILIARES	2345	24%	61%
MAQUINAS PROPULSION	1857	19%	81%
ARTILLERIA	845	9%	89%
ELECTRICIDAD	565	6%	95%
CONTROL DE AVERIAS	189	2%	97%
ELECTRONICA	106	1%	98%
NAVEGACION	102	1%	99%
MANDO Y CONTROL	58	1%	100%
	9654	100%	



En esta segunda acumulación de tiempo de parada o Down Time (DT), se destacan cargos como BOTES, con mayor tiempo acumulado de parada.

Como podemos ver el cuadro el 81% del tiempo de parada lo llevan tres cargos, de esta forma podemos determinar que los CARGOS a analizar son tres:

- BOTES.
- MÁQUINAS AUXILIARES.
- MÁQUINAS PROPULSORAS.

Una vez determinados los cargos críticos volvemos a hacer un análisis de Pareto para determinar dentro de los cargos, los equipos o sistemas que tienen mayor peso.

De esta forma podemos aislar los equipos donde concentrar los esfuerzos para hacer el análisis de Modo de Falla.

Para efectos de este trabajo se va a exponer el trabajo hecho con un compresor de aire con alta tasa de fallas, alta criticidad y tiempo de parada relevante.

3.4. MODOS DE FALLA

Una vez determinado los equipos críticos, se reúne un grupo de trabajo el cual va catalogar los Modos de Falla, según subsistema, esta catalogación de los modos de fallas tiene por función determinar causa y efecto, luego podemos al determinar los modos más recurrentes, podemos definir las políticas.

ANALISIS DE MODO DE FALLA PARA COMPRESOR DE AIRE					
SUBSIST. - NIVEL 3	**COMPONENTE**	**MODO FALLA**	**EFECTO**	**CAUSA**	**COD**
Block	**Válvula alivio**	Rotura de Válvula	Filtración de aire	Sellos gastados	**A**
		Caída de presión aleatorio	Filtración de aire	Desgaste Resorte	**B**
	Pistones	Caída de presión de carga	Pedida de presión	Anillos desgastados	**C**
	Bomba lub	Mala operación de bomba	Caída de presión de lub	Soltura en engranajes	**D**
		Mala operación de bomba	Caída de presión de lub	Falla de válvula de alivio	**E**
	Culata	Rotura de Culata	Filtración de agua	Grieta pasante	**F**
Sistema de enf.	**Estanque**	Calentamiento de aceite	Alarma	Bajo nivel de aceite	**G**
Circuito auxiliar	**Cañerías**	Falla de sellos en cañerías	Filtración de Aire	Sellos desgastados	**H**
Sistema de filtrado	**Filtros**	Alta presión de descarga	Alarma	Filtro sucio	**L**

El siguiente paso es determinar prioridades en los modos de fallas con los KPI antes determinados y luego tomar acciones sobre ellos.

ANALISIS DE MODO DE FALLA PARA COMPRESOR DE AIRE						**NR**	**DT**
SUBSIST. - NIVEL 3	**COMPONENTE**	**MODO FALLA**	**EFECTO**	**CAUSA**	**COD**		
Block	**Válvula alivio**	Rotura de Válvula	Filtración de aire	Sellos gastados	A	**6**	**215,0**
		Caída de presión aleatorio	Filtración de aire	Desgaste Resorte	B	**5**	**303,0**
	Pistones	Caída de presión de carga	Pedida de presión	Anillos desgastados	C	**6**	**330,0**
	Bomba lub	Mala operación de bomba	Caída de presión de lub	Soltura en engranajes	D	**4**	**315,0**
		Mala operación de bomba	Caída de presión de lub	Falla de válvula de alivio	E	**5**	**255,0**
	Culata	Rotura de Culata	Filtración de agua	Grieta pasante	F	**8**	**365,0**
Sistema de enf.	**Estanque**	Calentamiento de aceite	Alarma	Bajo nivel de aceite	G	**3**	**90,0**
Circuito auxiliar	**Cañerías**	Falla de sellos en cañerías	Filtración de Aire	Sellos desgastados	H	**13**	**455,0**
Sistema de filtrado	**Filtros**	Alta presión de descarga	Alarma	Filtro sucio	L	**4**	**165,0**

3.5. POLITICAS DE MANTENIMIENTO

Tras haber determinado los Modos de Fallas más relevantes, revisamos las actuales políticas existentes en relación a las actuales fallas y luego se determinan las nuevas políticas a implementar para adelantarse a la ocurrencia de la falla y así no tener paradas no programadas, de estas políticas se puede determinar del tipo:

- Mantenimiento Programado, por tiempo o ciclos.
- Mantenimiento Paramétrico.
- Mantenimiento por Condición.
- Stock de Repuestos

De esta forma se están creando las nuevas políticas de mantenimiento para los equipos que el estudio mostró como relevantes.

3.6. CONTROL DE IMPLEMENTACION

Tras haber determinado los Modos de Fallas más relevantes, revisamos las actuales políticas existentes en relación a las actuales fallas y luego se determinan las nuevas políticas a implementar para adelantarse a la ocurrencia de la falla y así no tener paradas no programadas, de estas políticas se puede determinar del tipo: “Mantenimiento Programado, por tiempo o ciclos”.

4. RESULTADOS

4.1. EQUIPOS CRITICOS

Se logra determinar todos los equipos o sistemas que representan el 75% de las fallas críticas para las Fragatas analizadas, con esto se puede enfocar tanto esfuerzos, como recursos en buscar soluciones que impacten directamente en la disponibilidad de una Unidad.

4.2. MEDIR EL MANTENIMIENTO

La aplicación de Ingeniería en confiabilidad, permite medir los logros de las políticas de manteniendo aplicada de manera cuantitativa, lo que permite dar fuerza en la toma de decisión de inversión, logrando evitar tomas de decisiones solo por experiencia o definidas por el fabricante (normalmente con un costo mayor).

4.3. CONTROL DE PROCESOS PENDIENTE

Queda como un tema pendiente los resultados de las nuevas políticas de mantenimiento aplicadas, ya que se requiere un ciclo de tiempo mayor al asignado para este trabajo, para medir las consecuencias de las políticas implementadas.

Durante el trabajo se observó la necesidad de crear una oficina de control de confiabilidad, la cual podría tener una visión de largo plazo del impacto de las políticas implementadas y llevar el control de la estadística de operación de los sistemas críticos, lo cual gatillaría los nuevos estudios de política de mantenimiento en equipos que estén influyendo en la disponibilidad de la Unidad.

5. CONCLUSIONES

5.1. PRIMERA IMPRESIÓN

El análisis estadístico de fallas, en primera instancia es concordante con la experiencia de los técnicos y operadores, sobre cuáles son los equipos con mayor índice de falla, sin embargo, nuevos equipos y sistemas aparecen debido a las ponderaciones del tiempo de parada, de equipos que tienen menor frecuencia, pero gran impacto temporal.

5.2. ESFUERZOS ENFOCADOS

El análisis estadístico de fallas permite enfocar mejor los esfuerzos para encontrar soluciones reales a problemas, muchas veces disueltos por el tiempo, lo que permite tener una mejor trazabilidad de las fallas que finalmente se traducen en un incremento medible en la disponibilidad de una Unidad.

5.3. OFICINA DE CONFIABILIDAD

El constante monitoreo de las fallas, disponibilidad y KPI de las Unidades es fundamental, para lograr una mejora, en la Armada de Chile existe toda la infraestructura para hacerlo, pero falta una Unidad que gestione y analice la estadística, por lo que se hace fundamental la creación de un departamento de confiabilidad, que entregue la información exacta de donde poner los esfuerzos de Ingeniería para mejorar la disponibilidad de los activos fiscales.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- MANUAL DE GESTION DE ACTIVOS Y MANTENIMIENTO; Adolfo Araya y Luciano Furlanetto.
- INGENIERIA Y GESTION DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE LA PLATAFORMA R-MÊS; Alessio Arata, Fredy Kristjanpoller, Raul Stegmaier.
- ORGANIZACION LIVIANA Y GESTION PARTICIPATIVA; Adolfo Arata, Luciano Furlanetto.
- INGENIERIA EN CONFIABILIDAD; Adolfo Arata.

Análisis técnico de las alternativas de optimización de un difusor de descarga de gases para submarinos convencionales

Manuel Herrera Romero
maherrera@armada.cl
TENIENTE SEGUNDO
INGENIERO NAVAL MECÁNICO

DIRECCION GENERAL DE LOS SERVICIOS DE LA ARMADA
PRAT 620, VALPARAISO, CHILE
ARMADA DE CHILE

1. INTRODUCCIÓN

En la arquitectura naval el correcto diseño funcional y estructural, acompañado de un completo estudio y análisis técnico, tiene importancia fundamental, porque es a través de éste que se logra el máximo rendimiento de los sistemas o bien, la implementación de mejoras en sus desempeños.

El presente trabajo investiga los factores que influyen en la optimización de un difusor de descarga de gases original de una unidad submarina convencional y efectúa un análisis comparativo con dos nuevas propuestas.

La optimización del difusor va de la mano con disminuir el efecto que producen los gases que salen a través de éste en la superficie del mar, cuando el submarino se encuentra a profundidad de periscopio.

De acuerdo a lo anterior, se buscará determinar las condiciones críticas de operación de un submarino; es decir, las condiciones de navegación y parámetros asociados al estudio, en los cuales la eficiencia estructural y funcional del diseño del difusor poseen una mayor relevancia. Parte importante de la investigación será efectuar una serie de ensayos empíricos con el fin de corroborar conclusiones obtenidas mediante el análisis previo de la literatura.

Otro de los aspectos de importancia será determinar las variables que influyen en el diseño de un difusor de descarga de gases, para posteriormente, en función de éstas, analizar las características propias del difusor original y de otras dos propuestas nuevas de diseño.

En el desarrollo del trabajo es de gran importancia la dinámica de fluidos simulada computacionalmente, en este caso utilizando el software de CFD STAR CCM+, mediante el cual se buscará visualizar el comportamiento de los gases de descarga en los diferentes modelos analizados, desde su generación hasta su llegada a la superficie del mar.

Todo lo anterior permitirá generar las conclusiones que se desprenden de la investigación y estudio técnico, junto con las recomendaciones para lograr la mayor eficiencia estructural y operacional del difusor de descarga de gases.

2. OBJETIVOS

1.- OBJETIVO GENERAL

Analizar las propuestas de difusores de descarga de gases aplicando los principios físicos que rigen el fenómeno de inyección y formación de la estela por un gas en el agua de mar.

2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Describir los principios físicos que rigen el comportamiento de inyección y formación de estela por un gas en agua de mar.

2) Establecer parámetros operacionales del submarino en función de las condiciones críticas del diseño del sistema de difusión.

3) Verificar empíricamente el comportamiento de la descarga de gases en condición experimental.

4) Determinar los criterios a considerar para el diseño del sistema de difusión.

5) Simular el comportamiento de los gases de descarga en la condición actual y su efecto en superficie.

6) Describir los diseños de difusores a considerar, en función de los efectos en superficie de los gases de descarga.

7) Simular el comportamiento de los gases de descarga con sistemas de difusión en estudio.

8) Establecer las condiciones de diseño del difusor de gases en función del efecto en superficie de los gases de descarga.

3. CONDICIONES OPERACIONALES DE LOS SUBMARINOS CONVENCIONALES

a. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se explicarán los conceptos técnicos que conforman la problemática del estudio, donde se sustentará de forma teórica los principios básicos de un submarino enfocado en la difusión de gases de descarga de los motores diesel alternadores rectificadores (DAR).

Con la redacción de este capítulo se podrá dar una idea generalizada del funcionamiento de los submarinos.
La información expuesta en este capítulo será de importancia en una serie de consideraciones que se efectuarán en capítulos posteriores.

b. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUBMARINOS

Tras la Segunda Guerra Mundial, el desarrollo tecnológico de los submarinos tuvo un importante crecimiento, debido, por una parte, a la mejora en los sistemas de detección de buques de superficie, los avances sustanciales en radares y sonares, el auge de la aviación como sistema de alerta ante amenazas submarinas y el fortalecimiento de las tácticas de combate antisubmarino (ASW, anti submarine warfare).

La necesidad de aumentar las capacidades y lograr prevenir la detección condujo a obtener un avance en materias de transmisión del ruido, propulsión a base de motores eléctricos alimentados con baterías y sistemas de admisión de aire mediante snorkel. Todo lo anterior conllevó a mejorar el diseño y la construcción de los submarinos de combate.

Los submarinos convencionales son plataformas navales capaces de navegar bajo el agua sin tener contacto con superficie durante un periodo de tiempo determinado. Existen de diversos tipos, los cuales se diferencian según sus sistemas de propulsión, tamaño y velocidad, dependiendo del rol que cumplan.

Toda la estructura del submarino se ve afectada por la presión hidrostática. Esta presión se debe a la acción de la columna de agua en función de la profundidad y de la densidad del medio

El cambio de condición, pasando de superficie a inmersión, se desarrolla mediante la adición de agua de mar en estanques de lastres o MBT (main ballast tanks), estos estanques principales son los encargados de variar la condición de boyantez positiva (submarino aflorado) a boyantez neutra (sumergido). También existen otros estanques que permiten un ajuste fino o cambio de asiento para las distintas maniobras del submarino y para cambiar la boyantez de éste en función de la variación de la densidad del medio.

Una de las características principales de los submarinos, sin lugar a dudas, es la discreción con que desarrollan sus operaciones. Mientras mayor sea la capacidad de mantenerse sumergido, disminuye la probabilidad de ser detectados por radares desde superficie.

Al término de la Primera Guerra Mundial, los sistemas de propulsión diesel eléctrica se encontraban ampliamente desarrollados, las baterías son cargadas por motores diesel, los cuales necesitan aire para su combustión y por consiguiente la necesidad de obtenerlo desde superficie.

Finalizando la Segunda Guerra Mundial, el perfeccionamiento de los radares y sonares, produce una importante amenaza para los submarinos en superficie, lo que obliga a mejorar las condiciones de velocidad e inmersión. El desarrollo del snorkel, aparato que permite tomar aire de superficie y eliminar los gases de descarga mientras el submarino se encuentra en inmersión, mitigó de gran forma el problema de la detección en superficie.

c. IMPORTANCIA DE LA DISCRECIÓN DE UN SUBMARINO

Como se desprende del punto anterior, el desarrollo del snorkel constituyó un gran avance en materia de discreción de un submarino. El desarrollo de otros sistemas de propulsión como el nuclear han permitido escatimar el problema de la detección en superficie, avanzando en sistemas independientes del aire de la atmósfera (AIP, Air Independent Propulsion) los que no se encuentran masificados debido a dificultades técnicas, altos costos y bajo sustento en lo que a repuestos y suministro respecta.

En lo que a la Armada de Chile y, en general, al resto de las marinas concierne, los submarinos convencionales diesel eléctricos continúan siendo un arma altamente disuasiva y discreta que

cumplen roles específicos dentro del marco de la guerra en el mar, siendo la carga de baterías el proceso a optimizar para disminuir las posibilidades de detección.

La recarga de baterías implica el uso de snorkel para que los grupos diesel eléctricos puedan obtener el aire desde la atmósfera necesario para la combustión, la eliminación de los gases de descarga desde los difusores genera ruido (sumado a los diesel en funcionamiento), emisiones infrarrojas producto de la temperatura de salida de los gases y el efecto visual que se genera en superficie, lo que representa una condición de vulnerabilidad del submarino.

4. ASPECTOS TEÓRICOS DE LA FORMACIÓN DE BURBUJAS

a. INTRODUCCIÓN

La inyección de gases en líquidos se ha estudiado durante más de un siglo, ya que es una operación común en los procesos industriales químicos y metalúrgicos. En la mayoría de las aplicaciones iniciales, el gas se inyecta en el fondo o en el costado de los reactores a fin de maximizar la generación de la interfaz sólido-líquido u optimizar la cinética de las reacciones.

El fenómeno de formación de burbujas de gas que trasciende en el ascenso debido a la boyantez, asociado con una posible coalescencia y dispersión en el medio líquido, es un fenómeno de importancia fundamental en el estudio de la formación de estela debido a los gases descargados desde los motores diesel durante la carga de baterías de un submarino convencional.

Las ecuaciones que gobiernan el flujo de fluidos son las ecuaciones de Navier-Stokes, las cuales constituyen la base de la mecánica de fluidos. El fenómeno de inyección de un gas en un medio líquido forma parte del complejo estudio de los fluidos, donde la formación de burbujas representa un segmento fundamental en el estudio de este trabajo.

b. ANÁLISIS DE LA LITERATURA

Numerosos estudios empíricos, de inyección de gases y generación de burbujas mediante mediciones de alta resolución y grabaciones de video de alta velocidad, han permitido obtener resultados sobre el comportamiento de un flujo turbulento de aire inyectado en un medio líquido

y sobre la formación de flujo tipo chorro, a alta velocidad, lo cual implica una turbulencia que deriva en un desarrollo de burbujas que romperán en la superficie.

Los trabajos experimentales y estudios que se han efectuado se refieren principalmente a fenómenos derivados de procesos metalúrgicos, sin existir estudios disponibles que representen el efecto en superficie generado por la inyección de gas en agua.

Considerando el análisis de la literatura respecto a la teoría de las burbujas, donde la mayor parte de los resultados obtenidos por los diferentes investigadores corresponden a estudios empíricos bajo ciertas condiciones de borde, se pueden inferir algunos enunciados que permitirán seleccionar posteriormente criterios para el análisis de los diseños en estudio.

Por ejemplo se puede destacar la relevancia del volumen de la burbuja que se forma al inyectar un gas en el agua, mientras mayor sea el volumen mayor será el radio equivalente de dicha burbuja, situación que genera una disminución en la presión interna de ésta facilitando su colapso, este evento propicia el aumento de la turbulencia del flujo.

Otro factor a considerar es el número de Reynolds del orificio, el cual mientras más grande sea provocará un aumento del diámetro medio de la burbuja lo que evita la distribución durante su ascenso a superficie, también se enfatiza que a mayor flujo de aire inyectado sumado a una caída de presión importante en la salida del orificio generará mayor turbulencia del flujo.

Con respecto al ascenso de las burbujas es preciso destacar que la velocidad de ascenso dependerá de la aceleración de gravedad, densidad, viscosidad, tensión superficial y radio equivalente de la burbuja de gas, precisamente ésta última constituye el único parámetro que es posible variar en el presente estudio, tal como se mencionará más adelante, las condiciones de los gases de descarga permanecen constantes en el análisis del presente trabajo.

Los trabajos experimentales estudiados indican que para favorecer la formación de burbujas pequeñas conviene tener flujos bajos en los orificios de inyección y presencia de corrientes cruzadas del líquido, que favorecerían la generación de burbujas de menor tamaño contribuyendo a su dispersión en el medio líquido.

5. GEOMETRÍA EN LA DESCARGA DE FLUIDOS

a. INTRODUCCIÓN

Dentro de la revisión realizada a estudios experimentales sobre el fenómeno físico de inyección de gas en agua, se rescatan distintos resultados empíricos sobre la implicancia de la configuración del orificio donde será inyectado el gas en el medio líquido, lo que representa una de las variables a analizar dentro del marco del estudio del sistema de difusión de gases de un submarino convencional.

La dirección de inyección del gas desde un orificio, el volumen de la cámara de inyección (estructura de difusión), diámetro, tipos y material del orificio, son parámetros importantes en el proceso de formación de burbujas.

Algunos de estos parámetros fueron estudiados desde el punto de vista teórico para poder visualizar las variables que permiten determinar una configuración óptima que disminuya el efecto en superficie causado por los gases de descarga.

b. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

Sintetizando la información obtenida de la literatura técnica del flujo en tuberías y descarga desde orificios se puede obtener importantes enunciados que vislumbran los criterios que se deben considerar para un posterior análisis del diseño de los diferentes difusores en estudio.

Con respecto al tipo de orificio considerando su área de la sección transversal interior y exterior, es de relevancia discriminar las distintas condiciones que se producen en la velocidad y presiones si se considera una salida tipo difusor o tobera. Un orificio tipo difusor tiende a disminuir la velocidad de salida del flujo al aumentar el área transversal, situación opuesta ocurre si pasamos un flujo por una tobera.

Otros puntos de interés son el flujo secundario y radio relativo, conceptos de importancia que implican un cambio en la turbulencia del fluido, al igual que el biselado y la curvatura por donde se descarga el flujo de gases.

Con respecto al diámetro del orificio, mientras más grande sea, al aumentar el flujo de gases descargado, mayor será el volumen de la burbuja generada.

Finalmente la dirección de inyección del flujo representa un importante punto a considerar ya que la energía cinética de salida se opondrá o se sumará a la fuerza de boyantes de la burbuja, permitiendo una menor o mayor velocidad de ascenso a superficie respectivamente.

6. DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

La dinámica de fluidos computacional constituye una de las partes de investigación y desarrollo del presente trabajo, donde mediante esta herramienta de la ingeniería se simularon condiciones similares a las que se ve enfrentada el sistema de descarga de gases de un submarino convencional.

El análisis bibliográfico se puede dividir en dos áreas donde se investiga acerca del método de resolución de problemas de mecánica de fluidos mediante CFD y las distintas técnicas numéricas empleadas para modelar problemas de ingeniería, y el estudio de distintas publicaciones referentes al tema de inyección de un gas en un medio líquido utilizando el método VOF (volumen de fluido), el cual es aplicado en los modelos de difusores en estudio.

7. CONDICIONES CRÍTICAS DE OPERACIÓN

a. INTRODUCCIÓN

Luego de haber efectuado una revisión de la literatura técnica y científica asociada a la optimización de un difusor de descarga de gases, se establecerán las condiciones de operación del submarino para las cuales el efecto en superficie de los gases de descarga se ve más acrecentada.

b. CONDICIONES CRÍTICAS DE OPERACIÓN

Para el análisis de la situación es necesario establecer condiciones de operación del submarino para poder llevar a cabo un estudio del punto de vista experimental y computacional, estas condiciones se establecen en función de la situación más crítica en que se pueda encontrar el submarino durante su condición de snorkel.

A continuación se detallan las condiciones críticas de funcionamiento del submarino que se considerarán en las diferentes simulaciones y experiencias a realizar.

	CONDICIÓN	VALOR	UN.
CONDICIONES DE NAVEGACIÓN	VELOCIDAD DEL SUBMARINO EN SNORKEL	4	NDS
	PROFUNDIDAD SNORKEL	14	M
	DISTANCIA ENTRE DIFUSOR Y SUPERFICIE	2	M
	ESTADO DE MAR	Fuerza 0	calma
	ALTURA DE LA OLA	0	M
PARÁMETROS DE OPERACIÓN	PRESIÓN SALIDA DE GASES	1600	mBar
	PÉRDIDA DE CARGA TOTAL ENTRE SILENCIADORES Y DIFUSORES (4 DAR máx carga de aire)	240	mBar
	TEMPERATURA EN VÁLVULA INTERIOR DE GASES	80	°C
	FLUJO VOLUMÉTRICO DE DESCARGA DE GASES POR MOTOR	1	M^3/s
	CONSUMO COMBUSTIBLE A 630 KW	42	gr/s
	AGUA INYECTADA EN LA VVLA INTERIOR	0,001	M^3/s
CONDICIÓN SIST. DESC. DE GASES	DIÁMETRO CAÑERÍA POR BANDA 8 Pulg.	0,2032	M
	DIÁMETRO CAÑERÍA POR MOTOR 11 Pulg.	0,2794	M
	ÁREA SECCIÓN CAÑERÍA DE 11 Pulg.	0,061311605	M^2
	FLUJO DE GASES EN CAÑERÍA 11 Pulg.	2,002	M^3/s
	VELOCIDAD DE SALIDA POR CAÑERÍA DE 11 Pulg.	32,65287218	M/s

c. CONDICIONES DE NAVEGACIÓN

Los parámetros establecidos, relacionados con las condiciones de navegación del submarino en condición de snorkel, se determinaron en función de la peor condición respecto de la generación de estela y vulnerabilidad del submarino. Tal como se aprecia en la tabla anterior, el hecho de que el estado de mar sea calma y la altura de ola cero influirá en el mayor impacto visual que produzcan los gases en superficie.

d. PARÁMETROS DE OPERACIÓN

Los parámetros de operación que se muestran en la tabla se encuentran relacionados a una situación simulada de carga de baterías utilizando 4 DAR a plena carga, lo que influye en la máxima generación de estela y por lo tanto del efecto visual producido por los gases en superficie.

e. CONDICIÓN DEL SISTEMA DE DESCARGA DE GASES

En esta sección de la tabla se muestran parámetros asociados a un sistema de descarga de gases simulado, tanto los que no son variables como los diámetros de las cañerías así como también los flujos de gases de descarga asociados a una condición de plena carga de 4 DAR.

8. EXPERIMENTACIÓN

a. INTRODUCCIÓN

En el estudio de la mecánica de fluidos es necesario contar con herramientas para predecir el comportamiento de un prototipo, sobretodo si las ecuaciones y principios que lo rigen no tienen solución analítica o se hace muy difícil encontrarlas por la complejidad de las ecuaciones diferenciales que se obtienen del análisis del problema. Es desde esta perspectiva que nace la necesidad de generar modelos que se asimilen geométrica, cinemática y dinámicamente al prototipo en cuestión, respetando los criterios de escalamiento y similitud.

En este caso particular, es de importancia determinar qué factores influyen en el comportamiento del fluido que sale a través del difusor de descarga y a la vez cómo influye éste en la generación del efecto en la superficie del agua de mar. Para ello se hace necesario conocer los fundamentos teóricos que rigen el comportamiento y formación de burbujas generadas por la inyección de un gas en un líquido, pero también es relevante el análisis de información empírica obtenida a través de experiencias similares.

Se efectuaron una serie experimentaciones con el fin de mostrar cualitativamente el comportamiento de diferentes configuraciones de difusión similares a las que puede contar hoy en día un submarino convencional y las propuestas a evaluar.
Los experimentos efectuados fueron tres denominados: Largo de difusión, distribución lineal simétrica y dirección de salida del flujo.

b. CONCLUSIONES DE LA EXPERIMENTACIÓN

Finalizadas las distintas experiencias y comparando los resultados con lo analizado anteriormente en la teoría, es posible concluir que los ensayos empíricos permitieron comprobar la influencia de las variables estudiadas en el comportamiento del flujo de aire inyectado en un medio líquido.

Para el experimento 1, relacionado con el largo de difusión se pudo determinar que la influencia de la distribución de salida de los gases es de importancia en el efecto en superficie de éstos. Se comprueba lo mencionado en la teoría respecto a la coalescencia de las burbujas, debido a que este efecto se ve incrementado al encontrarse los orificios más juntos entre si y por consiguiente aumenta el efecto en superficie.

Finalmente del experimento 1 se logra concluir que, para un mismo flujo y área de salida de orificios, a mayor longitud de difusión se produce un menor efecto en superficie.
Del experimento 2, distribución lineal simétrica, se logró observar que el efecto en superficie es aún menor al separar el flujo de aire en dos salidas, permitiendo disminuir el efecto de coalescencia entre la burbujas el que se encuentra ligado al tamaño de éstas.

Finalmente en el experimento número tres se concluye que las distintas formas de inyección de un gas en el agua, son determinantes en el efecto que el flujo producirá en la superficie, lo anterior quedó claramente verificado al observarse que la inyección lateral permite una oposición de fuerzas que se reflejan en un efecto menor. La máxima oposición se producirá cuando la dirección de inyección sea opuesta a la dirección de la fuerza de boyantez sobre las burbujas.

Si bien es cierto los resultados obtenidos en el ensayo empírico corresponden a un análisis cualitativo, representa un parámetro valido de referencia y comparación con la teoría, que nos permitirá seleccionar las variables críticas para un diseño óptimo del sistema de difusión de gases de descarga.

9. VARIABLES A CONSIDERAR PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO

a. INTRODUCCIÓN

Establecer las variables y condiciones de estudio es de vital importancia, debido a que son éstas las que enmarcan la investigación a efectuar, ya que existen un sin fin de situaciones específicas que se podrían presentar en el estudio de la inyección de gases en un medio líquido, así como también las diferentes configuraciones de operación en las que se podría encontrar el submarino.

Otro factor de importancia es que estableciendo las variables, a través del estudio teórico de casos similares, es posible analizar los efectos que éstas tienen sobre el comportamiento de las burbujas y su efecto en superficie.
El estudio teórico de la formación de las burbujas mediante el fenómeno de inyección de gas en agua, representa una recopilación de numerosos trabajos empíricos que han permitido obtener lineamientos respecto al caótico comportamiento de los fluidos turbulentos.

Si bien es cierto los resultados obtenidos en las distintas experiencias a lo largo del tiempo fueron medidas en condiciones específicas de estudio, entregan referencias teóricas que permiten visualizar el comportamiento de una fase gaseosa dentro de un medio líquido, específicamente en la interfaz burbuja de aire-agua de mar.

Del mismo modo, la experimentación realizada permitió afirmar la teoría sobre situaciones que modifican la salida del flujo de gas en un medio líquido y su posterior efecto en superficie.

b. VARIABLES DE ESTUDIO

Mediante la revisión bibliográfica de la teoría de burbujas y las pruebas empíricas efectuadas es posible concluir que las burbujas que se obtienen mediante la inyección de gas en un medio líquido dependerán principalmente del *flujo volumétrico, turbulencia y configuración de la salida del gas.*

A menor turbulencia y menor flujo de gas disminuirá el tamaño de las burbujas; si bien es cierto mientras más próximas estén unas con otras facilitará el fenómeno de coalescencia entre ellas, aumentando el tamaño de las burbujas, la inyección en un sistema de varios orificios con una distancia entre ellos de consideración generará claramente una mayor distribución de las burbujas, permitiendo que la coalescencia tienda a formarse en zonas bien definidas, lo que contribuye en una mayor dispersión de las mismas.

A mayor volumen de las burbujas disminuirá la presión interna de éstas, facilitando su colapso, lo cual desarrollado en cada burbuja del sistema generará un flujo de mayor turbulencia lo que se traduce en una consecuencia de consideración en el final del ascenso, por lo que se puede

inferir que un ascenso de pequeñas burbujas generará un flujo que se traducirá en un menor efecto en superficie.

De acuerdo a lo anterior y a la información recopilada en diversos estudios teóricos y empíricos y los resultados obtenidos en la experimentación se puede concluir que las variables de consideración son las siguientes:

CRITERIOS DE CONSIDERACIÓN EN EL DISEÑO DEL DIFUSOR

VARIABLE	CONDICIÓN FAVORABLE	IMPLICANCIA
DIRECCIÓN DE INYECCIÓN	BAJO LA HORIZONTAL	OPOSICIÓN AL ASCENSO DEL FLUJO
TIPO DE ORIFICIO	DIFUSOR	MENOR VELOCIDAD A LA SALIDA DEL ORIFICIO
GEOMETRÍA DEL ORIFICIO	BISELADO	MENOR TURBULENCIA
DISTANCIA LONGITUDINAL DE DIFUSIÓN	CONSIDERABLE	MAYOR DISTRIBUCIÓN DE LAS BURBUJAS
CONFIGURACIÓN DE SALIDA AL CAJÓN DE DIFUSIÓN	FLUJO SECCIONADO	MENOR TURBULENCIA
CANTIDAD Y ÁREA DE ORIFICIOS	SUFICIENTE PARA DISMINUIR VELOCIDAD DE SALIDA	MENOR TURBULENCIA
DIÁMETRO DEL ORIFICIO	PEQUEÑO	MENOR TAMAÑO DE LA BURBUJA
SEPARACIÓN DE ORIFICIOS POR BANDA	CONSIDERABLE	EVITA COALESCENCIA

De acuerdo a las variables determinadas y utilizando las técnicas computacionales de CFD es posible efectuar una comparación de los efectos en superficie de dos prototipos de difusor, de los cuales se detallan las características a continuación.

PROPUESTA 1

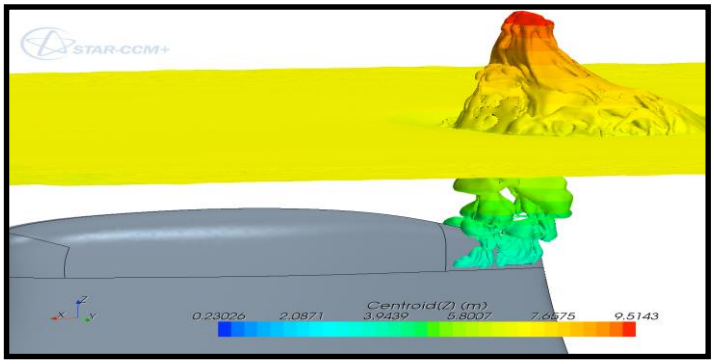
VARIABLE	CONDICIÓN	IMPLICANCIA EN EL PROBLEMA
DIRECCIÓN DE INYECCIÓN	45° Bajo a la horizontal	Favorable
TIPO DE ORIFICIO	Tobera	Desfavorable
GEOMETRÍA DEL ORIFICIO	Biselado	Favorable
DISTANCIA LONGITUDINAL DE DIFUSIÓN	1350 [mm]	Insuficiente
SECCIONAMIENTO EN LA DESCARGA DE GASES	Flujo no seccionado	Desfavorable

PROPUESTA 2

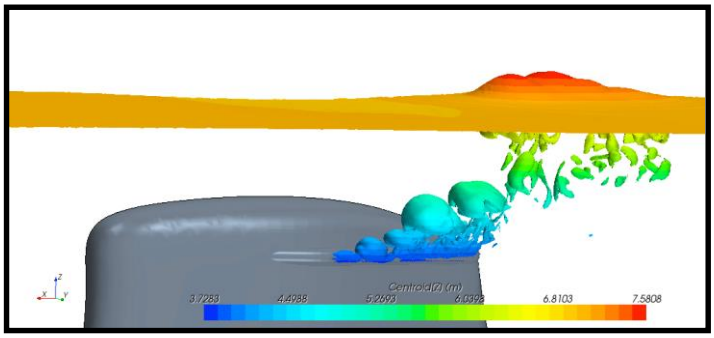
VARIABLE	CONDICIÓN	COMPARACIÓN MODELO ACTUAL
DIRECCIÓN DE INYECCIÓN	45° bajo la horizontal	Similares
TIPO DE ORIFICIO	Difusor	Más Favorable
GEOMETRÍA DEL ORIFICIO	Biselado	Similares
DISTANCIA LONGITUDINAL DE DIFUSIÓN	3500 [mm]	Más Favorable
SECCIONAMIENTO EN LA DESCARGA DE GASES	Seccionado	Más Favorable
CANTIDAD Y ÁREA DE ORIFICIOS	422 - 2071 cm^2	Más Favorable
DISTANCIA ENTRE ORIFICIOS	25 [mm]	Más Favorable

Los resultados de la simulación computacional, utilizando el software STAR-CCM+ son los siguientes:

PROPUESTA 1



PROPUESTA 2



10. CONCLUSIONES

Tras el estudio teórico del fenómeno físico y ensayos empíricos efectuados, se determinaron los parámetros críticos de diseño los que fueron analizados en detalle para los distintos sistemas de difusión propuestos, efectuando una comparación con un sistema similar a los utilizados actualmente por algunos submarinos convencionales.

Lo anterior fue complementado con la utilización de la herramienta computacional CFD, lo que permitió vislumbrar una solución gráfica que en este caso permite determinar que la mejor solución es la que utiliza los criterios desprendidos de la investigación, ya que como se analizó anteriormente, optimiza los parámetros críticos de diseño determinados y a la vez disminuye de la mejor manera la situación producida por los gases de descarga en la superficie.

El proceso de snorkel de un submarino, representa una situación táctica durante la cual se debe lograr la máxima discreción visual, acústica y térmica posible, conforme con exigencias técnicas de alto nivel presentadas a los diseñadores; en el presente trabajo se analizó el primer concepto, donde la distribución y dispersión de los gases de combustión provenientes de los motores diesel durante la carga de baterías en condición de snorkel debe ser tal, que no implique una condición de mayor vulnerabilidad para la unidad.

La discreción representa un concepto de vital importancia para los submarinos convencionales, donde si bien es cierto, la condición de snorkel, por si misma, constituye un periodo de vulnerabilidad, en ciertas condiciones un efecto excesivo en superficie, provocado por los gases de combustión permite un aumento en la estela, generando una mayor indiscreción visual.

El estudio de la teoría respecto a literatura técnica, científica y estudios efectuados previamente de trabajos empíricos similares, permitió visualizar el fenómeno de formación de burbujas y las implicancias de la configuración geométrica en la descarga de un fluido turbulento, como lo son los gases de la combustión descargados por el difusor.

La mecánica de fluidos, constituye una de las áreas de la mecánica de mayor complejidad, por lo que debe ser estudiada desde el punto de vista teórico, experimental y numérico, obteniendo así resultados que se aproximan a la realidad, principalmente en el complejo estudio de los fluidos turbulentos.

La experimentación permitió obtener parámetros cualitativos respecto a la distancia longitudinal de difusión, dirección de inyección de los gases y distribución del flujo de aire inyectado en el agua de mar, parámetros que contribuyeron a la selección de las variables relevantes para el análisis

El desarrollo de una investigación y análisis de la teoría más la experimentación realizada permitió la obtención de los criterios a tener en consideración en el diseño del sistema de difusión de gases de descarga.

La utilización de herramientas computacionales permite un amplio uso en distintas aplicaciones en ingeniería, donde es posible representar complejos modelos bajo distintas condiciones de estudio, logrando un menor tiempo de trabajo y un menor costo en efectuar experimentos a escala que representen la realidad.

La Dinámica de Fluidos Computacional es una rama de la mecánica de fluidos que se encarga de solucionar las ecuaciones que gobiernan los fenómenos físicos entregando una representación gráfica de la situación en estudio.

La simulación computacional CFD efectuada con el software STAR-CCM+ permitió obtener una representación gráfica del efecto en superficie de los distintos difusores en estudio, haciendo posible de igual manera determinar las magnitudes aproximadas de volumen y otros parámetros de importancia en el estudio.

Mediante el estudio teórico, experimental y simulación computacional es posible realizar un completo análisis técnico para poder seleccionar, optimizar o validar distintos diseños en ingeniería, obteniendo resultados y conclusiones que permitan visualizar una acertada solución al problema en cuestión.

Introduccion a la producción offshore

Gustavo Fabian Acosta
gacosta@itba.edu.ar
Prof. Magíster en Ingeniería en Petróleo y Gas Natural

María Curria, Std Ing Química
mcurria@itba.edu.ar

Laura Stempkowski, Std Ing Química
laura.stempkowski@gmail.com

ITBA Instituto Tecnológico de Buenos Aires
http://itba.edu.ar/
Av. Eduardo Madero 399, C1106ACD
Buenos Aires - Argentina

Resumen

La soberanía marítima del Uruguay es de 200 millas lo cual representa una superficie de ~153.000 km², más como se detalla en diversas publicaciones entre el 2012 y 2014. Se relevaron más de 38.000 kilómetros de datos sísmicos 3D, más de 7.500 kilómetros de 2D y se tomaron alrededor de 250 muestras de sedimentos y datos de 164 estaciones de magneto - telúrica. Todos estos datos más un pozo exploratorio en offshore profundo, llevará al Uruguay pronto a afrontar un cambio y con muchos desafíos por delante en la adquisición de los posibles hidrocarburos existente.

En este trabajo caracterizaremos el margen continental, como así su morfología y presentaremos las diferentes tecnologías existentes en la actualidad para la producción de hidrocarburos en el mar, dependiendo de las profundidades. Mostraremos las variables físicas a tener en cuenta para estos desarrollos, asimismo donde la ingeniería naval tiene un rol importante y los desafíos a enfrentar.

Introducción

El Uruguay enfrentará un gran desafío en los próximos años en materias energéticas. A comienzo del año 2015 el Estado Uruguayo por intermedio de su ministro de Industria, Energía y Minería expuso ante la Comisión Permanente del Poder Legislativo los principales lineamientos de la estrategia energética a sumir por el país. "La dependencia del petróleo va disminuyendo progresivamente, del 60 % que llegó a alcanzar, hasta valores del 40 % o el 30 % en la matriz total, mientras el 80 % o el 90 % de la matriz eléctrica pasaron a estar basada en energías renovables para el 2016.

En consecuencia, dicen "nos estamos convirtiendo en un país en el que la generación distribuida, las energías renovables, el gas natural, las redes y las interconexiones son el paradigma de nuestra nueva matriz de abastecimiento eléctrico". En consecuencia expresaron también que la matriz energética de abastecimiento ira migrando.

Como expresaron en dicha presentación, en una situación en la que la demanda crece e ira subiendo hacia el 2020, la energía hidráulica estará siempre presente, pasaran del fueloil y el gasoil al gas natural, y aumentarán la energía eólica y la biomasa [1].

Esta política permitirá afrontar los desafíos de buscar recursos naturales en los ~153.000 km² del offshore sin una urgencia inmediata.

Objetivo

Introducir al conocimiento básico de las diferentes tecnologías de producción de hidrocarburos en el mar o sea lo que se denomina "offshore", mostrando desde una explotación en aguas someras o de poca profundidad, hasta profundidades remotas. Además listaremos las diferentes variables físicas a tener en cuenta en dichas operaciones en el mar.

Desarrollo

La demanda de energía interna en los años venideros irá incrementándose y la parte de ello podría ser suministrada por recursos offshore. Esto implicaría la investigación y desarrollo de

las nuevas tecnologías que se aplican a la exploración y producción de hidrocarburos (el gas natural y del petróleo) no sólo en aguas someras, sino también en lo que se denomina deep offshore (hasta 1500 metros), ultra deep offshore (hasta 3000 metros) y en ultra very deep offshore (profundidades hasta 6000 metros).

Caracterización del margen Continental. Cuencas Sedimentarias

Entre el paralelo 33° y 40° y entre los meridianos 46° y 56° W aproximadamente está ubicado el margen continental uruguayo. Como se puede apreciar en la (Fig. 1), el offshore del Uruguay está constituido por la porción sur de la Cuenca Pelotas (aproximadamente 15.000 kilómetros cuadrados), la Cuenca de Punta del Este aproximadamente (11.000 kilómetros cuadrados), ambas de cuencas de una profundidad variable entre 20 a 1.000 metros y la cuenca Oriental del Plata [2] (con un área aproximadamente 30.000 kilómetros cuadrados) predominantemente deep, ultra deep y very ultra deep. Estas cuencas se la relacionan con las cuencas productivas de Orange (Namibia y Sudáfrica) tales como los yacimiento de Kudu e Ibhubesi, Santos yacimiento como Tupi & Júpiter y Campos (Brasil) ya que pertenecían al mismo ambiente depositacional, que luego de la fragmentación de Gondwana y la posterior apertura del Océano Atlántico fueron separadas.

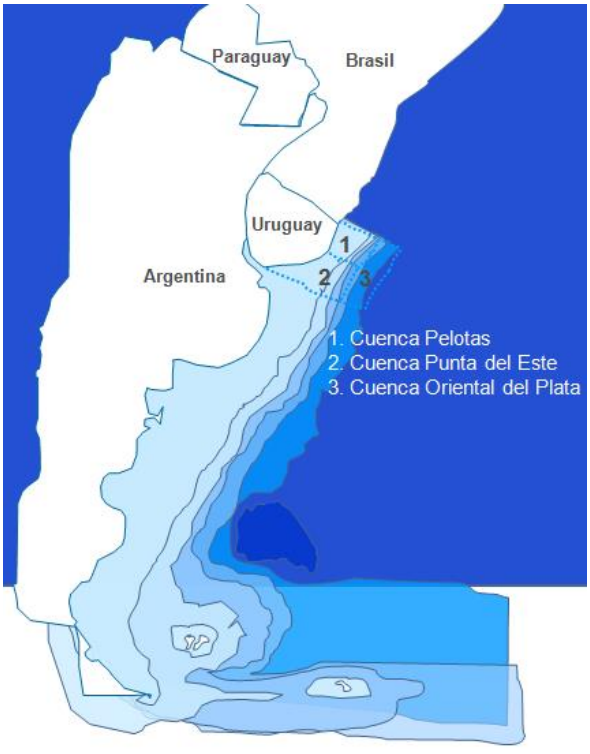


Figura 1: Cuencas Offshore

En la Batimetría en 3D de la (Fig.2) se puede observar como es el desarrollo del perfil geológico desde la plataforma continental hasta la llanura abisal, pasando por el talud continental [9]. Esta información nos va a determinar la tecnología específica a utilizar para la producir el yacimiento descubierto, según dependiendo de dónde sea el mismo.

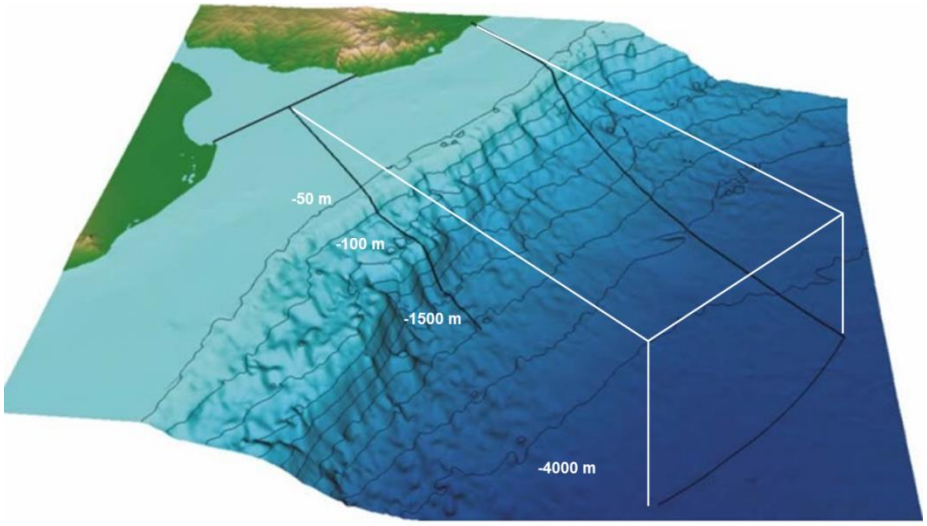


Figura 2: Batimetría 3D

La realidad al día de Hoy

Como se conoce luego de los diferentes procesos licitatorios que el Uruguay afronto en los últimos años y por el cual obtuvo mucha información valiosa que amplía el conocimiento geológico y geofísico de las cuencas en el mar.

A efectos de continuar profundizando el conocimiento desarrollado por L Ronda II, muy valorado por operadores, especialistas, consultores, y con el objeto de incrementar el conocimiento de los recursos hidrocarburíferos costa afuera ("Offshore"), es que ANCAP y el Ministerio de Industria, Energía y Minería llevaron a cabo la "Ronda Uruguay 3", proceso de características similares a los precedentes ya realizados. Como se puede ver en la (Fig.3) y como se detalla en el informe de la Ronda Uruguay 3, Exploración y Producción de Hidrocarburo Offshore. Allí se detalla que el Offshore de Uruguay cuenta actualmente con 9 contratos vigentes de Exploración y Producción, 3 contratos con BP, 3 con BG, 1 con Total, 1 con el consorcio formado por Tullow Oil e Inpex y uno con el consorcio formado por YPF, Shell y GALP. Los contratos corresponden a áreas localizadas en las 3 cuencas offshore,

Cuenca Punta del Este, Cuenca Pelotas y Cuenca Oriental del Plata, las cuales varían desde aguas someras a aguas ultra-profundas [3].

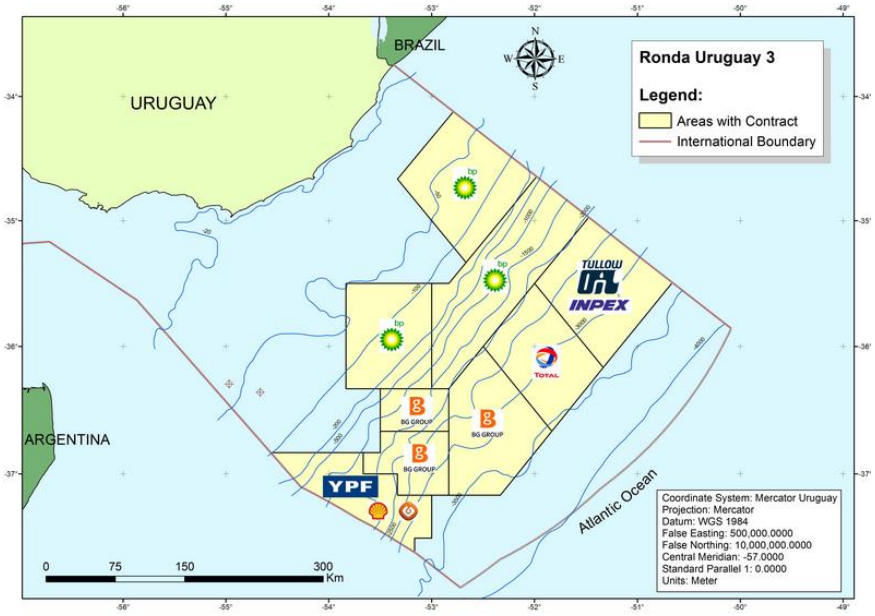


Figura 3: Ronda Uruguay 3 [4]

Para Presentar las diferentes tecnologías existentes en la actualidad sobre producción de hidrocarburos en el mar primeramente es necesario comprender cuál es el lugar de la producción dentro de la cadena de valor del petróleo y el gas natural, como se puede ver en la (Fig.4). De este modo podremos entender como estos grandes desarrollo son parte de un eslabón dentro de esta gran industria.

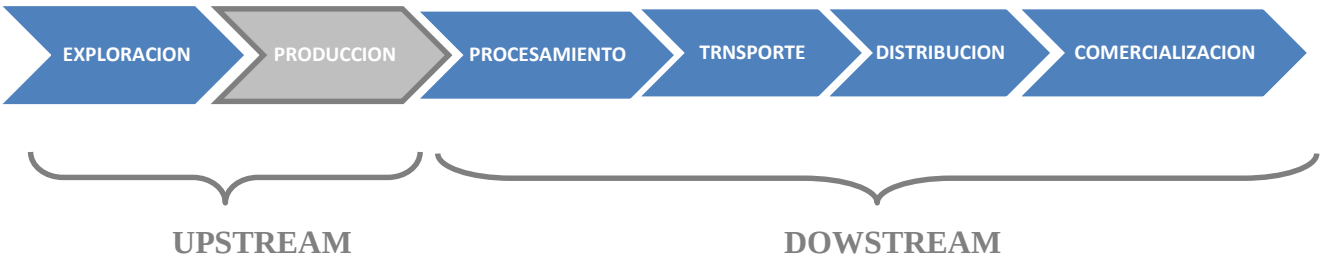


Figura 4: Cadena del valor

Dentro de la cadena de valor, lo que se denomina UPSTREAM, está compuesto por la exploración y la producción [5]. Es importante conocer los tiempos estimados y necesarios para cada etapa en estos grandes desafíos, como se puede ver en la (Fig.5) [6]. Para llegar al momento de la construcción/explotación es necesario invertir mucho tiempo y dinero hasta

tomar la decisión de concretar el desarrollo, luego otro tiempo estimado de producción, y finalmente abandonar el mismo y restituir/restaurar el medio ambiente.

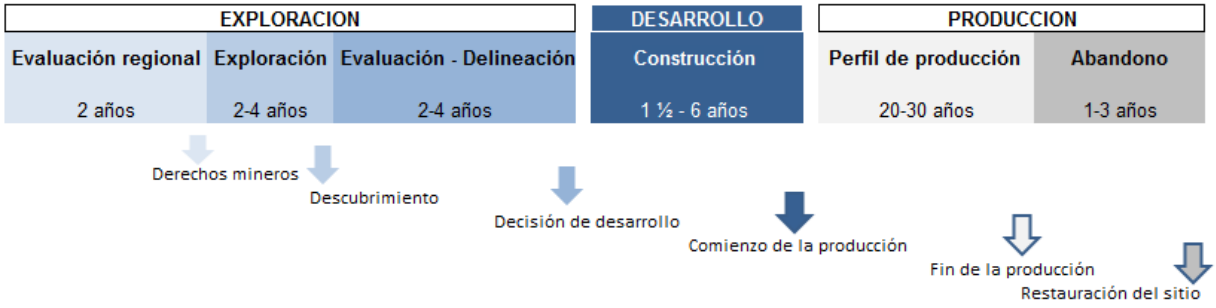


Figura 5: Estimación de tiempo de un desarrollo Offshore.

Mercado Mundial de la Construcción Offshore

El mercado de construcción offshore movió aproximadamente 60.000 millones de dólares en 2013, en el 2014 unos 65.000 millones de dólares esto significa un aumento de un ~7%. El mercado está constituido por 3 segmentos: el mercado de construcción offshore en sí, que representa que el 62% del mercado global; el equipamiento submarino 32% y los servicios asociados con el leasing de plataformas 6%.

Todos los segmentos que conforman el mercado crecieron en 2013, pero el segmento de equipamiento submarino obtuvo el mayor crecimiento 20%, igual que en 2012. El mercado de construcción offshore se estancó con un 2% de crecimiento, mientras que el mercado de servicios de plataforma flotante creció un 5%. Por lo que se refiere a 2015, el fuerte crecimiento que consiguió el mercado submarino crecimiento anual del 20% en 2012 y 2013 debería alcanzar un Pleateau como resultado de un número de proyectos que fueron pospuestos [7].

El 70% de la facturación mundial total es generada por 10 compañías como se detalla en el (Cuadro 1), las cuales están principalmente involucradas con la construcción offshore, las misma son Saipem es la compañía líder en este campo, seguida por Subsea 7, luego están otras tres compañías SBM Offshore, Technip y FMC que tienen el 8% cada una.

En el sector de equipamiento submarino, FMC es la compañía líder, seguida por Aker Solutions, Technip y Cameron. En el sector de servicios de plataforma flotante, SBM Offshore va a la cabeza.

	Año 2013	
	Porcentaje de participación	Porcentaje acumulado
Saipem SPA	12%	12%
Subsea 7 SA	11%	23%
SBM Offshore	8%	31%
Technip	8%	39%
FMC	8%	47%
KBR	6%	53%
Aker Solutions	5%	58%
Mc Dermott	4%	62%
Kveerner	4%	66%
Cameron	3%	69%

Cuadro 1: Detalle de companies (Fuente: IFPEN, Spears & Associates) [7]

Para poder profundizar el detalle de la batimetría general, es necesario relevar con mucha precisión la información del lecho marino y las profundidades para tal fin. La geofísica con los métodos tradicionales del onshore es básica y determinante, sólo varía los elementos utilizados en el caso del mar.

Un barco como, por ejemplo los perfiladores usan normalmente cerámicas como fuentes impulsoras del sonido, y recogen la señal, bien mediante la misma cerámica, o bien con otro medio como hidrófonos [8]

Técnicas de Exploración Offshore de relevamiento son:

- Magnético
- Gravimétrico
- Sísmico de los cuales tenemos : 2D, 3D y 4D

Evaluación del Lecho Marino

- Batimetría
- Sísmica Somera
- Suelo

Luego de tener esta información y con los datos precisos de ubicación y la información del reservorio ya determinado por los pozos exploratorios se pasa a la siguiente etapa, decisión de producirlo este recurso natural descubierto, como se vio en la (Fig.5).

Para producir un yacimiento Offshore, luego de tener determinados el tipo de hidrocarburo y la ubicación, son necesario conocer dos aspectos básicos:

- Las variables físicas a tener en cuenta para el diseño y montaje.
- La tipología de producción Offshore.

Variables físicas a tener en cuenta

La meteorología y parámetros oceanográficos locales resultan determinantes en cuanto a la selección de un tipo particular de diseño de plataforma y sus condiciones operativas. Los valores de diseño para los diferentes equipos deberán ser seleccionados luego de considerar todos aquellos requerimientos y factores relevantes de operación para el tipo de plataforma seleccionada.

Mientras que parámetros meteorológicos extremos y anormales serán requeridos para poder definir escenarios de diseño, evaluaciones de downtime y workability serán llevadas a cabo en función de datos estadísticos y pronósticos a mediano y largo plazo. Las condiciones meteorológicas y oceanográficas normales establecerán cuándo determinadas acciones operativas podrán ser llevadas a cabo de manera segura y, a su vez, permitirán realizar el planeamiento de acciones constructivas (transporte, mantenimiento, instalación, entre otras) o de campo (drilling, producción, offloading, entre otras) a corto plazo.

Los principales parámetros a tener en cuenta son:

- Altura
- Periodo

- Vientos
- Marea
- Corrientes

Estudios de Vientos y Corrientes Marinas Prevalecientes

- Olas: es la fuerza más importante a tener en cuenta.

Es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros del oleaje [9]:

- Altura o Amplitud: se mide en metros
  - Altura significante
  - Altura significante debida a la mar de fondo.
  - Altura significante debida a la mar de viento
  - Altura máxima.
- Periodo o Frecuencia: se mide en metros
  - Periodo medio.
  - Periodo medio de la mar de fondo
  - Periodo medio de la mar de viento.
  - Periodo de pico
- Dirección: se mide en grados
  - Dirección media.
  - Dirección media del mar de fondo
  - Dirección media del mar de viento
  - Dirección asociada al periodo pico

Alturas significativas de oleaje, período y dirección.

La fatiga supone un modo de fallo (ruptura) del material ante cargas dinámicas cíclicas. La causa predominante de este tipo de estrés en la plataforma offshore será el oleaje, por lo que resulta crítico contar con un análisis detallado para evitar la selección de tipo de estructura y materiales incorrectos.

Para algunos tipos de estructura, el estrés cíclico debido al fenómeno de vibración de vórtice inducido (VIV) para vientos y oleaje también debe ser considerado. El oleaje debe ser considerado para el tipo de estructura en consideración, en condiciones extremas, anormales y normales. Procedimientos y herramientas para el análisis de parámetros en relación a tipo de oleaje deben ser acordes con las normas ISO 19902 para estructuras fijas de acero, ISO 19903 para estructuras fijas de concreto, ISO 19904-1 para estructuras flotantes (monocasco, semi-sumergibles y spars), API 2T para plataformas de tipo tension leg, ISO 19905-1 en cuanto a jack-ups, ISO 19906 para estructuras en zona ártica y ISO 19901-3 para estructuras de topside [10].

La consideración de datos históricos y monitoreo de condiciones climáticas de la zona de interés permitirán no solo comprender el comportamiento meteorológico y oceanográfico, sino predecir mediante análisis estadísticos diferentes escenarios que podrían comprometer la operación de la plataforma de no ser considerados en la etapa de diseño.

Resulta imprescindible conocer aquellos parámetros que permitan realizar un acercamiento sistemático al estudio del comportamiento local del clima, pudiendo determinar cómo abordar la tarea. No debe descuidarse cualquier otro aspecto que pudiera comprometer la operación, generando escenarios que cayeran fuera de las bases de diseño del proyecto. Según prácticas recomendadas por ANSI/API [10], se debe contar con una base de datos que contenga información sobre los siguientes factores:

- Velocidad
- Longitud

Valores de velocidad y direcciones de movimiento a diferentes profundidades a través de la columna de agua.

El perfil de velocidades en función de la profundidad dependerá exclusivamente de factores locales oceanográficos.

Velocidad del viento y dirección.

El viento actuará directamente sobre aquella porción de estructura que se encuentre por encima del nivel del mar. Tendrá impacto sobre equipamiento, habitaciones, antorcha, torre de perforación y toda aquella estructura que se encuentre en el deck o topside. Condiciones extremas, anormales y normales en cuanto a velocidad y dirección del viento deben ser tenidas en consideración para el tipo de estructura considerada y la respuesta natural de la misma. Procedimientos y herramientas para la determinación del análisis de parámetros en relación al viento para diferentes tipos de plataforma deben ser acordes a las normas ISO 19902 para plataformas fijas de acero, ISO 19903 para plataformas fijas de concreto y ISO 19904-1 para estructuras flotantes (monocasco, semi-sumergibles y spars). Para plataformas de tipo TLP (tension leng) se debe consultar la norma API 2T, ISO 19905-1 en cuanto a estructuras de tipo jackups, ISO 19906 para estructuras en zona ártica y ISO 19901-3 para estructuras de deck o topside.

Frecuencia de tormentas severas y su intensidad.

Es importante caracterizar la frecuencia y severidad de tormentas en cuanto al tipo o causa. Por ejemplo: por fenómenos climáticos cíclicos o de estación, monzones o tifones. Podría ser necesario determinar condiciones operativas límite para una plataforma específica durante un tipo particular de tormenta o temporada.

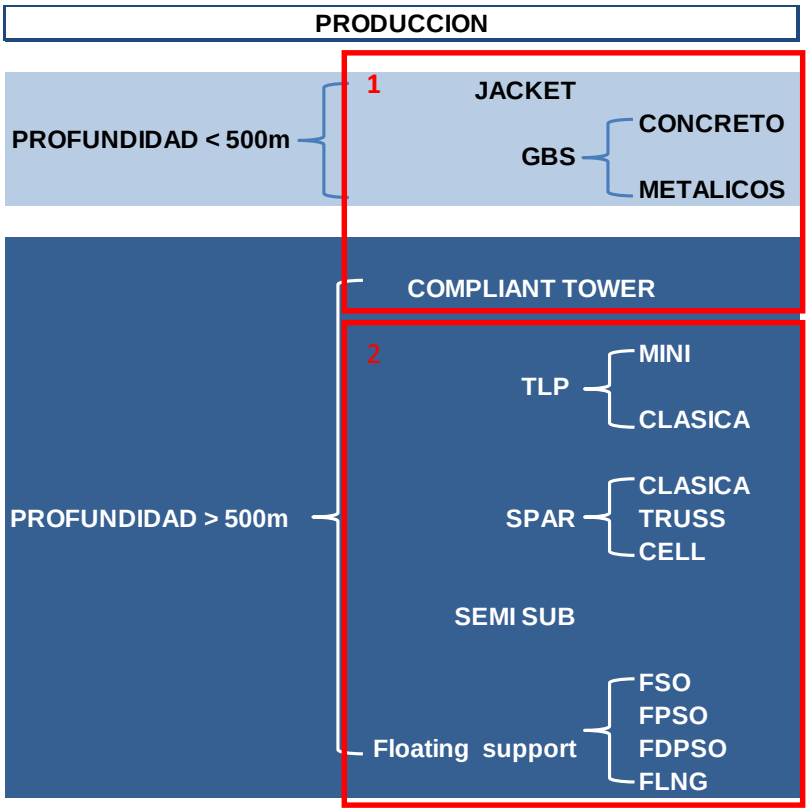
Profundidades

El tipo de estructura considerada estará condicionada en cuanto a la profundidad de la operación. El rango de profundidades del sitio será determinante en cuanto al diseño de la plataforma, pero también afectará numerosos parámetros incluyendo fuerzas de amarre para estructuras flotantes (tensadas o verticalmente amarradas) o la longitud o del riser, entre otros.

Otros parámetros relevantes como: salinidad, temperatura del aire y del agua, precipitaciones, humedad, niebla, niveles de oxígeno en agua, crecimiento de vida marina.

Diferentes tecnologías existentes

En función de las profundidades se utilizan diferentes sistemas de extracción del hidrocarburo desde una plataforma apoyada hasta un barco de producción, en el (Cuadro 2) se puede ver las diferentes tipos que se utilizan en el mundo.



Cuadro 2: Producción offshore.

Rectángulo 1- Plataforma apoyadas. Rectángulo 2 – Plataforma flotantes

Tecnología de producción en el mar

En una forma sintética en la (Fig.6) se específica de cada sistema de extracción del hidrocarburo desde una plataforma apoyada hasta un barco de producción (Floating Production Storage & Offloading).

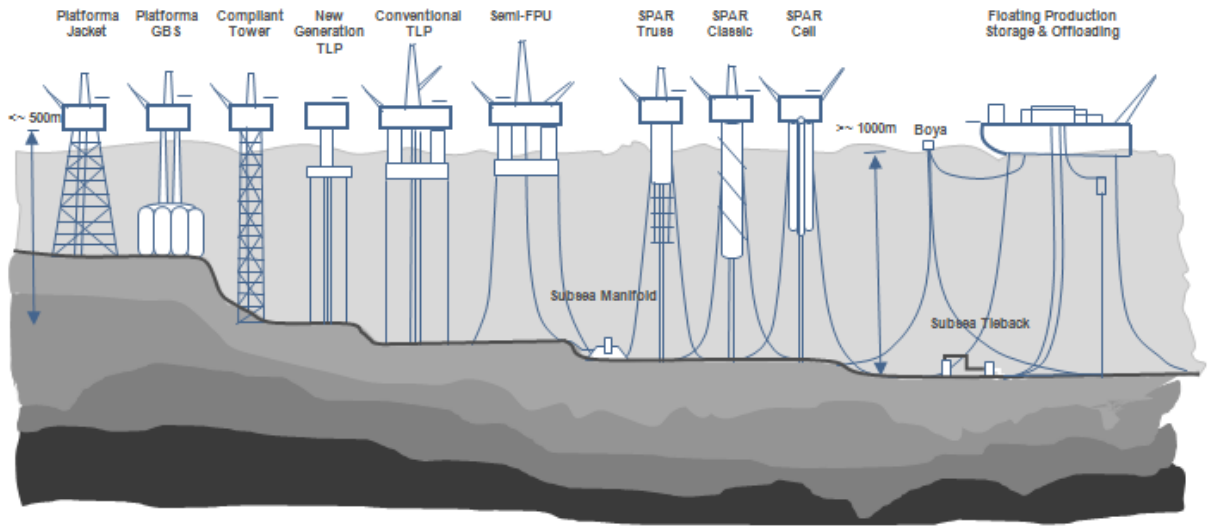


Figura 6: Diferentes tecnologías utilizadas en el mar.

Primer Grupo Plataforma apoyadas

Componentes básicos de una Plataforma Apoyada

- Jacket
  - Patas que sostienen el Topside o Deck
  - Riser Transporte y control de los hidrocarburos

- Topside o Deck
  - Planta de proceso
  - Rig de Perforación y workover
  - Sistema Marino
  - Equipamiento de seguridad
  - Cuartos

Plataforma Apoyada (Fixed Platform)

En la (Fig.7) detallamos un esquema básico de producción de hidrocarburo en aguas someras. En función del tipo de hidrocarburo es el proceso de acondicionamiento del mismo para su transporte, todo eso se realiza en lo que se denomina Deck o Topside.

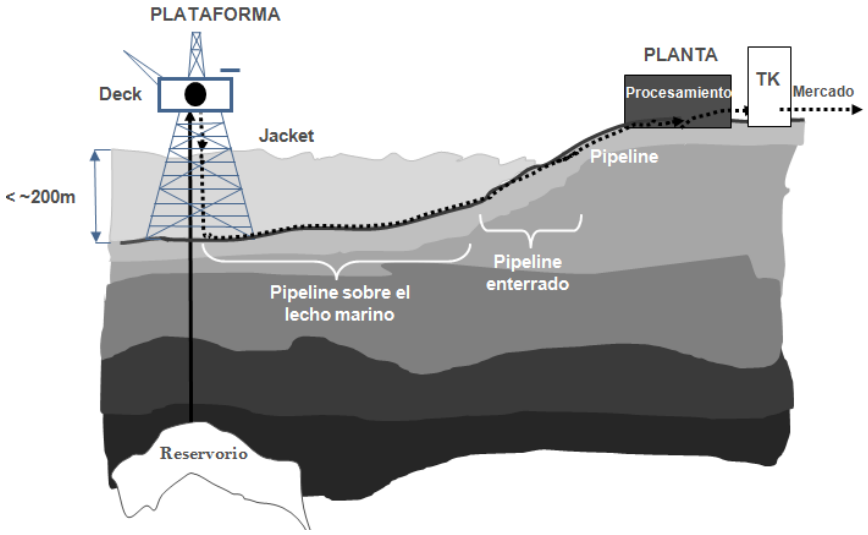
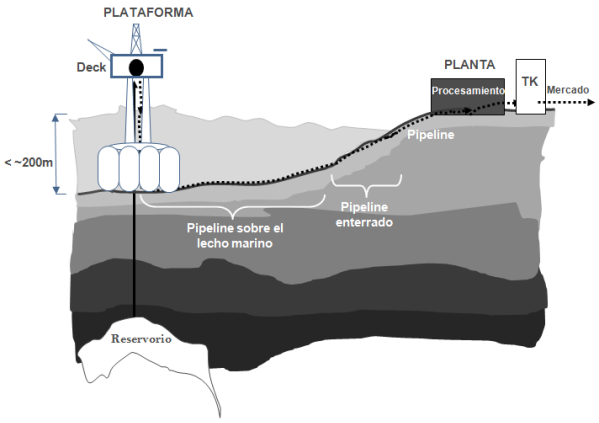


Figura 7: Esquema básico de plataforma apoyada

Plataforma Apoyada. GBS (Grabity Based Structure)

Este tipo de plataforma son utilizadas generalmente en condiciones de suelo específicas, en la (Fig.8) representamos el básico de producción, se puede observar en la (Fig.9) como el esquema es parte un total de varias plataformas unidas y que envían la producción a la costa, estos sistemas son generalmente usados en el mar del norte.



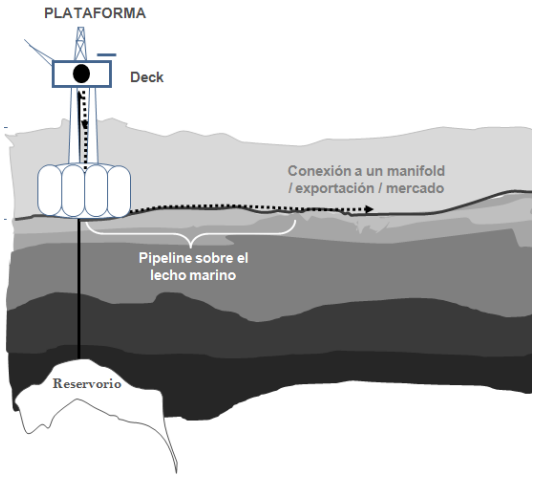


Figura 8: Esquema básico [12] **Figura 9: Parte de un sistema de varias unidades**

Complaint Tower

Este tipo de plataformas apoyadas fueron diseñadas para soportar grandes deformaciones y esfuerzos laterales en profundidades significativas [13]. En la (Fig.10) podemos ver una síntesis

de la conformación de esta gran estructura. Como así en el cuadro 3 algunos ejemplos desarrollados, la gran mayoría se encuentran en el Golfo de Méjico (GOM).

Profundidad (m)	Empresa	Nombre	Lugar	Año
531	Chevron	Petronius	GOM	1993
502	Hess	Baldate	GOM	1998
366	Chevron	Tombua Landana	GOM	2009

Cuadro 3: Ejemplos de Complaint Tower

Record Mundial: Primera Compliant Tower: Baldpate

Plataforma más profunda de Compliant Tower: Petronius [14]

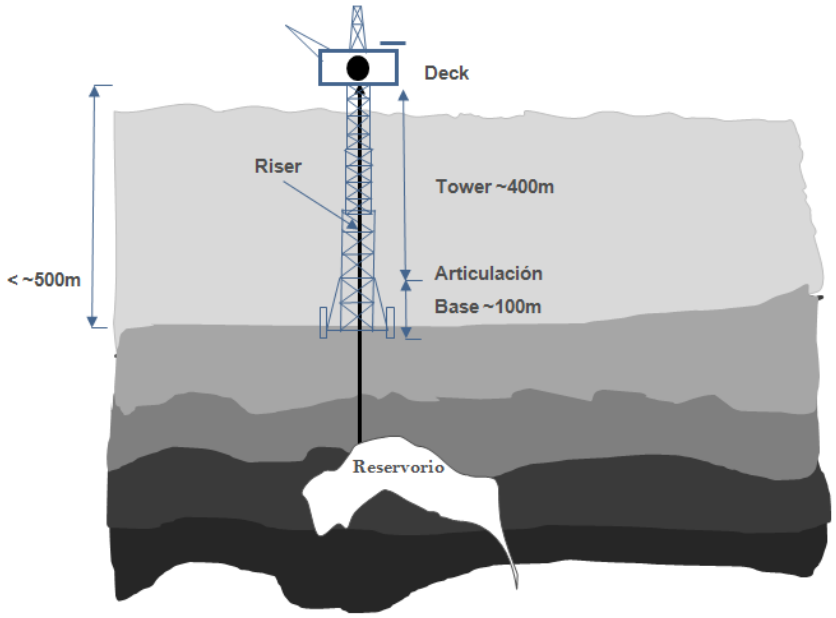


Figura 10: Tower Compliant partes que la componen

Segundo Grupo Plataforma Flotante

Componentes básicos de una Plataforma Flotante

- Topside o Deck
  - Planta de proceso
  - Rig de Perforación y workover
  - Sistema Marino
  - Equipamiento de seguridad

- Cuartos
- Casco
- Flotabilidad para cargar el Topside, el sistema de amarre y los riser.
- Estabilidad para evitar volcamiento.
- Movimiento que son realizado por la perforación y el procesamiento de hidrocarburo.
- Protección del riser
- Amarradero (lugar donde se amarra o fija la embarcación)
- Lugar de mantenimiento
- Riser
- Transporte y control de los hidrocarburos

TLP (Tension Leg Platform)

Se denominan así a las estructuras flotantes que son sostenidos por cables que se denominan tendones los cuales son fijados al fondo, mantienen la estructura hacia el fondo y ellos proveen la mayor parte de la estabilidad de la plataforma limitando movimientos rotacionales aunque puede sufrir de vibraciones inducidas por vórtice (VIV) en elevaciones y amarres. Si bien prácticamente no se generan movimientos verticales, la plataforma tiene gran sensibilidad a la capacidad de carga útil, topside o deck y risers. En la (Fig.11) y (Fig.12) se pueden ver las dos de las configuraciones existentes.

Primer TLP – Hutton (Brown & Root)
Primer New Generation Wet Tree TLP – Morpeth (SBM Atlantia SeaStar)
Primer New Generation Dry Tree TLP – Prince (WorleyParsons Sea/MODEC)
Mas profundo del mundo TLP – Big Foot (5,187 ft. /1,581 m) (FloaTEC)

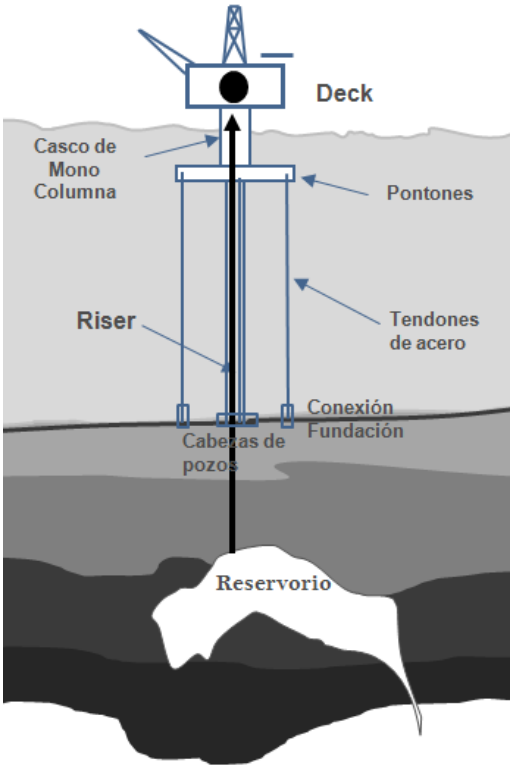


Figura 11: Nueva generación [15]

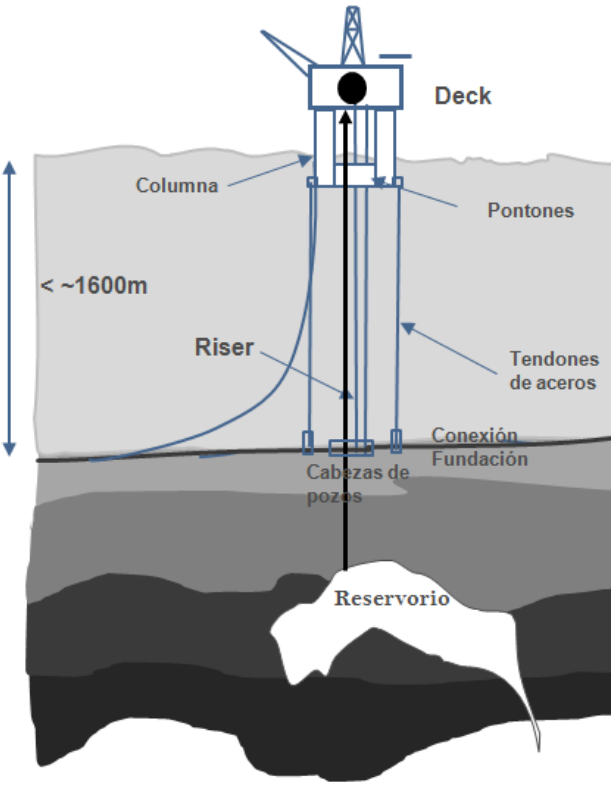


Figura 12: Convencionales [16]

Semi-FPO (FPS/FPSU)

Son grandes estructuras flotantes que son aptas para ultra deepwater ver (Fig. 13). Las mismas tienen un topside o deck que está sostenido por columnas y pontones para soportar los esfuerzos de las olas. Pueden tener posicionamiento dinámico pero generalmente son anclados, para lo aula se usan líneas de amarre. Tienen un sistema de riser de catenaria de acero SCR. Este tipo de plataforma no resulta adecuada para medioambientes difíciles o condiciones hostiles de medio ambiente. Generalmente no soportan facilidades de workover. Para perforación y workover es necesario una embarcación separada. Tiene gran movilidad, pudiendo transportar de un lugar a otro. Sin almacenamiento. Se puede usar como para de un sistema exportando a un FPSO. En el (Cuadro 4) se pueden ver algunos ejemplos en el mundo.

Profundidad (m)	Empresa	Nombre	Lugar	Año
1189	Shell	Gumusut Kakap	GOM	2012
1931	BP	Na Kika	GOM	2003
2222	Shell	Appomattox	GOM	2017
2414	Anadarko	Independence Hub	GOM	2007

Cuadro 4: Ejemplos de Semi- FPO. FPS/FPSU

Record Mundial: Primer Semi-FPU - Argyll (Converted MODU)

Primer Wet Tree DDS - P-51 (Aker DDS)

Primer Dry Tree DDS - Cheviot (Moss Octabuoy)

Mas profundo del mundo Semi-FPU and FPS - Independence Hub (SBM Atlantia DDS)

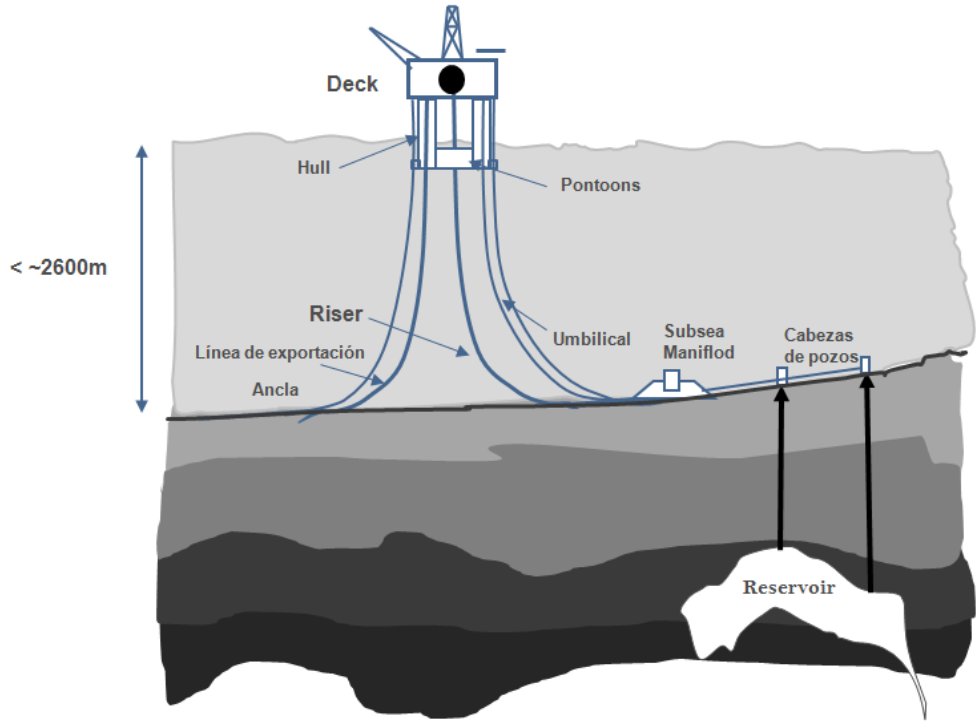


Figura 13: Sistema básico

Spar Clásico

Es una plataforma cuya forma de sustentación fue un gran avance de la ingeniería en el mundo, es un cilindro flotante de grandes dimensiones y peso, del cual se amarra como se puede ver en la (Fig.14). Es un casco cilíndrico que debido a su longitud entre otras variables permite

permanecer en forma vertical, el cual tiene lastre situado generalmente en la parte inferior del mismo. Este gran descubrimiento permitió avanzar sobre aguas profundas en el golfo de Méjico. El primero fue instalado en 1996 y diseñado por Kerr McGee. En el (Cuadro 5) se detallan ejemplos, allí podemos ver como se fueron conquistando nuevos desafíos a medidas que los años pasaban.

Profundidad (m)	Empresa	Nombre	Lugar	Año
588	Anarko	Neptuno	GOM	1997
792	Chevron	Genessis	GOM	1999
1311	Hess	Tubular Bells	GOM	2014
1463	Exxon Mobil	Hoover / Diza	GOM	2000

Cuadro 5: Ejemplo de Spar clásicas

Primer Spar - Neptune (Deep Oil Technology Classic Spar)

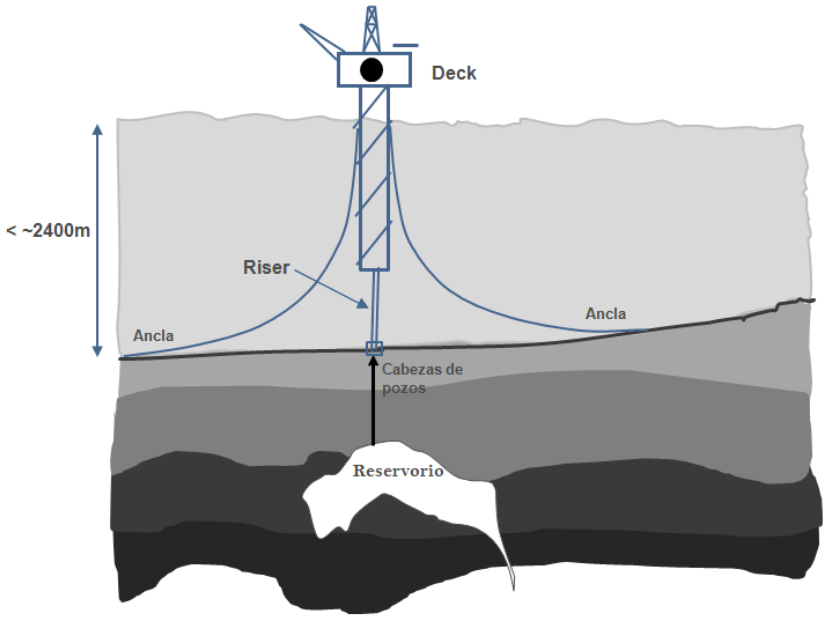


Figura 14: Síntesis del sistema

Spar Truss

- La diferencia con el Spar clásico, básicamente es el avance en la ingeniería como así reducir los costos de materiales y mano de obra, ya que se redujo la cantidad de acero, como se puede ver en forma sintética en la (Fig.15). Esa conformación en x de la parte inmediata superior a

los tanques inferiores de lastre, permitió reducir la oscilación vertical a profundidades intermedias. En el (Cuadro 6) podemos observar cómo fue avanzando en la conquista del mar.

Profundidad (m)	Empresa	Nombre	Lugar	Año
960	Anadarko	Gunnison	GOM	2003
2383	Shell	Perdido	GOM	2010

Cuadro 6: Ejemplo de Spar Truss

Primer Truss Spar - Nansen (Technip)
Primer Drilling/Production Spar - Genesis (Technip)
Mas profundo del mundo Spar - Perdido (Technip)

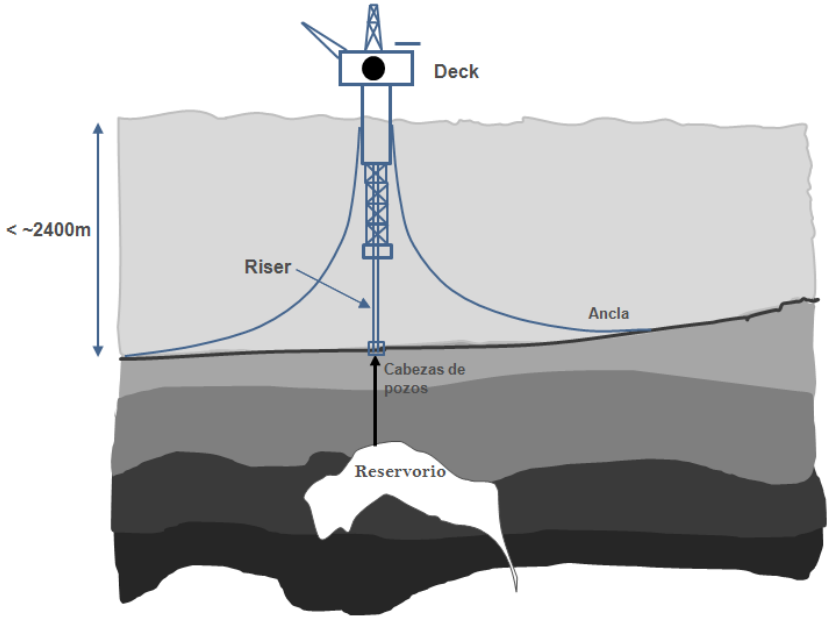


Figura 15: Esquema sintético de conformación

Spar Cell

- El último sistema inventado de este tipo hasta el momento es el denominado cell, que consta de un cilindro central rodeado por pequeños cilindros. En la parte inferior también un tanque de lastre pesado similar al truss. Este sistema no se utiliza mas desde el 2014 por un tema de seguridad, fue la primera plataforma de esa profundidad que se dio de baja en el (Cuadro 7) esta los detalles. En la (Fig.16) un esquema básico de la misma.

Profundidad (m)	Empresa	Nombre	Lugar	Año
1616	Anadarko	Red Hawk	GOM	2004

Cuadro 7: Spar Cell

Primer Cell Spar - Red Hawk (Technip)

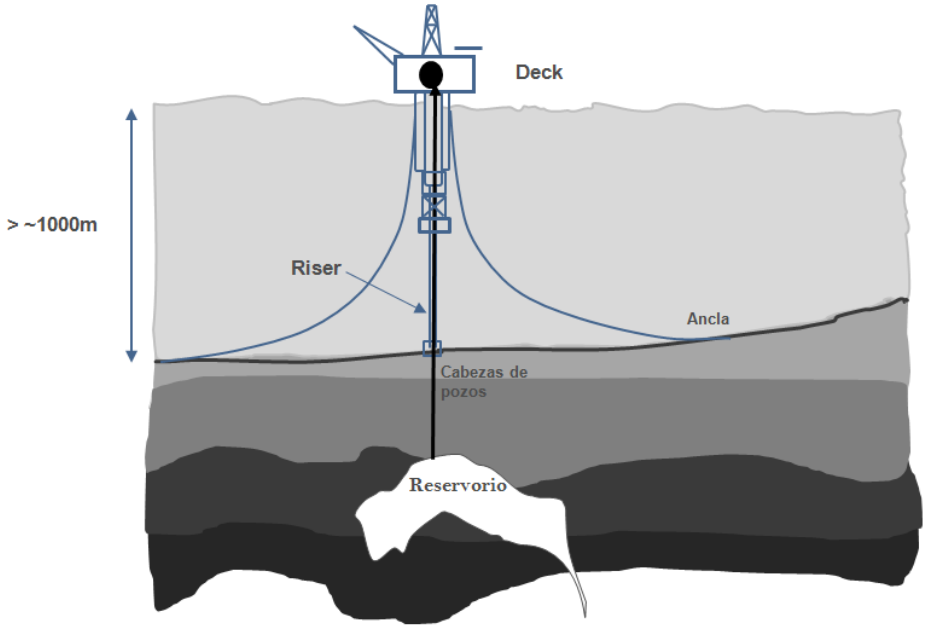


Figura 16: Esquema

FPSO

De las siglas en ingles que significan Floating Production Storage and Offloading. Es un embarcación flotante en donde se recibe el hidrocarburo y no se envía a la costa para su procesamiento, toda esa procesamiento se realiza en el mismo barco hasta su almacenamiento. Luego de esto se realiza su venta a través de una boya cargando a un buque tanque, es importante recalcar que es solo el petróleo de esta mezcla multifásica se comercializa, en el caso de gas se utiliza como generación o gas lift o se inyecta y en el caso del agua para realizar recuperación secundaria, realizando wáter inyección o se la trata y se la devuelve al mar en condiciones ecológicamente sustentable. Básicamente es una planta de procesamiento de petróleo en el medio del mar y es parte de un desarrollo completo de pozos submarinos y la

forma de llevar este hidrocarburo a la superficie del mar. En la (Fig. 17) se puede visualizar el sistema completo para un tipo de FPSO el cual es de carga lateral y un riser tower y en el (Cuadro 8) algunos ejemplos en el mundo y las profundidades conquistados.

Es muy importante resaltar que en el caso del Gas Natural todavía no existe un proyecto en construcción para licuefaccionar el gas en el mar. En este momento se está desarrollando el proyecto Prelude en Australia que será el primero de este tipo en el mundo, licuefacción de gas en el medio del mar, posterior almacenamiento y venta.

Profundidad (m)	Empresa	Nombre	Lugar	Año
1400	Total	Girassol	Angola	2001
2120	Petrobras	Ciudad de Paraty	Brasil	2013
2500	Petrobras	Dynamic Producer	Brasil	2011
2600	Petrobras	BW Pioner	GOM	2012
2896	Shell	Turitella	GOM	2016

Cuadro 8: Ejemplos en el mundo

Primer FPSO - Castellon (1977)

El más profundo FPSO - BW Pioneer (BW Offshore)

El proyecto mas profundo en proceso FPSO - Turitella (SBM)

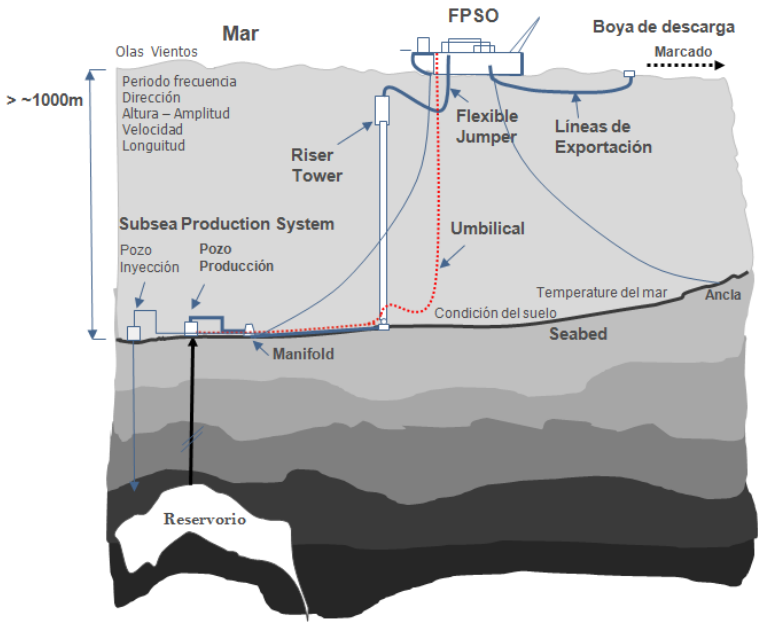
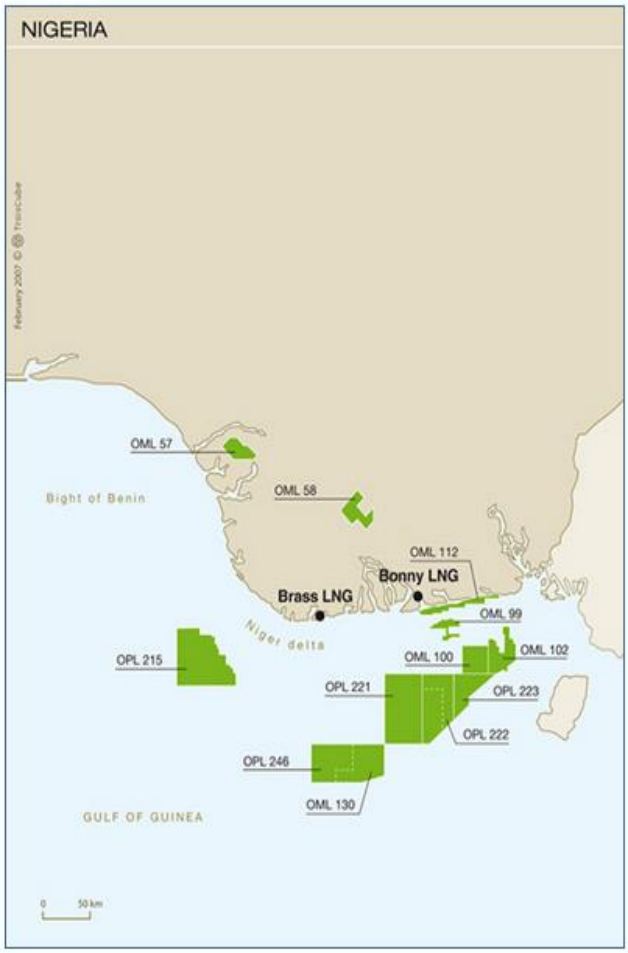


Figura 17: Síntesis de un sistema de FPSO lateral y algunas de las variables que se tiene en cuenta.

Estos desarrollos son los más grandes en el mundo de los hidrocarburos y en zonas inhóspitas como es el mar, allí todo está sometido a diferentes condiciones y esfuerzos cada eslabón de esta gran cadena. Existen diferentes alternativas como por ejemplo el proyecto de AKPO en cual detallaremos a modo de ejemplo de esta gran complejidad, donde todo se utiliza y el gas es enviado a la costa para luego se licuefaccionado en el onshore y posterior venta.



AKPO

Offloading buoy
Dual 16" offloading lines

Floating Production, Storage and Offloading Unit
Dimensión del Casco: 310mx61mx31m
Almacenamiento (storage): 2 millones de barriles
Procesamiento: 185.000 barriles /día
Water injection: 420.000
Tratamiento de agua: 150.000 barriles /día
Procesamiento de Gas: 15 MMSCFD standard cubic meter per day
Exportación de Gas: 9.6 MMSCFD standard cubic meter per day
Gas Injection: 6.1 MMSCFD standard cubic meter per day
Habitaciones y facilidades para: 220 personas

Umbilical and flowline
69 km de línea de producción de 10" en 4 loop
32 km de líneas de 10" de water inyección
8 km de líneas de 8" de gas inyección
150 km de líneas de 16" de exportación de Gas desde AKPO a AMENAM/KPONO y desde allí a la planta LNG de Bonny
8 umbilicales a los pozos submarinos y al manifold

Subsea Production System
44 pozos con Christmas Trees

- 22 productores de petróleo
- 20 de water injection

- 2 de gas injection

Pozos

Completamiento inteligente

Pozos de direccional y horizontales (ERD- Extended reach drilling)

El control de la arena con pantallas independientes, pantallas expandibles y Frac -Packs

Records Mundiales [17]

Profundidad

- Shallow (poca profundidad) desde 0 a 300m
- Deepwater desde 300 a 1500m
- Ultradeep desde 1500 a 3000m

Oil Subsea Tieback

Short (corta) desde 0 a 8km

Convencional desde 8 a 16km

Long distancia (distancia larga) desde 16 a 161 km

Record

- Longitud 9.6 km y profundidad 2.934 m. Shell Proyecto Tobago GOM.
- Longitud 69,8 km y profundidad de 175 m. Shell Penguin A-E

Gas Subsea Tieback

Short (corta) desde 0 a 16km

Convencional desde 16 a 48km

Long distancia (distancia larga) desde 48 a 161 km

Record

- Longitud 9.6 km y profundidad 2.934 m. Shell Proyecto Tobago GOM
- Longitud 149.7 km y profundidad de 1.660m. Noble Energy Proyecto Tamar.

Record mundiales

Perforación 3.174m. Rig Dhirubhai Deepwater KG1. Operador ONGC

Subsea Tree 2.934m. US GOM, Tobago. Operador Shell

Hoy FPSO 2500m. BW Pioneer (cascade/Chinook). Operador Petrobras

En proceso FPSO 2895.5m. US GOM. Stones Field. SBM Offshore Turritella. Operador Shell.

Conclusiones

Las cuencas Pelotas y la cuenca Oriental del Plata son consideradas áreas de frontera y de alto riesgo exploratorio, pero últimos estudios han generado nuevas expectativas en cuanto a su potencialidad de acumulaciones de hidrocarburos, lo cual es estimulante para estudiar estas desarrollos de producción a diferentes profundidades.

Este trabajo ayudara como punto de partida para conocer y luego encontrar el break even en función del descubrimiento de hidrocarburos, su forma de producirlos, como así determinar la mayor sensibilidad vinculada a estos desarrollos.

Aspectos óptimos

- El régimen impositivo, entendemos que Uruguay presenta excelentes oportunidades para la industria. El Impuesto al Patrimonio; los impuestos al consumo -tales como el Impuesto al Valor Agregado (IVA) y el Impuesto Específico al Consumo (IMESI); y los impuestos aduaneros están exonerados por la Ley de Hidrocarburos. Asimismo, el Impuesto a la Renta puede ser exonerado parcial o totalmente en el marco del Régimen de Promoción de Inversiones.
- El reclamo realizado a la CONVEMAR, que es la Convención de las Naciones Unidas Sobre el Derecho del Mar, en su artículo N° 76, establece las dos fórmulas que un Estado ribereño puede aplicar para determinar el límite de su plataforma continental, y las dos restricciones convenidas para la aplicación de esas fórmulas. Corresponde al país que está desarrollando el trabajo elegir, para cada zona, la fórmula y la restricción que le permitan lograr una proyección mas extendida de su plataforma continental como se puede ver en la (Fig.18).

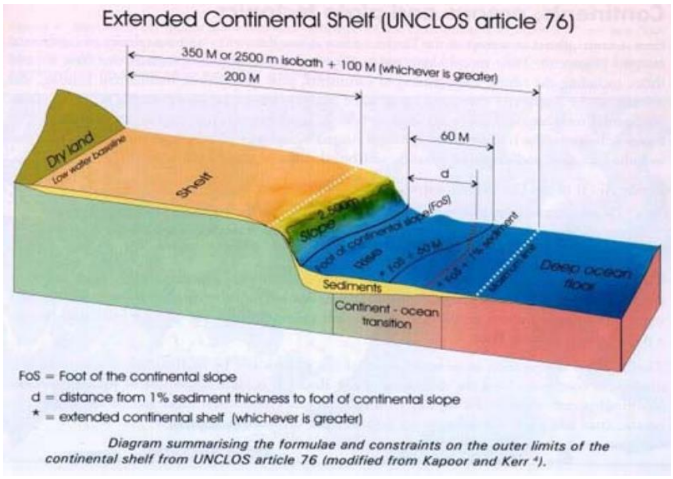


Figura 18: Detalle de lo presentado por Uruguay [11]

Bibliografía

[1]http://www.parlamento.gub.uy/sesiones/AccesoSesiones.asp?Url=/sesiones/diarios/comision/html/20150210c0009.htm.

[2] Estado actual de los hidrocarburos y otros recursos energéticos en Uruguay. Por Héctor de Santa Ana; Bruno Conti; Santiago Ferr; Pablo Gristo; Josefina Marmisolle; Ethel Morales; Pablo Rodríguez; Matías Soto y Juan Tomasini ANCAP, Gerencia de Exploración y Producción. Petrotecnia - Abril, 2010.

[3] http://www.rondauruguay.gub.uy/Home/NOTICIAS/NOTAPRINCIPAL.aspx . Revisado el 27 de Agosto 2015.

[4] Desafíos de la exploración de hidrocarburos en Uruguay – un enfoque multidisciplinario. Ing. Santiago Ferro. Jefe de Administración y contratos de Exploración y Producción. ANCAP. AIQU CIIQ 2012. V Encuentro Regional. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Química.

[5] http://www.ifptraining.com/in-house-training.html. (revisado 10 Agosto 2015)

[6] http://www.cairnenergy.com/index.asp?pageid=554 (revisado 8 Agosto 2015)

[7] Investment in exploration-production and refining 2015. G. HUREAU, S. SERBUTOVIEZ, C. SILVA with the involvement of G. MAISONNIER Economics and Information Watch and Management Division. IFP Energies nouvelles. Noviembre 2014.

[8] http://www.geomytsa.es/equipos_perfil_chirp3.html.

[9] http://www2.eve.es/web/Energias-Renovables/Energia-marina/BIMEP/LasOlas.aspx.

[10] Derivation of Metocean Design and Operating Conditions. ANSI/API RECOMMENDED PRACTICE 2MET FIRST EDITION, NOVEMBER 2014. ISO 19901-1:2005 (Modified), Petroleum and natural gas industries-Specific requirements for offshore structures-Part 1: Metocean design and operating considerations.

[11] Presentación de la República Oriental del Uruguay a la Comisión de límites de la plataforma continental. Acorde a lo establecido en el Artículo 76, párrafo 8 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho del Mar. Resumen ejecutivo 2009.

[12] http://www.npd.no/en/Publications/Reports/Disposal-of-concrete-facilities/1-Concrete-facilities-on-the-Norwegian-shelf/ . Revisado 25 de Agosto 2015.
[13] http://www.ogj.com/articles/print/volume-96/issue-19/in-this-issue/production/tallest-structure-installed-in-gulf.html Revisado 28 de Agosto 2015.
[14] http://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-58/issue-12/news/general-interest/petronius-faces-delays.html. Revisado 15 de Agosto 2015.
[15] http://www.offshore-technology.com/projects/matterhorn/
[16] http://www.shell.com/global/aboutshell/media/news-and-media-releases/2013/shell-shut-in-auger-platform-to-complete-tie-in-cardamom-field.html
[17] 2015 Deepwater Solutions & Records for Concept Selection. Going Deeper with Production Technology — May 2015. Prepared by: Chris Barton and Heather Hambling of Wood Group Mustang, E. Kurt Albaugh of Repsol E&P USA, Bob Mahlstedt of RamMark Services and David Davis of Offshore Magazine. Offshore Magazine.

Desafios profesionales en el mar

Gustavo Fabian Acosta
gacosta@itba.edu.ar
Prof. Magíster en Ingeniería en Petróleo y Gas Natural

Magdalena Martinsen Hansen, Std Ing Petróleo
magdalenam.hansen@gmail.com

Catalina Rigou, Std Ing Química
caturigou@gmail.com

ITBA Instituto Tecnológico de Buenos Aires
http://itba.edu.ar/
Av. Eduardo Madero 399, C1106ACD
Buenos Aires - Argentina

Resumen

En la actualidad y desde los últimos años, aproximadamente el 60% de la producción de petróleo proviene de desarrollos offshore, impulsando avances tecnológicos y académico-científicos para mejorar sus diferentes procesos. Este crecimiento trae aparejado operaciones más complejas, entrelazando en mayor medida a especialidades diferentes y la necesidad de acompañarlo con la formación de personas involucradas.

Los trabajos de sísmica desarrollados en el Uruguay hasta este momento no son suficientes para revelar la existencia de hidrocarburos, pero esto está avanzando muy rápidamente. En la actualidad el rango de probabilidad de descubrimiento de hidrocarburos en la plataforma marítima es bajo, pero ésta probabilidad aumenta a medida que los estudios avanzan.

Esto significará que no solo traerá aparejado la posible ampliación de los recursos energéticos, sino que también será necesario acompañar desde la formación de recursos humanos.

Para tal fin en este paper, mostraremos cuáles son los conocimientos necesarios, como así también las profesiones y especialidades involucradas en cada una de las etapas, del desarrollo, de la exploración, de la perforación, de la producción offshore y en donde la ingeniería naval tiene gran relevancia. Con este trabajo pretendemos mostrar la complejidad a la cual nos enfrentaremos.

Introducción

Pensar en el desarrollo de la industria de los hidrocarburos en cualquiera de sus etapas desde el upstream al dowtream trae como resultado una demanda profesional como así una capacitación constante. Los desarrollos de nuevos proyectos energéticos, el autoabastecimiento como meta, nuevas tecnologías y la irrupción en el mercado latinoamericano de los recursos no convencionales, llevaran a una solicitud constante de profesionales para los cuales los ambientes académicos tendrán que estar preparados para adaptarse. Es importante resaltar que cuando nos referimos a ambientes académicos no nos limitamos a nivel profesional solamente, sino a toda la estructura ya que las tecnicaturas es la base de esta pirámide de formación profesional.

Objetivo

Introducir a la diversidad de formaciones necesarias enumerándolas, algunas ya existentes y otras nuevas que Uruguay tendrá que afrontar para desarrollar las fronteras de la extracción de hidrocarburos en el mar para producirlo hasta el punto que se determine abandonarlo, en la etapa que se denomina upstream.

Desarrollo

Las tendencias a nivel mundial después de la baja del precio del petróleo tendrán una repercusión directa en la demanda de los empleos. Los especialistas de la industria pronostican por un lado que el 10% de los empleadores reducirán las plantillas, por otro lado el 60% planean reclutar nuevo personal.

Nos gustaría mostrar tres variables que son un ejemplo significativo de las predisposiciones del mercado mundial a la hora de las contrataciones [1]:

1. Porcentaje de años de experiencia en la industria
2. Porcentaje de años de experiencia en la profesión especifica
3. Áreas de mayor contratación

1. Porcentaje de años de experiencia en la industria

En el (grafico 1) se puede observar que la tendencia en los últimos años de contratación de la industria, es aumentar la proporción de personal con poca experiencia [1].

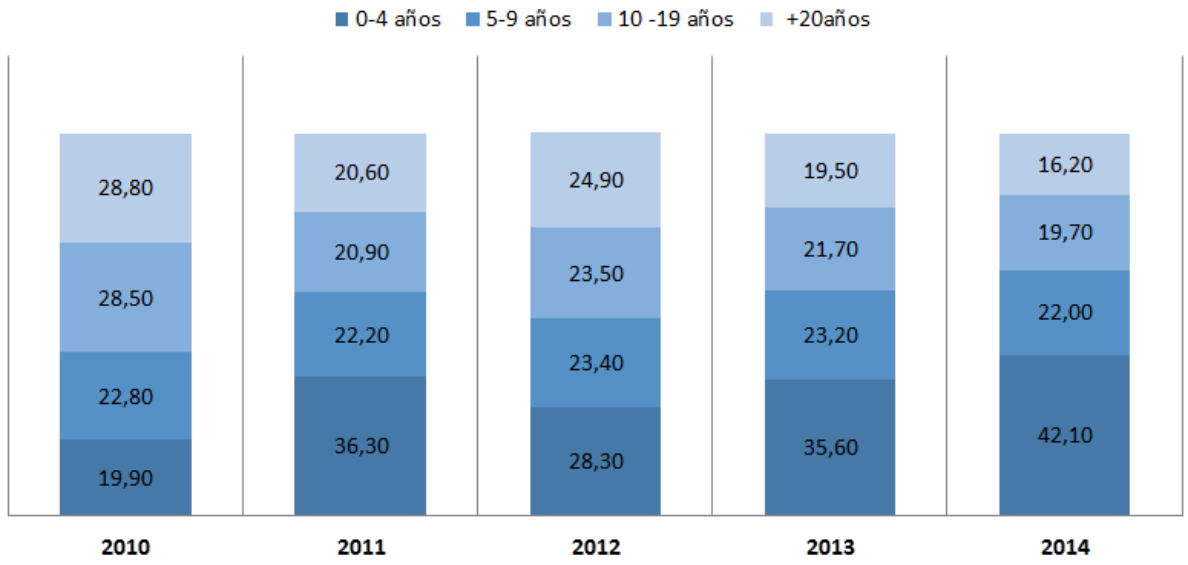


Grafico1: Tendencia de contratación

2. Porcentaje de años de experiencia en la profesión especifica

En el (grafico 2) se puede observar que la tendencia de contratación cuando se requiere una especialidad es hacia la gente que cuenta con experiencia [1].

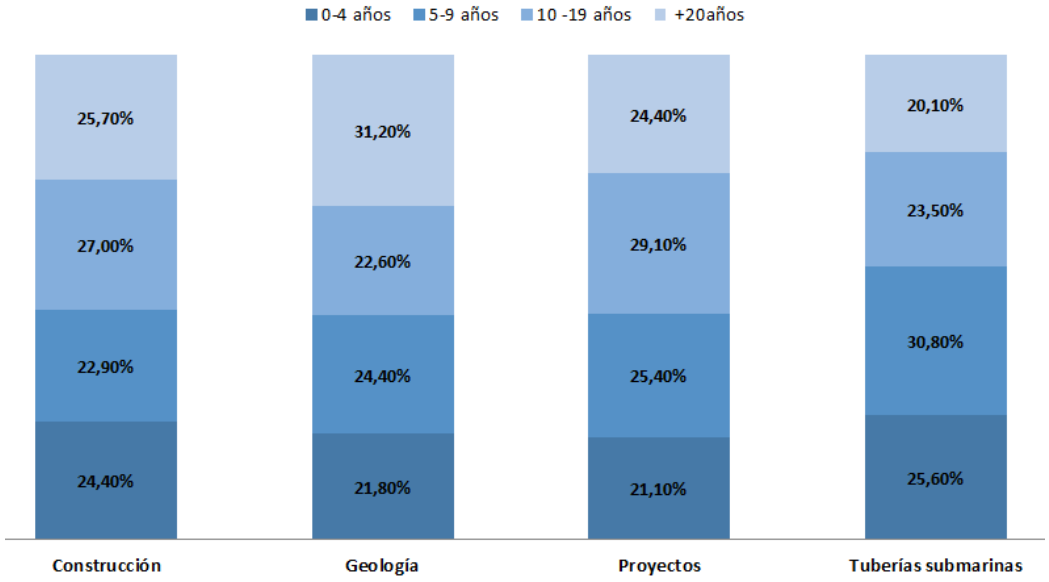


Grafico 2: Tendencias por profesiones

3. Áreas de mayor contratación

En el (grafico 3) se puede observar como la ingeniera, la construcción y la perforación son lo que avanzaron. En la construcción el desarrollo de negocios y los especialistas en piping son los que están por encima de todas las demandas [1].

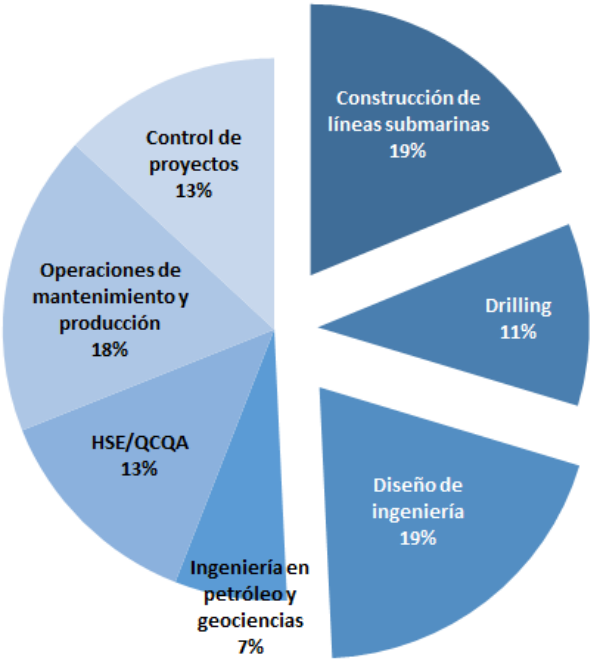


Grafico3: Tendencia de contrataciones en el 2014

Es necesario para presentar las diferentes formaciones necesarias, primeramente comprender la cadena de valor del petróleo y gas natural como se puede ver en la (Fig.1), de este modo podremos introducir y mostrar la necesidad en cada eslabón de la cadena de esta gran industria.

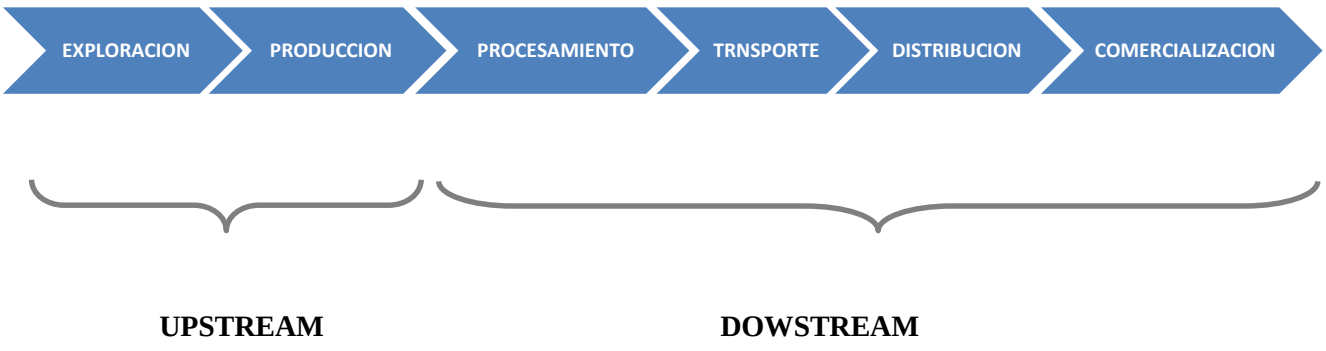


Figura 1: Cadena del valor

Dentro de la cadena de valor nos centraremos en lo que se denomina Upstream que está compuesto, como se detallo anteriormente por la exploración y la producción. Es importante conocer en forma conjunta los tiempos estimados y necesarios para cada etapa en estos grandes desafíos, como se puede ver en la (Fig.2) [2]. Para llegar al momento de la explotación es necesario invertir mucho tiempo y dinero hasta tomar la decisión de concretar el desarrollo, luego otro tiempo estimado de producción, luego abandonar el mismo y restituir/restaurar el medio ambiente [3].



Figura 2: Etapas y tiempos estimados

Detalle: Etapas

Nos centraremos en cada etapa y enumeraremos las profesiones necesarias, es importante resaltar que esta enumeración puede variar en función de cada organización y del objetivo específico.

Exploración

En esta etapa que es el comienzo de todo desarrollo y para lo cual los tiempos comprometidos son grandes ver (Fig.3), es necesario contar con profesiones de diferentes enfoques programáticos.

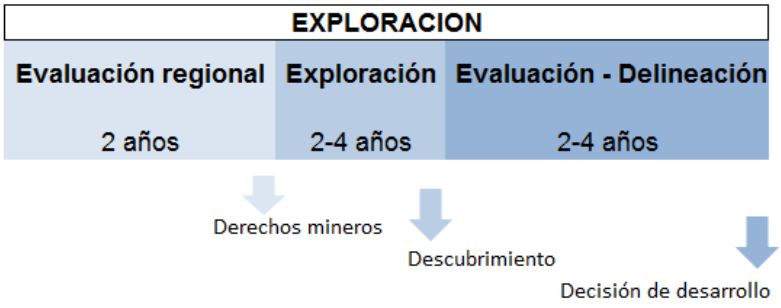


Figura3: Tiempos y etapas

Profesiones

- Desarrollador de negocios
- Economistas
- Geólogos
- Geofísicos
- Abogados
- Perforador
- Ingeniero de reservorio
- Ingeniero en Petróleo
- Ingenieros de desarrollos

Construcción

Luego de varios años de trabajo como se vio en la (Fig.1), se toma la decisión de desarrollar el yacimiento, en ese momento es cuando el enfoque profesional cambia y comienzan a interactuar profesionales con otro perfil, el cual dependerá del tipo de desarrollo y este directamente relacionado con un tiempo como se observa en la (Fig.4).

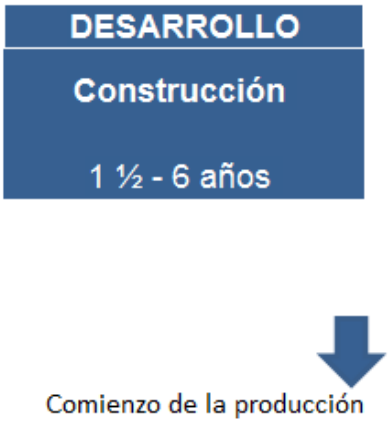


Figura 4: Tiempo

Profesiones:

Equipo de Management o Gerenciamiento

- Gerente de Proyecto
- Estimador de costo Ingeniero
- Líder de Planificación
- Controladores de Costos
- Control de proyecto
- Compras y cadena de suministro
- Interfaces
- Riesgos

Ingeniería

Conceptual, Básica y Detalle.

- Químicos (procesos)
- Electricista
- Instrumentista
- Mecánicos
- Equipos rotativos
- Piping
- Calidad (QA/QC)
- Civiles
- Pipieline
- Materiales
- Seguridad y medio ambiente (HSE)
- Logística
- Planing
- Gerente de Commissioning
- Seguridad

Offshore

- Mecánica de Fluidos
- Hidrodinámica
- Arquitectura naval / Ingeniería naval
- Geología
- Geofísica
- Hidrografía
- Mecánica Estructural
- Dinámica estructural
- Materiales
- Corrosión
- Mecánica de suelos
- Geotecnia
- Hidrodinámica sedimentaria

En los barcos de producción en el mar:

- Represente de la compañía CSR (Company Site Representative)
- Deputy CSR
- Líder de HSE seguridad industrial
- MWS (Marine Warranty Survivor)
- Soldadura
- Líder de QA/QC (calidad)
- Especialista Marino
- Especialista en posicionamiento
- Especialista en Geotech
- Especialista en movimiento cargas

Producción y Abandono

Cuando se completa la construcción y comienza la explotación de los hidrocarburos en ese momento es donde cambian la lógica de construir por la de mantener y producir, para tal fin es necesario un grupo de profesiones a fines pero con otra visión final. Los tiempos como se ven en la (Fig.5) son pronunciado.

Luego de un tiempo de explotación, el reservorio depleta y se continuará con la producción, hasta el momento donde la ecuación económica no es rentable entre producir/mantener y la venta, por lo que se abandona el desarrollo y según la reglamentación vigente del país hay que dejar el medio ambiente como se encontró, siendo necesario desmantelar todo. Otros grupos de profesiones más afines a la etapa de construcción serán los encargados de actuar.

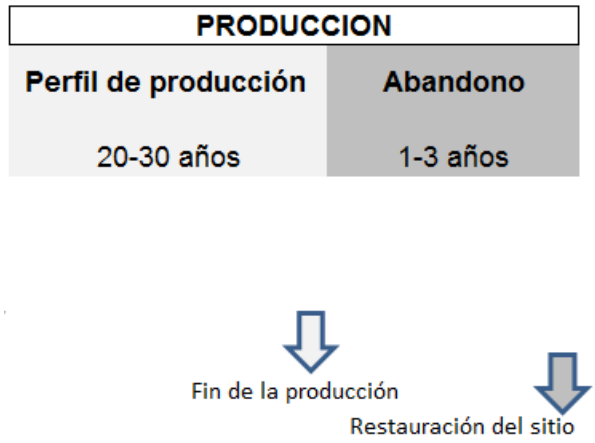


Figura 5: Tiempos de las etapas

Profesiones:

Reservorio

- Geólogos
- Geofísico
- Ingenieros en petróleo
- Petrofísicos
- Laboratoristas
- Ingeniero de reservorio
- Ingeniero en geo información
- Topografía

Producción

La etapa de producción demanda diferentes grupos de especialistas

Perforación

- Ingenieros de costos
- Ingeniero de contratos
- Ingeniería de perforación y completamiento de pozo
- Ingeniero de pozo
- Ingeniero de fluidos
- Geólogos
- HSE

Logística

- Ingeniero de métodos
- Actividades marina
- Comercio exterior
- Transporte

Compra y contratos

- Ingenieros de compras
- Ingenieros de contratos
- Ingenieros de stock
- Ingeniero de perforación
- Ingeniero de materiales generales y producción
- Equipos

Conclusiones

Este es el primer paso, conocer cuáles son las profesiones necesarias o especialidades, no la interrelación entre las mismas ni los posibles organigramas en cada etapa. El segmento de profesionales de fuerte demanda es el de ingenieros y técnicos con 5 a 15 años de experiencia en las distintas especialidades de mecánica, química y electricista, especialistas de seguridad, higiene, medio ambiente [4].

En los desarrollos offshore, las especialidades más buscadas son construcciones de líneas submarinas, perforación, diseño, ingeniería en todas las especialidades en particular en petróleo y geociencias, HSE (seguridad industrial), QC/QA (control de calidad), Operaciones, Mantenimiento y producción y Control de proyecto.

En general no existen carreras específicas que te preparen para desarrollar en profundidad todas las etapas que implican la explotación de un yacimiento. Los conocimientos necesarios suelen irse adquiriendo con capacitaciones internas de la empresa, experiencias de campo, analogías con proyectos similares y algunas veces por investigación de individuales [5]. Por esta razón es conveniente integrar equipos multidisciplinarios y empresas con gran trayectoria que hayan desarrollado su propio know-how. El sector estas en constante mejora y aprendizaje. En la actualidad, Uruguay se podría ver favorecido por los recortes de personal en empresas multinacionales en países vecinos, poniendo a su disposición personal capacitado y de trayectoria.

Es necesario promover la creación de nuevas carreras, terciarias, universitarias, y la capacitación de los propios recursos humanos, como así también realizar campañas de difusión pare generar interés.

El Uruguay no tiene que perder la oportunidad y en cada equipo de empresa extranjera deberían poner personal del País para ir formando a los que luego serán los líderes del futuro.

Bibliografía

[1] OIL & GAS GLOBAL SALARY GUIDE 2015. Hays recruiting expert in Oil & Gas .

[2] http://www.ifptraining.com/in-house-training.html. (revisado 10 Agosto 2015)

[3] http://www.cairnenergy.com/index.asp?pageid=554 (revisado 8 Agosto 2015)

[4] Competencias laborales, desarrollo de los recursos humanos y formación en materia de seguridad para los contratistas de la industria del petróleo y el gas, ahora y en el future. Documento temático para el debate en el Foro de Diálogo Mundial sobre las futuras necesidades en materia de competencias laborales y formación en la industria del petróleo y el gas (Ginebra, 12 y 13 de diciembre de 2012). Ginebra, 2012 OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, GINEBRA

[5] Jóvenes profesionales de la industria del petróleo. Por Susana Biset Presidente y Fundadora Estudio Biset & Asociados. Petrotecnia . Febrero, 2008

Introduccion a la perforación offshore

Gustavo Fabian Acosta
Prof. Magíster en Ingeniería en Petróleo y Gas Natural
gacosta@itba.edu.ar

ITBA Instituto Tecnológico de Buenos Aires
http://itba.edu.ar/
Av. Eduardo Madero 399, C1106ACD
Buenos Aires - Argentina

Resumen

Uruguay afronta un gran desafío que es avanzar sobre el mar en la búsqueda de hidrocarburos, para tal fin es necesario varias etapas hasta la producción comercial. En este trabajo nos centraremos en la perforación offshore y mostraremos un panorama mundial de los desarrollos, las compañías involucradas, como así también, las diferentes tecnologías existentes en la actualidad, en donde la mayoría son grandes embarcaciones flotantes. También mostraremos las variables a tener en cuenta y los costos estimados de las diferentes tecnologías.

Introducción

Los hidrocarburos son los recursos naturales más codiciados por todos los países ya que ellos son la base del crecimiento. Para adquirirlos es necesario métodos y procesos de diferentes ciencias para buscarlo, encontrarlo y producirlo. En el caso del mar se utilizan las mismas técnicas que en la tierra solo con equipamientos diferentes.

Para confirmar la existencia de los hidrocarburos bajo la tierra, es necesario conocer, lo que pasa abajo la de la misma, para tal fin, se utilizan como primer paso utilizar los métodos geofísicos, que son diferentes métodos utilizados para determinación de las características geotécnicas de un terreno, como así determinar las diferentes estratos del suelo y determinar que sucede en las profundidades.

Luego de obtener esta información y con tiempo de análisis de la misma se determina el paso siguiente, que es realizar pozos de exploración con el fin de confirmar la existencia de hidrocarburos. Luego se realizarán pozos de delineación cuyo objetivo es determinar la dimensión y caracterización del yacimiento para determinar a futuro si es factible o no la inversión. A continuación que se confirme su productividad y se decida producirlo es necesario pasar a la etapa siguiente, que es perforar pozos de desarrollo, con la finalidad de extraer y drenar las reservas de un yacimiento, la diferencia esencial de esta etapa con respecto a las otras es que se perfora dentro de un área probada.

Por lo anteriormente explicado la utilización de los equipos de perforación son necesarios en dos etapas esenciales, la primera para explorar y la segunda para explotar.
Realizar lo que se denomina una perforación Offshore (perforación costa afuera de cualquier espejo de agua), hay variables a tener encuentra, la más importante son: determinar la profundidad del espejo de agua, la profundidad del pozo y condiciones físicas del ambiente. En función de las mismas se utilizar diferentes tipos de embarcaciones y o plataformas con equipamiento específico para perforar.

Objetivo

Introducir al conocimiento básico de las diferentes tipos de equipos de perforación para la recuperación de hidrocarburos en cualquier espejo de agua, como ser laguna, pantanos, ríos, bahía y mar. Lo que se denomina normalmente con el nombre de "perforación offshore", mostrando desde una perforación en aguas someras o de poca profundidad hasta grandes profundidades.

Desarrollo

Es necesario para presentar las diferentes tecnologías existentes en la actualidad para la perforación de reservorios de hidrocarburos en el mar, primeramente comprender cuál es el lugar de la perforación, dentro de la cadena de valor del petróleo y gas natural como se puede ver en la (Fig.1), de este modo podremos entender como estos grandes desarrollo son parte de un eslabón dentro de esta gran industria.

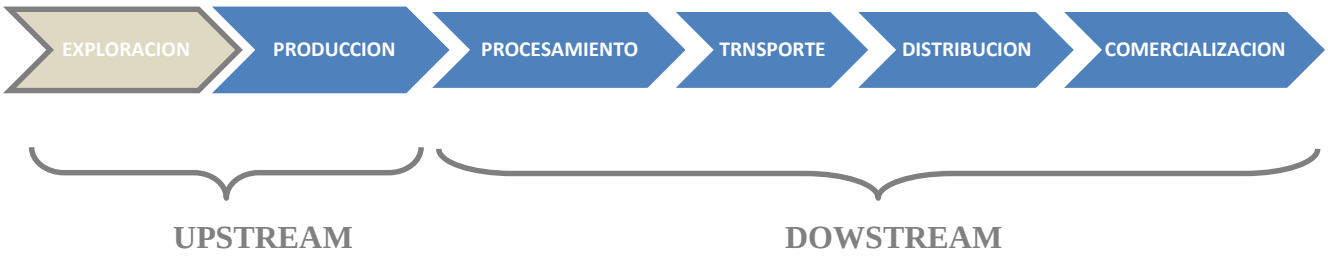


Figura 1: Cadena del valor

Dentro de la cadena de valor lo que se denomina UPSTREAM está compuesto, como se detallo anteriormente por la exploración y la producción. Es importante conocer los tiempos estimados y necesarios para cada etapa en estos grandes desafíos, como se puede ver en la (Fig.2) [1]. Para llegar al momento de la construcción/explotación es necesario invertir mucho tiempo y dinero hasta tomar la decisión de concretar el desarrollo, luego otro tiempo estimado de producción, luego abandonar el mismo y restituir/restaurar el medio ambiente [2].



Figura 2: Estimación de tiempo de un desarrollo Offshore

En la etapa de exploración es donde mas se ocupa la perforación en la (Fig.3) se puede observar un detalle de los tiempos específicos. También en la etapa final de la construcción está la perforación para producir el pozo, como así el mantenimiento con los workover y luego de un tiempo de producción el abandono del desarrollo, como se puede ver en la (Fig.4).



Figura 3: Detalle de estimación de la etapa de exploración

Exploración (donde está la perforación)

- Rol del sector de exploración

Localizar formaciones que pudieran contener hidrocarburos, estimar el volumen de reservas.

- Rol de prestadores de servicios

Adquirir data sísmica (tierra, transición de zona y offshore) mediante el uso de equipamiento. Procesar datos duros para disminuir incertidumbre en operaciones de drilling. Perforaciones exploratorias (coring, logging) para delimitar reservorio.

- Duración

~6 meses a 10 años, depende de muchas variables, económicos, social, etc

Evaluación y Delineación

- Rol del sector de exploración

Analizar la rentabilidad del proyecto para delimitar el desarrollo del mismo. Definir la arquitectura de pozo y términos contractuales a seguir.

- Rol de prestadores de servicios

Extraer recursos (onshore, offshore, operaciones submarinas, horizontal, direccional). Manufactura y entrega de fluidos de perforación. Proveer de equipos de soporte.

- Duración

~3 meses a 4 años

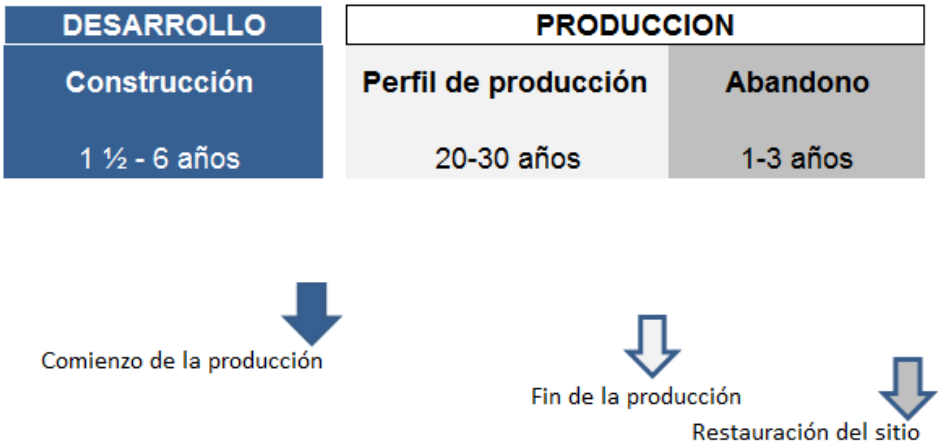


Figura 4: Detalle de estimación de la etapa de exploración

Completamiento, Construcción y Producción

- Rol del sector de exploración y producción

Extraer tanto hidrocarburo como sea posible sin dañar propiedades del reservorio y el medio ambiente de en una manera segura y efectiva.

- Rol de prestadores de servicios

Completar casing y cementar el pozo. Estimulación del pozo para el aumento de la productividad. Operaciones de workover.

Empresas de ingeniería, adquisición y construcción (EPCC "Engineering, Procurement, Construction and Commissioning") desarrollan la infraestructura (onshore, offshore, operaciones submarinas).

Empresas de decommissioning y restauración del medio ambiente, según normativa del lugar.

- Duración

~1 1/2 meses a 6 años, producción ~20-30 años y abandono ~1 a 3 años

Panorama mundial de la Perforación

Mercado

El mercado de la perforación creció en el onshore (en la tierra) un 3% y en el offshore (en el mar) un 6%. El onshore es potenciado por el crecimiento continuo de campos de crudo no convencional en América del Norte. En el caso del Golfo de México, las tasas de los equipos de perforación offshore empujará el mercado.

En el 2013, el volumen estimado global de la perforación y de servicios asociados fue aproximadamente de 236 billones de dólares, un 6% más que el 2012. Se puede observar en el (Graf. 1) que las Operaciones Offshore representan un 24% con un gasto de ~56 billones de dólares y el onshore un 12% que serían ~29 billones de dólares del total del volumen mundial.

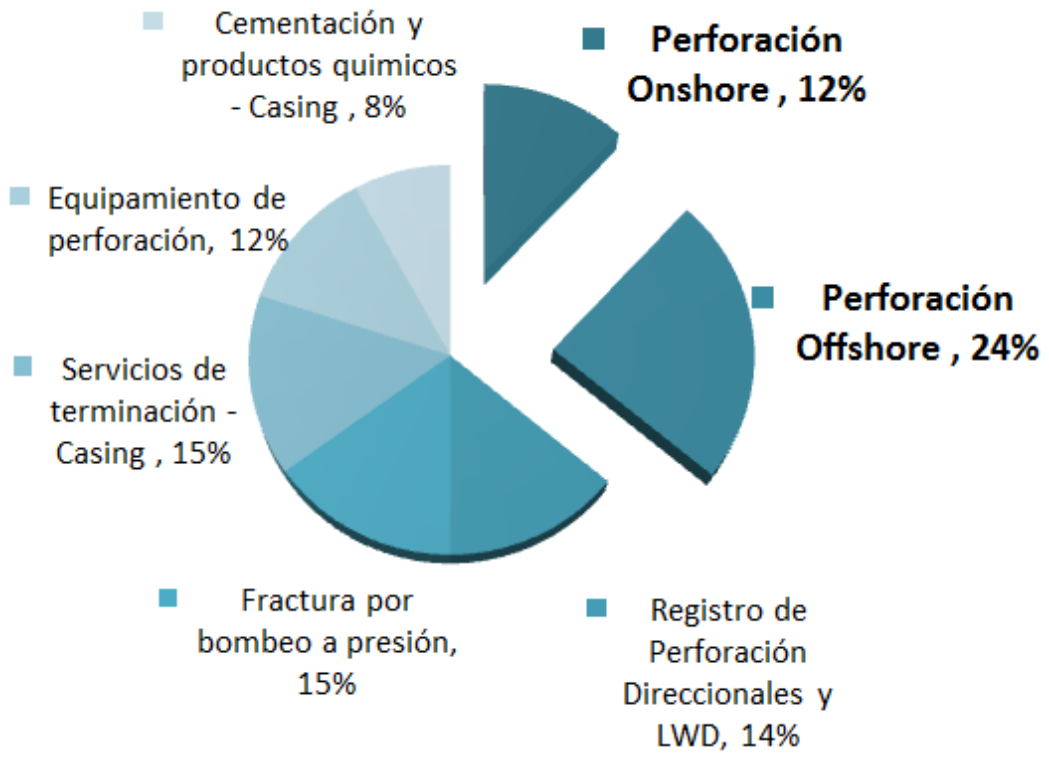


Grafico1: Distribución porcentual de varios segmentos en la perforación.

La construcción de los denominados Rig de Perforaciones ha crecido un 20% en el 2013 y se frenó en el 2014, se notó una caída entre el 8% y un 10% de los nuevos proyectos. Los especialistas dicen que debería crecer un 5% en el 2015 [3].

Compañías involucradas

En el caso de la Perforación Offshore este mercado esta increíblemente concentrado a tal punto que 12 compañías manejan en 66% del total de las perforaciones, en el (cuadro 1) se detallan las mismas, como así los porcentajes de participación.

La perforación Offshore en el año 2013 creció un 14% llego a mover casi 56 billones de dólares, la estimación dicen que en el 2014 los volúmenes llegaron a 61 billones de dólares.

	Porcentaje de Participación	Porcentaje Acumulado
Transocean, Inc	16%	16%
Seadrill	9%	25%
ENSCO	9%	35%
Noble Drilling	7%	42%
Diamond Offshore	5%	47%
China Oilfield Services, Ltd	4%	51%
Maersk Group	3%	54%
Saipem SPA	3%	57%
Rowan Companies	3%	60%
Odfjell Drilling Group	2%	62%
Fred. Olsen Energy ASA	2%	64%
Atwood Oceanics Inc	2%	66%

Cuadro 1. Empresas al 2013

Perforaciones

En el 2013 se perforaron un volumen ~ de 101.000 nuevos pozos en el onshore y un total ~3.600 pozos del Offshore, se estimó que en el 2014 la cantidad total llegaron a 105.000 pozos para ambas operaciones. En los Estados Unidos y Canadá están más de la mitad de los pozos, luego le sigue Asia del Pacifico donde la más activa es China.

En el Mercado de perforación offshore creció por un 10% durante el año. Principalmente el Golfo de México que en particular creció un 21%, África un 8% y Asia del Pacifico un 11%.

Precios

Cuando hablamos de extracción de hidrocarburos nos gustaría comenzar dando una idea de cuáles son los volúmenes de dinero que este sector de la industria están en juego, como se puede observar en el (cuadro 2) a continuación.

Inversiones y Mercado del Upstream

	2103	2014
Geofísica	16	13
Servicios y equipamiento para pozos	236	253
Drilling Onshore	29	30
Drilling Offshore	56	61
Offshore Construcción	60	65
	397	422

Unidad: billones de dólares

Cuadro 2: Diferencia de los últimos años [4]

Equipos

Los equipos para la perforación offshore son unidades complejas muy demandadas en un mercado global donde generalmente solo se detienen para mantenimiento o por otras razones muy específicas. Los costos están relacionados a la demanda del mercado por eso cuando la demanda sube, suben los precios y viceversa.
A continuación veremos como es el comportamiento de los costos por regiones y por equipos, para tener una idea acabada de los mismos.

Equipo Semi-Sub

En la (grafico 2) se puede ver la oscilación de los costos de los equipos denominadas Semi-Sub, en lugares de referencia como los son el Golfo de México, Mar del norte, y el Sudeste asiático [3].

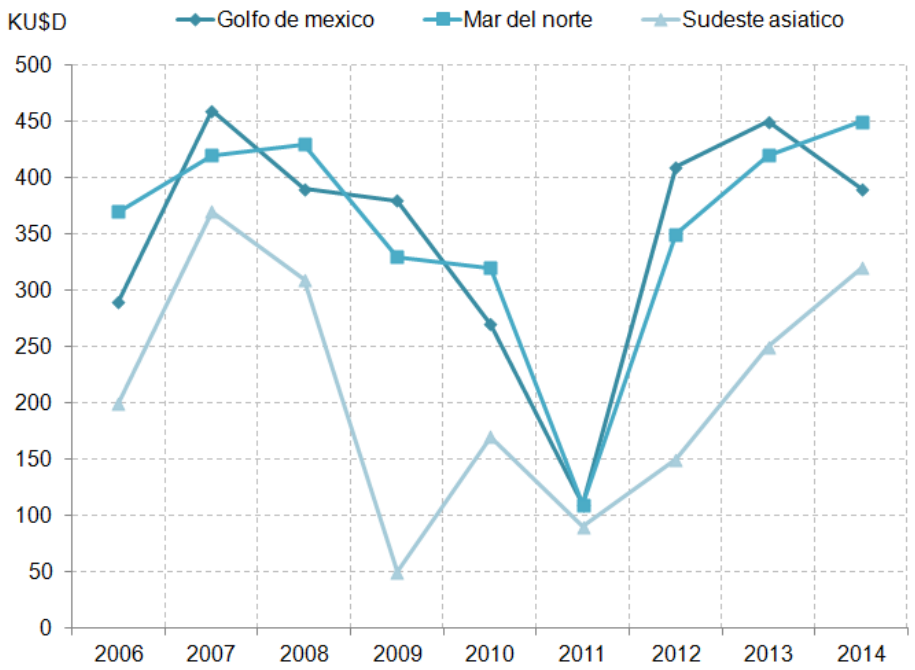


Grafico 2. Valores pagado por la contratación de Semi-Sub

El comportamiento en el 2014 se mantuvo estable, en el 2015 debido a la baja del precio del petróleo fue afectada la demanda a largo plazo por eso la baja en los costos [4]:

2014

- Julio a Diciembre: mínimo 145.000 máximo 641.000 promedio 389.000 dólares

2015

- Enero a Abril mínimo $145.000 máximo 641.000 promedio 389.000 dólares
- Mayo a Junio mínimo $90.000 máximo 627.000 promedio 404.000 dólares

Equipo Jackup

En el (Graf.3) se puede ver la oscilación de los costos de los equipos denominadas Jack-up, en lugares de referencia como es el Golfo de México, Mar del norte, y el Sudeste asiático [3].

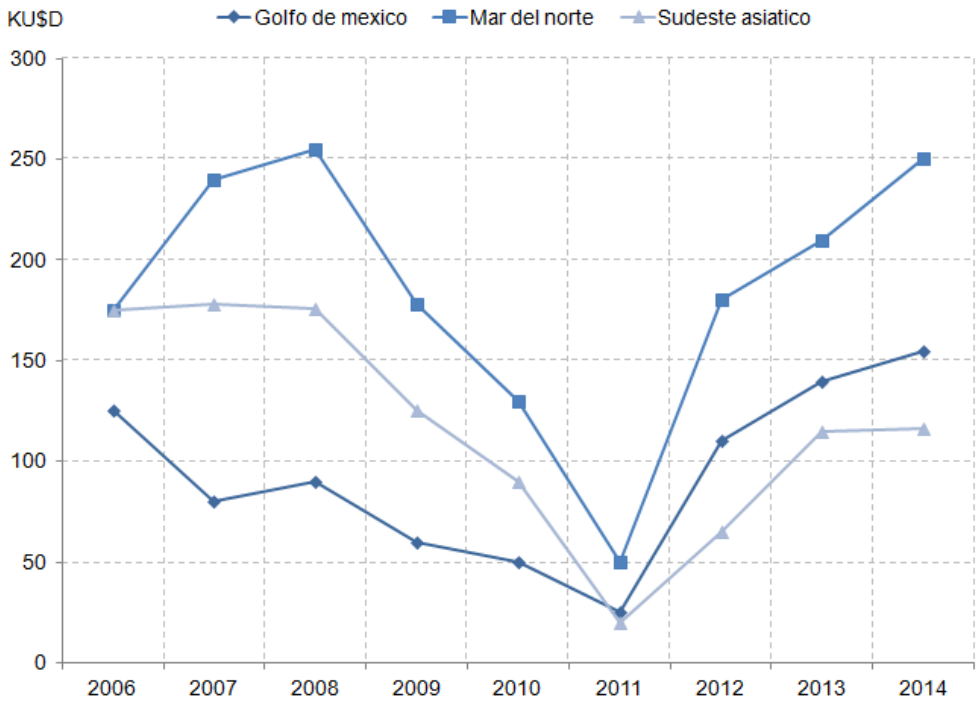


Grafico 3. Valores pagado por la contratación de Jackup.

El comportamiento en el 2014 debido a la baja del precio del petróleo fue afectada la demanda inmediata con el paro de equipos por eso la baja en los costos se mantuvo estable, en el 2015 empieza a recuperarse [4]:

2014

- Julio a Diciembre mínimo $30.000 máximo 389.000 promedio 142.000 dólares

2015

- Enero a Abril mínimo $30.000 máximo 389.000 promedio 144.000 dólares
- Mayo a Junio mínimo $51.000 máximo 414.000 promedio 144.000 dólares

Drillship o barco de perforación

El comportamiento en el 2014 y comienzo del 2015 no fue afectado ya que estos equipos son pocos comparativamente con los demás, actualmente empezó a tener retraimiento del mercado [4]:

2014

- Julio a Diciembre mínimo $150.000 máximo 735.000 promedio 500.000 dólares

2015

- Enero a Marzo mínimo $150.000 máximo 735.000 promedio 500.000 dólares
- Abril a Junio mínimo $90.000 máximo 670.000 promedio 500.000 dólares

En la (Fig.5) podemos ver en una forma grafica partiendo de una batimetría 3D cuáles son algunos costos de referencia, de aguas someras del reino unido en el mar del norte y en aguas profunda del Golfo de Méjico EEUU [5].

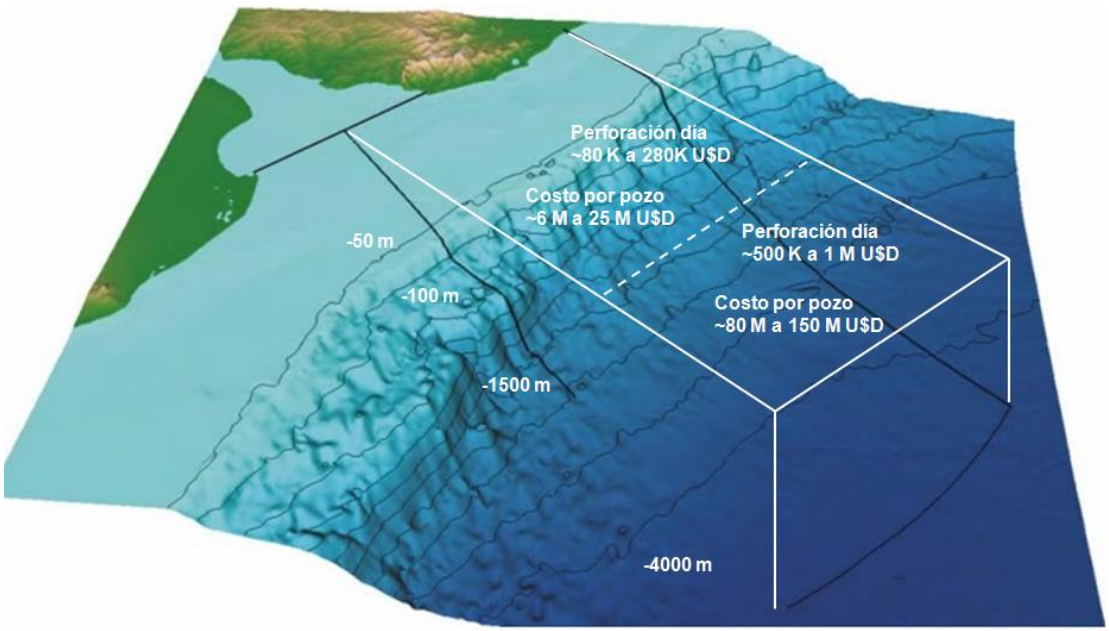


Figura 5: Batimetría con cotos de referencias

Perforaciones Offshore

La exploración offshore o costa afuera para la extracción de hidrocarburos son operaciones más complejas que en la tierra, pero en esencia la perforación es la misma. Esto que significa que desde el nivel de suelo o del fondo del mar para abajo es el mismo proceso, solo varia los primeros metros.

Desde el fondo de la laguna, pantano, rio, mar, etc. para arriba, es donde está la diferencia, ya que en función de la profundidad, es el equipo a utilizar. Como así también todas las variables física/climáticas que deben soportar como cualquier embarcación.

Estos equipos que desarrollaremos a continuación como se detallan en la (Fig.6), tienen que proveer comodidades suficientes para vivir y trabajar en forma confortable y seguro. En función

del equipo la cantidad de personas normalmente entre 30 a 200 trabajadores. Es necesario comprender que estos equipos están compuestos por equipamiento de la actividad específica marina, como así especifica de la actividad de perforación, amarres/anclaje o posicionamiento dinámico, generación eléctrica, almacenamientos, gestión de desechos, apoyo de helicóptero o helideck. Es necesario también tener en cuenta que estas operaciones necesitan aprovisionamiento constante, el cual se realiza con otros barcos.

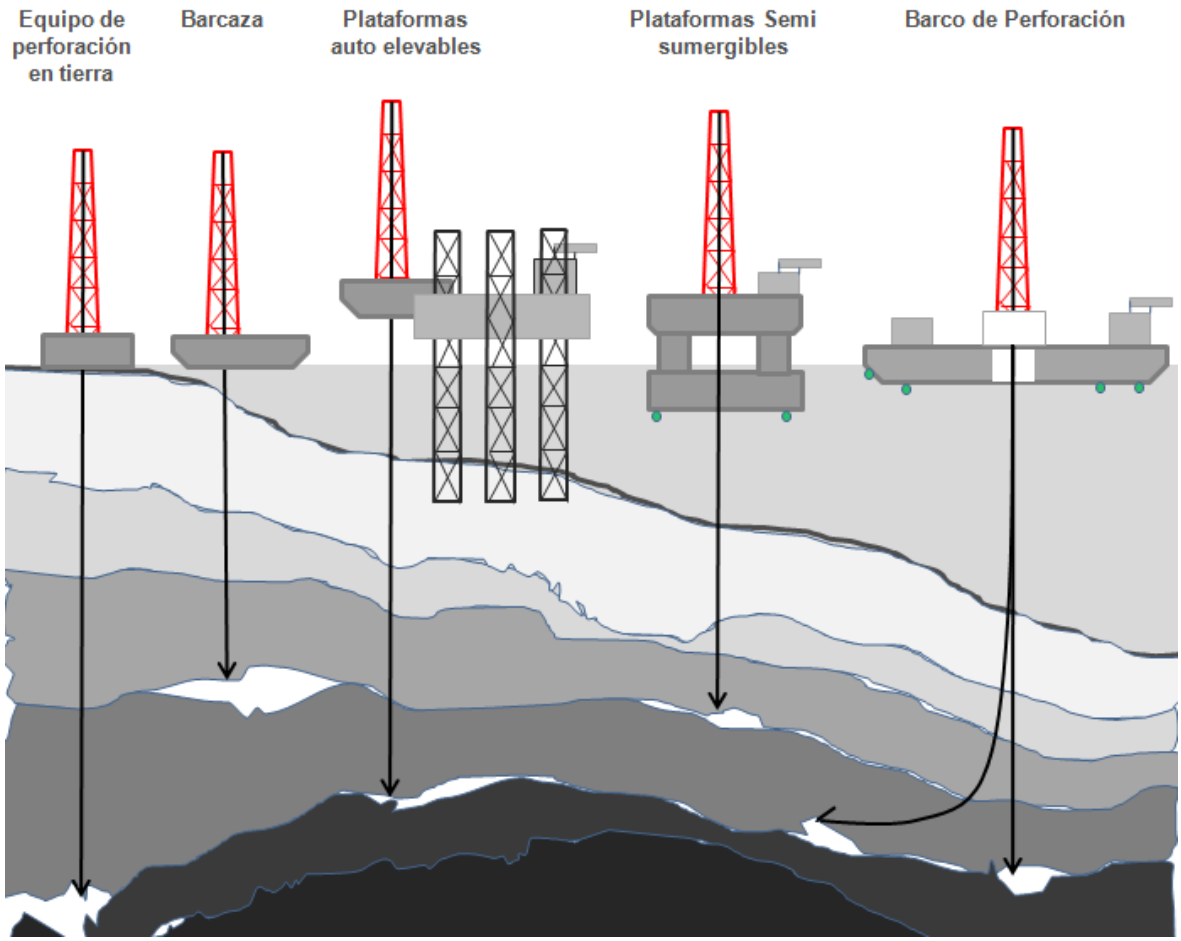


Figura 6: Diferentes equipos de perforaciones

Equipos de Perforación en espejo de agua

Es necesario entender que para tomar la decisión de buscar un equipo de perforación hay dos variables básicas a tener en cuenta:

- Profundidad del espejo de agua
- Profundidad de la perforación, determinada por la arquitectura del pozo.

En función de estas variables será el equipo a utilizar para la perforación, para tal fin en el (cuadro 3) podemos observar los diferentes equipos, las diferentes profundidades a las que operan y las longitudes que son capaces de perforar desde el lecho hasta el reservorio. Otro aspecto muy importante es el mercado ya que estos equipos son muy demandados, por lo que es necesario mucho tiempo de anticipación en la toma de decisiones.

PERFORACION			
Barcaza **Profundidad utilizada ~ 20mt** **Perforación entre 7.000 a 9.000 m**	**Jackup** **Profundidad utilizada ~ 120mt** **Perforación entre 7.600 a 12.000 m**	**Semi Sumergible** **Profundidad utilizada ~ 180m a 4.500m** **Perforación entre 7.600 a 10.000 m**	**Drillship** **Profundidad utilizada ~ 180mt a 3.500m** **Perforación entre 7.600 a 10.000 m**

Cuadro3: Prestaciones de los diferentes equipos

Barcaza

Son equipos utilizados en aguas someras o en zonas especificas tipo ríos, bahías, pentanos, lagunas, etc, con profundidad no mayor a 20 metros. Pueden navegar o ser transportados mediante remolques y una vez en el lugar es lastrado y posicionado como se puede ver el esquema en la (Fig.7). Hay un tipo de barcaza que luego de su transporte hasta el lugar determinado por la campaña de perforación, son lastrados, se apoyan y de este modo se fija al lecho del cauce de agua.

El resto del equipo, donde están todo los equipamiento necesarios para la actividad de perforación queda por encima del agua, esta son barcazas sumergibles para lugares de 6 m de profundidad.

- Profundidad utilizada hasta ~ 20m
- Perforación entre 7.000 a 9.000m

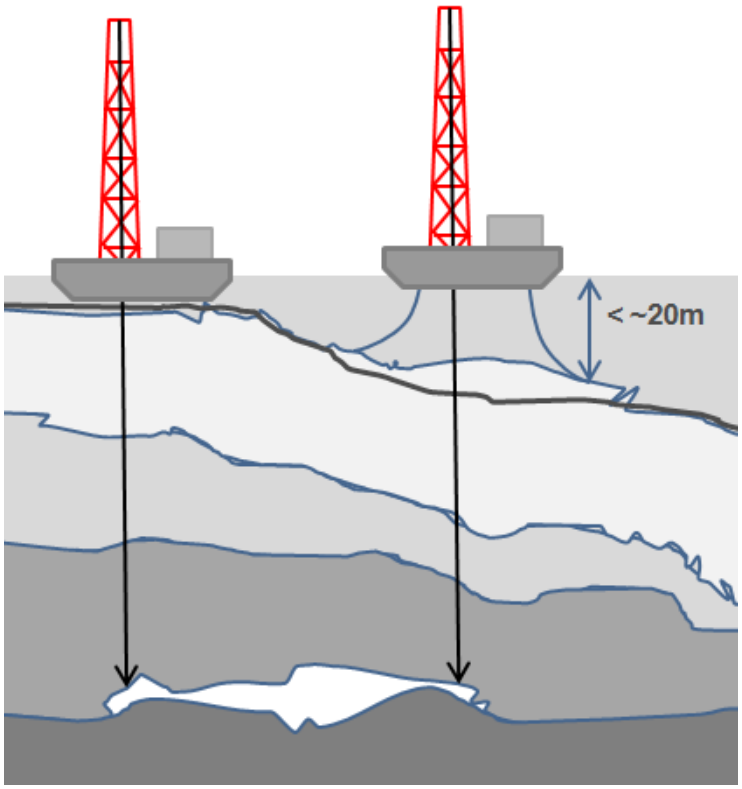


Figura 7: Esquema de fijación

Plataformas auto elevables o Jackup

Una plataforma auto elevable o jackup es un tipo de plataforma de perforación móvil, está compuesta por un casco flotante equipado con un número de patas móviles con su sistema de elevación hidráulico, con la función de elevar la plataforma por encima de la superficie del mar y el equipamiento. Este tipo de plataforma al estar equipada con un casco flotante, permite el transporte de la misma y todo el equipamiento hasta la ubicación determinada.

Una vez en el lugar con las patas permite fijarla al fondo del mar y luego elevarse por encima del mar hasta la altura necesaria para perforar.

Generalmente este tipo de plataformas no son autopropulsados y dependen de remolcadores como se ve en la (Fig.8), o buques de carga pesada para el transporte tipo Dockwise como detalla en la (Fig.9).

- Profundidad utilizada ~ 120mt hay equipos excepcionalmente 500m
- Perforación entre 7.600 a 12.000 m

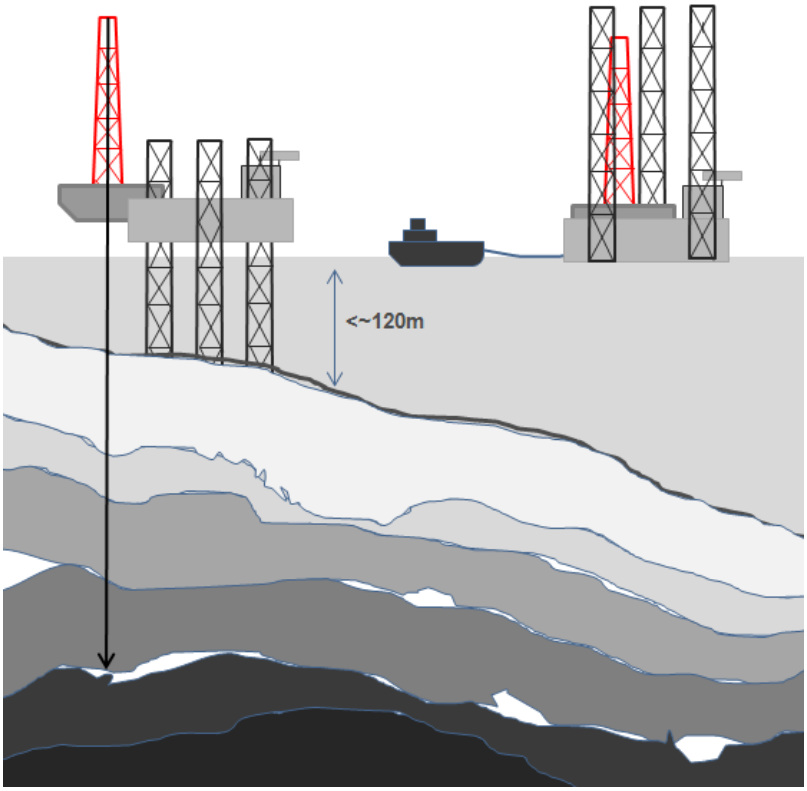


Figura 8: Posicionamiento de la plataforma y transporte con remolcador a cortas distancias.

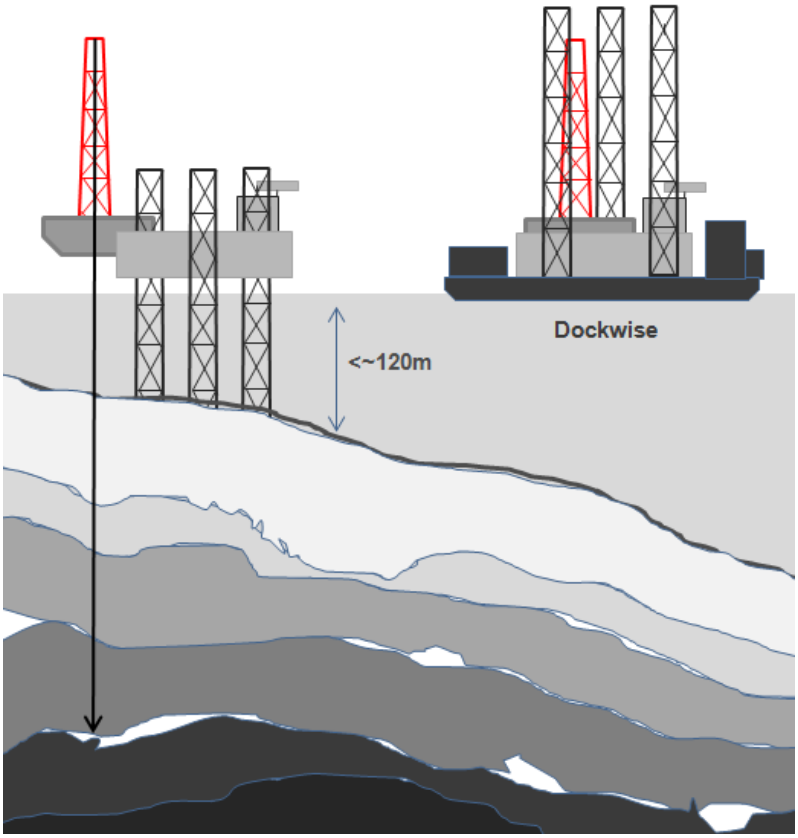


Figura 9: Posicionamiento de la plataforma y transporte pesado a largas distancias.

Plataformas Semi Sumergibles

Hay de diferentes tipos pueden ser de posicionamiento dinámico o convencional de amarre como se puede ver en la (Fig.10). Están diseñados para operar en aguas profundas. Son plataformas autopropulsadas pero se utiliza para grandes distancias como se detalla en la (Fig.11) otro tipo de embarcación.

- Profundidad utilizada ~ 180m excepcionalmente 900m
- Las de nueva generación van desde 1.200 a 4.500m.
- Perforación entre 7.600 a 10.000 m

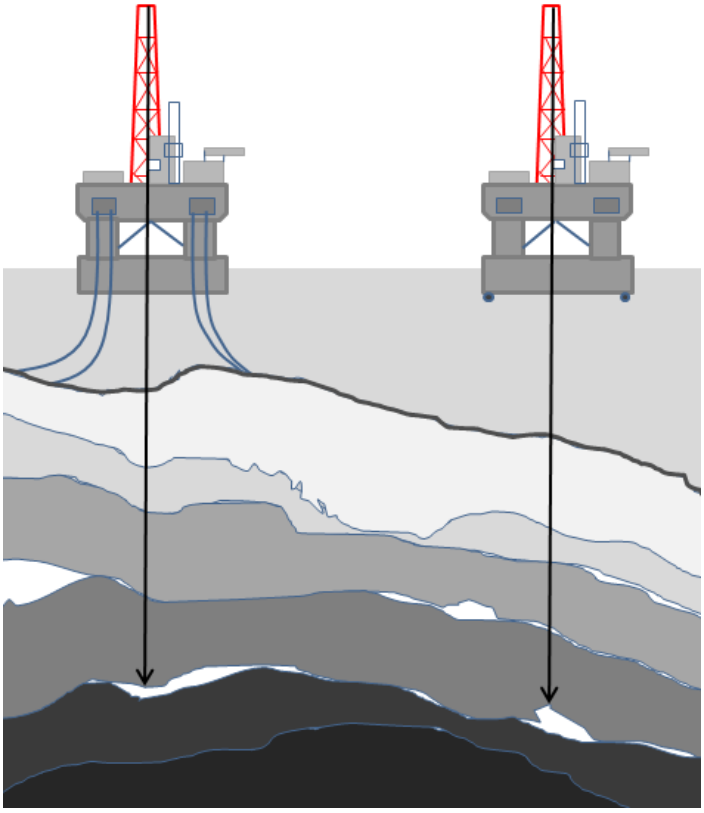


Figura 10: Formas de fijación

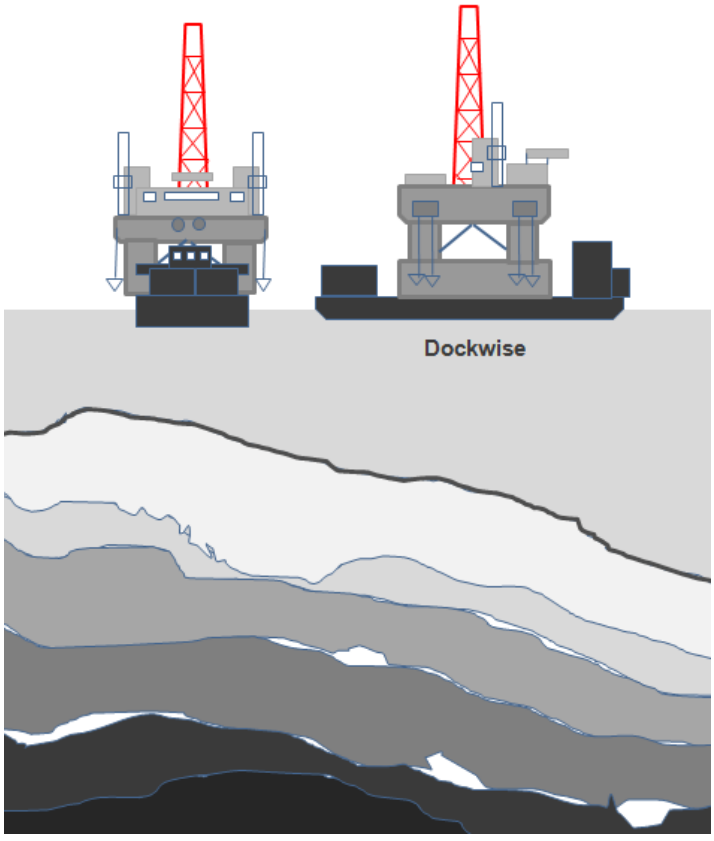


Figura 11: Transporte

Ficha técnica de un tipo de plataforma

- Noble Jim Day [6]

Tipo	Semi Sumergible
Astillero	Modified Bingo 9000
Año de Construcción	1999/2010
Constructor	Dalian Shipyard
Clasificación	ABS A1. Unidad de Perforación por Columna Estabilizada. AMS. DPS-3
Bandera	Liberia
Profundidad de Agua de Operación	12000 ft
Profundidad de perforación	37000 ft
Carga de Cubierta Variable	16000 kips
Carga de Gancho	2500 kips
Capacidad de Alojamiento	208
Mantenimiento de la posición	DP3
Dimensiones Principales	Longitud total: 409 ft Manga de trazado: 278 ft Puntal de trazado: 126 ft Calado de operación: 48 ft Calado de tránsito: 86 ft Moonpool: 104 ft x 56 ft Desplazamiento: 97,500 t
Capacidades	Combustible: 19000 bbls Agua de Perforación: 12800 bbls Almacenamiento a granel: 30000 ft3 Almacenamiento en sacos: 10000 sacks Almacenamiento de salmuera: 4700 bbls Almacenamiento aceite base: 2650 bbls
Hélices:	Ocho (8) Rolls Royce
Derrick (Torre)	210 ft x 50 ft x 50 ft
Drawworks	National Oilwell SSGD 1250 de 6900 hp
Top Drive	NOV TDX-1250
Rotary	NOV Model D 406 de 60 ½ in

Rugosidad del acero del hierro	NOV AR 5000; torque de 100000/200000 ft .lbs.m/u/b/o
Bombas de Lodo	Cuatro (4) NOV HEX 240 de 2400 HP cada una
Tanques de Lodo	Capacidad total superior a 12,800 bbls
BOP	NOV Shaffer NXT. 6 ram. 18 ¾ in x 15 kpsi con Shaffer 18 ¾ in 10 kpsi anular.LMRP: un (1) NOV Shaffer 18 ¾ in x 10 psi anular
Válvula de Desviación	Shaffer CSO 21,25 in 1000 psi WP
Sistema de Control	NOV Shaffer MUX System
Manejo de Pipes:	Dos (2) Varco PRS 6i
Sistema de Control de Sólidos	Siete (7) Brandt NOV LCM-3D-CM22702280
Compensador de movimiento	Shaffer CMC 1250
Risers	Huisman Riser Crane. Diez (10) Shaffer de 250 kips cada uno
Grúas	Dreco 96DNS 180 2,5 120 st 180´ brazos, 100 st a 90 radios
Motores	Ocho (8) Caterpillar C280 3616

Drillship o barcos de perforación

Son grandes barcos con un sistema completo de perforación y con mucha movilidad. Son unidades que necesitan apoyo limitado por eso se usan en zonas remotas. En la (Fig.12) se observa un detalle de las partes que componen un barco perforador o Drillship, también es necesario aclarar que no todas las partes detalladas están en la misma posición en todos los barcos. Como así no se detalla todas las partes internas del barco que son parte de la actividad específica de perforación. Sistema de elevación. Sistema de circulación. Sistema de rotación. Sistema de seguridad y Equipamiento auxiliares.

La columna perforadora es pasada por el medio de una gran apertura en el fondo del casco, que se denominada moonpool hasta el fondo del mar, por lo que es determinante que este tipo de embarcaciones tenga posicionamiento dinámico ya que tiene que contrarrestar todos los esfuerzos del medio ambiente con el objeto de permitir que la barra de sondeo permanezca perpendicular a la BOP (Blowout Prevent) que es el punto de seguridad de toda perforación.

- Profundidad utilizada la mayo de las veces ~ 180m, de ~300m a 460 m normalmente. 1.500 m a 3.500m
- Perforación entre 7.000 a 12.000 m

Principales características

- Casco convencional en forma de barco
- Rig de perforación en la mitad del barco y por encima del moonpool
- Posicionamiento dinámico (DP)
- Propulsores azimutales

Áreas de operación

- El mundo
- Operación en aguan menores a 3.000m (10.000ft)
- Perforación hasta 9.000m (30.000ft)

Madurez

- Más de 50 buques perforando
- El primero fue realizado en 1956, barco de guerra de los estados Unidos convertido, 180m de profundidad de operación.

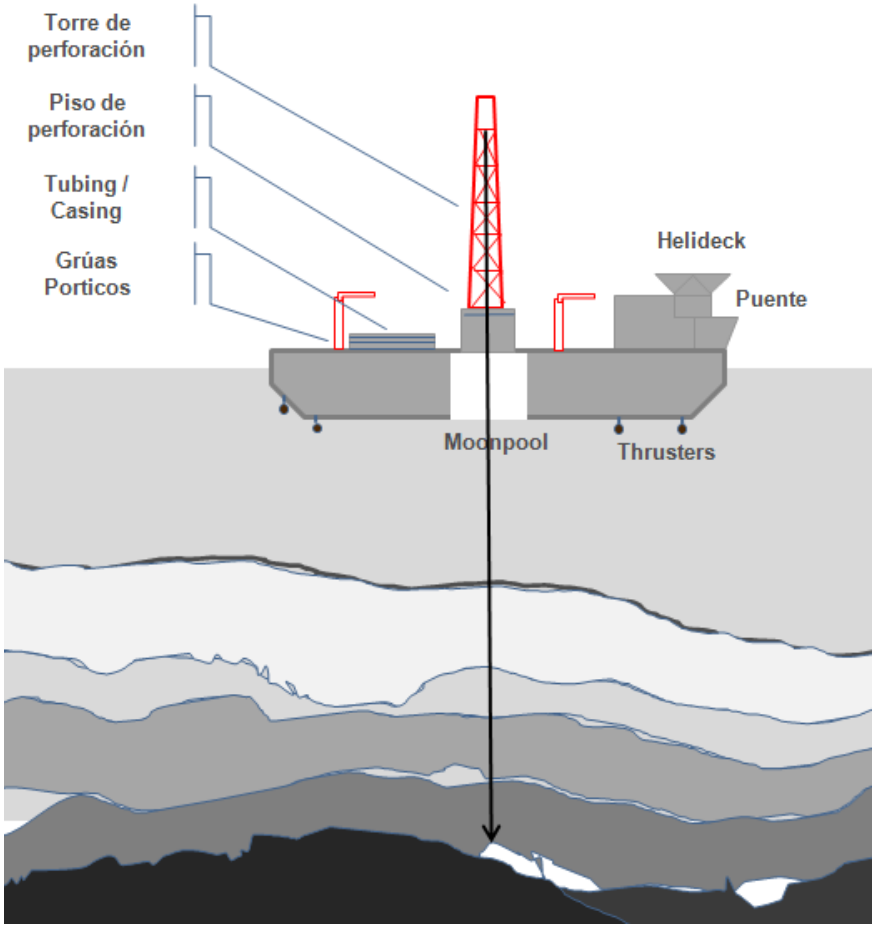


Figura 12: Partes que componen un barco de perforación

Ficha técnica de un Drillship o barco de perforación

- SAIPEM 10000 [7]

Tipo 5th generation ultra deepwater drillship	Drillship
Diseño	Samsung
Astillero	Samsung Heavy Industries
Año de Construcción	2000
Clasificación	ABS. A1, Drilling unit, Foating Production Storage and Offloading system (FPSO), (E), AMS, ACCU, CDS, DPS-3, OMBO, DLA
Bandera	Bahamas
Profundidad de Agua de Operación	Hasta 10,000 ft (3,048 m)
Profundidad de perforación	30,000 ft (9,144 m)
Mantenimiento de la posición	DP class 3
Dimensiones Principales	Longitud total: 228 m. Manga de trazado: 42 m . Puntal de trazado:19 m . Calado de operación: 12 m. Desplazamiento: 97,500 t
Capacidad:	Carga de cubierta variable: 20,000 st

Sistemas Generadores de Energía	Seis (6) Wartsila 18V32LNE de 7,000 kW cada uno. Generación total aproximada de energía 42,000 kW.
Hélices	Seis (6) hélices azimutales de 4,000 kW cada una
Grúas	Grúa Doble Bailey Height 200 ft gancho de carga estático de 2,000,000 lbs cada brazo. Capacidad Simultánea de 2,000 kips + 1,000 kips
Compensador de Movimiento en Grúas	Cada brazo está equipado con un compensador de movimiento Croen y un compensador Active Heave.
DRAWWORK (Aparejo)	Dos (2) Wirth GH 4500 EG, de 4,200 HP cada uno
TOP DRIVE	Dos (2) Hydralift HPS 750 2E capacidad nominal de 750 st. Torque máximo continuo: 65,450 lbs.ft.. Presión de trabajo: 7,500 psi
ROTARY TABLE	Dos (2) Wirth RTSS 60.1/2", apertura de 60.1/2", capacidad nominal de 1,000 st
Bombas de Lodo	Cuatro (4) Wirth TPK 7.1/2 x 14 2,200 HP cada una. Presión de trabajo en descarga final: 7,500 psi
Tanques de Lodo	Capacidad total superior a 12,300 bbls
BOP	18.3/4" - 15,000 psi. Dos (2) frenos anulares. Cinco (5) ram cavities Drill Pipe and Casing (up to 13.3/8") capacidad de corte.
Válvula de Desviación (DIVERTER)	20" - 500 psi
Risers	21" OD, 90 ft length
Grúas	Cuatro (4) Hydralift knuckle boom cranes, capacidad nominal de 85 st
Instalaciones para Tripulación	Alojamientos con aire acondicionado para 172 personas
Helipuerto	Adecuado para Chinook

Comentarios adicionales de la ficha

- Dos (2) Hydralift de Columna Vertical capaces de manejar casings desde 3.1/2" D.P. hasta 13.3/8".
- IACMS (Sistema de Control y Monitoreo Integrado y Automático). El barco de perforación está diseñado para funcionar como una unidad integrada, permitiendo a todos los sistemas, incluyendo propulsión, manejo de energía. Generación de energía, sistemas de flujo de fluidos, sistemas de almacenamiento de fluidos y sistemas de perforación, ser monitoreados y controlados a través de una única red integrada de control y monitoreo.
- Equipado con EWT (Extended Well Testing), y tanque e instalación para primera producción.
- Capacidad de Almacenamiento de Petróleo: 148,343 bbls.

Equipos para grandes profundidades

Las prestaciones de operación son similares a grandes rasgos, en el (cuadro 4) se detalla algunas diferencia entre Drillship o barco de perforación y Semi Drilling o Semi Sumergibles.

	Semi Drilling	Drillship
Capacidad de despliegue	Lento	Rápido
Capacidad de profundidad de agua	10000ft	10000ft
DP Posicionado	Si	Si
Storage	Limitado	100000bbls+ EWT FPSO convertible
Movimiento	Hasta ambientes severos	Limitado a ambientes leves
Costos operativos	Menos tripulación	Tripulación de Drilling + complemento del barco

Cuadro 4: Comparaciones

Todas estas embarcaciones / plataformas son verdaderas unidades vivas de funcionamiento muy complejo, que necesitan suministros, mantenimiento y operación. Para tal fin tiene que haber un sistema organizado, pensado y planeado, con organigramas específicos. El personal tiene que estar capacitado y con una función especifica, en todos los órdenes, desde la limpieza hasta el capitán del barco, pasando por todos las áreas técnicos, mecánicos, electricistas, ingenieros, perforadores, geólogos, loderos, etc. La logística es un factor determinante en el éxito de estas operaciones, ya que de ello depende todo este funcionamiento, provisiones varias, rotación de gente, seguridad entre otras actividades.

Conclusiones

Las cuencas Offshore Pelotas y la cuenca Oriental del Plata son consideradas áreas de frontera y de alto riesgo exploratorio, pero últimos estudios han generado nuevas expectativas en cuanto

a su potencialidad de acumulaciones de hidrocarburos, lo cual es estimulante para avanzar con los conocimiento necesario para extraer hidrocarburos del mar.

Este trabajo tiene que servir de punto de partida para conocer los diferentes equipos de perforación sobre espejos de agua, sin entrar en la actividad específica de la perforación. Pero si entender, que la perforación es un eslabón de la cadena y que cuando se comienza a perforar es porque ya hubo mucho tiempo previo de análisis, para comenzar con esa tarea y vemos los costos son significativos.

No es parte de este análisis pero es importante como parte de esta conclusión manifestar que la mayor sensibilidad en este tipo de desarrollos está vinculada generalmente al precio del hidrocarburo. En la actualidad, no hay ninguna expectativa de que el petróleo aumente a $ 90 / bbl hasta 2017 o más tarde [8]. En el 2015 los recortes tiene un promedio de un 30% en la industria del petróleo y gas natural, debido a la baja del petróleo, esto traerá aparejado la baja de precio, los especialista dicen que el 2016 se recuperara y el mercado aprovechara esta baja [9]. A nivel mundial el recorte de gasto de exploración ha sido un elemento central en la respuesta estratégica a los bajos precios del petróleo.

El escenario es óptimo en el Uruguay, si se tiene en cuenta el reclamo realizado a la CONVEMAR (Convención de las Naciones Unidas Sobre el Derecho del Mar), en su art. N° 76, [10] se refiere al permiso de lograr, una proyección más extendida de su plataforma continental como se puede ver en la (Fig.13).

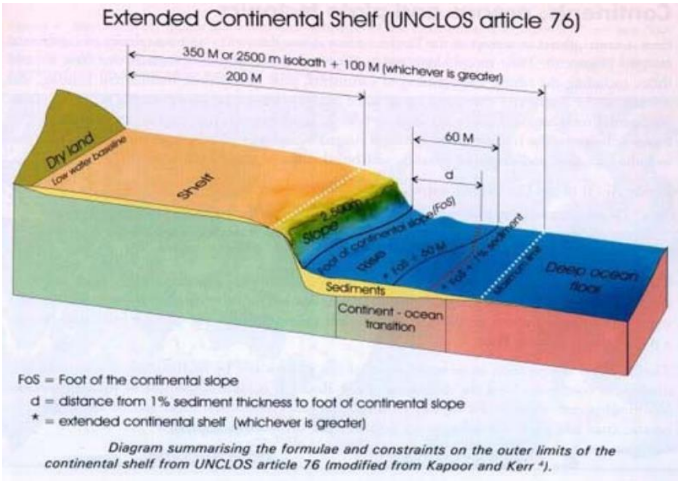


Figura 13: Detalle de lo presentado por Uruguay [8]

Bibliografía

[1] http://www.ifptraining.com/in-house-training.html. (revisado 10 Agosto 2015)

[2] http://www.cairnenergy.com/index.asp?pageid=554 (revisado 8 Agosto 2015)

[3] Investment in exploration-production and refining 2015. G. HUREAU, S. SERBUTOVIEZ, C. SILVA with the involvement of G. MAISONNIER Economics and Information Watch and Management Division. IFP Energies nouvelles. November 2014.

[4] Offshore Magazine- Agosto 2015

[5] Desafíos de la exploración de hidrocarburos en Uruguay un enfoque multidisciplinario. Ing. Santiago Ferro. Jefe de Adm y contratos de Exploración y Producción. ANCAP. AIQU CIIQ 2012. V Encuentro Regional. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Química.

[6]http://www.noblecorp.com/rig-fleet/rig?rig=NJD (revisado 20 Agosto 2015)

[7]http://www.saipem.com/SAIPEM_en_IT/scheda/Vessels/Saipem+10000.page (revisado 13 Agosto 2015)

[8]http://www.oedigital.com/drilling/rigs/item/8145-rig-market-hits-hard-times (revisado 15 de Agosto 2015)

[9]http://www.offshoreenergytoday.com/wood-mackenzie-drilling-activity-to-recover-in-2016/. (revisado 17 de Agosto 2015)

[10] Presentación de la Republica Oriental del Uruguay a la Comisión de límites de la plataforma continental. Acorde a lo establecido en el Artículo 76, párrafo 8 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho del Mar. Resumen ejecutivo 2009.

Análisis hidrodinámico de una turbina hidrocinética con difusor mediante herramientas numéricas

Troncoso Paredes, C. E.
Tampier Brockhaus, G. A.
Salas Inzunza, M. A.
Instituto de Ciencias Navales y Marítimas,

Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile

RESUMEN: En este trabajo se describe el proceso de diseño y evaluación de un rotor hidrocinético de eje horizontal usando perfiles NACA y NREL. Se realiza una evaluación fluido-dinámica preliminar utilizando el método de elementos de pala y estructural mediante el método de elementos finitos. Para dichas evaluaciones se consideró que el rotor se encuentra instalado al interior de un difusor. Para la selección del diseño final se definió un proceso de optimización que permite determinar la configuración de perfiles que cumple en mayor medida los requerimientos de diseño establecidos. Posteriormente, se realiza una simulación mediante RANSE-CFD para el diseño final seleccionado y se analizan los resultados de la interacción entre el rotor y el difusor. Los resultados de este trabajo dejan en evidencia la necesidad de diseñar perfiles que consideren los requerimientos exclusivos de rotores hidrocinéticos con difusor.

PALABRAS CLAVES: turbina hidrocinética, energía mareomotriz, difusor, NACA, NREL

1. INTRODUCCIÓN

La problemática energética y ambiental a nivel mundial exige el uso de energías renovables para la obtención de energía, y así, poder reemplazar a los combustibles fósiles que actualmente son utilizados como fuente de energía primaria. Dentro de las fuentes de energías renovables, la energía hidrocinética contenida en la corriente de mareas y ríos, está generando grandes expectativas debido a sus características (altamente predecible), especialmente en Chile, considerando el gran potencial energético existente en los ríos, canales y fiordos del sur del país. [1]

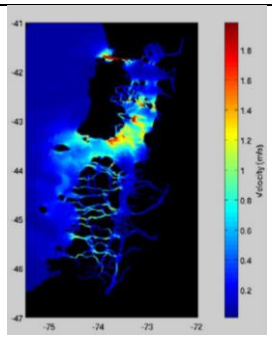


Fig. 1: Velocidades de corriente de marea en el mar interior de Chiloé y Archipiélago Los Chonos. Fuente: [1]

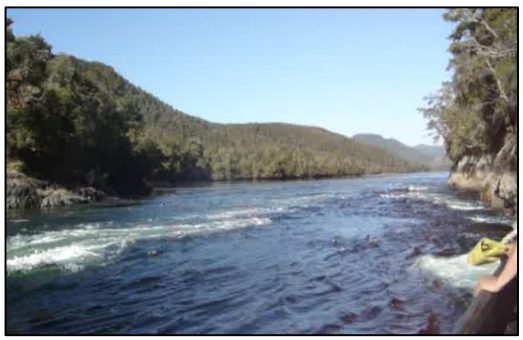


Fig. 2: Vista estrecho Yate, archipiélago Los Chonos. Fuente: [2]

El presente trabajo presenta el proceso de diseño de un rotor hidrocinético de eje horizontal en flujo restringido. Se evalúa su eficiencia en la transformación de energía, integridad estructural y la posibilidad de generar cavitación, bajo unas determinadas condiciones de operación.

2. FUNCIONAMIENTO DE UN ROTOR HIDROCINETICO

El principio de funcionamiento de un rotor hidrocinético se basa en las fuerzas de sustentación y arrastre sobre las palas del rotor, las cuales pueden ser descompuestas en una fuerza tangencial y axial. La fuerza tangencial generará un par a una determinada velocidad de giro sobre el eje del rotor, transformándose de esta forma la energía hidrocinética contenida en el flujo de la masa de agua en energía mecánica. Por otra parte, la fuerza axial generará la fuerza de empuje sobre el rotor y la turbina, aspecto determinante para el dimensionamiento de las palas y de los sistemas de fondeo.

Los principales parámetros utilizados en la evaluación fluido-dinámica de rotores son la relación de velocidad de punta (TSR, *tip speed ratio*), el coeficiente de potencia (C_P) y el coeficiente de empuje (C_T).

El TSR define una condición de operación del rotor; y se le suele denominar también velocidad específica, y es la relación entre la velocidad tangencial de la punta de las palas V_P y la velocidad de flujo V:

$$TSR = \frac{V_P}{V} \quad [1]$$

C_P corresponde a la relación entre la potencia capturada por el rotor y la potencia disponible en el área de barrido del rotor en el flujo de agua.

$$C_P = \frac{P_E}{\frac{1}{2}\rho A V^3} \quad [2]$$

C_T es la relación entre la fuerza axial generada por las aspas del rotor y la fuerza del flujo sobre el área de barrido del rotor.

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho A V^2} \quad [3]$$

Para el diseño de hélices marinas y rotores eólicos, entre otras aplicaciones de ingeniería, es una práctica común la utilización de perfiles NACA (National Advisory Commitee For Aeronautics). Sin embargo, cálculos y pruebas realizadas para aplicaciones eólicas, han demostrado que los miembros de mayor espesor de las familias de perfiles NACA, sufren una severa pérdida de rendimiento debido al prematuro desprendimiento de la capa limite a bajos números de Reynolds ($R_e < 5x10^5$) y por la acumulación de contaminantes sobre las palas [3]. Debido al desarrollo de la industria de aerogeneradores, desde finales del siglo XX numerosos centros de investigación están desarrollando series de perfiles especialmente ideados para la aplicación den rotores eólicos, entre estos centros destaca el NREL (National Renewable Energy Laboratory). [4]

2.1. PERFILES SELECCIONADOS

Para el desarrollo de este trabajo se seleccionaron perfiles NACA de 4 dígitos y NREL, la selección de los perfiles se realizó considerando su alta relación de sustentación/arrastre a bajos

ángulos de ataque y número de Reynolds, además se consideró la relación entre el espesor/cuerda y las recomendaciones entregadas por los desarrolladores de los perfiles. Los perfiles NACA y NREL seleccionados se muestran en la

Fig. **3**

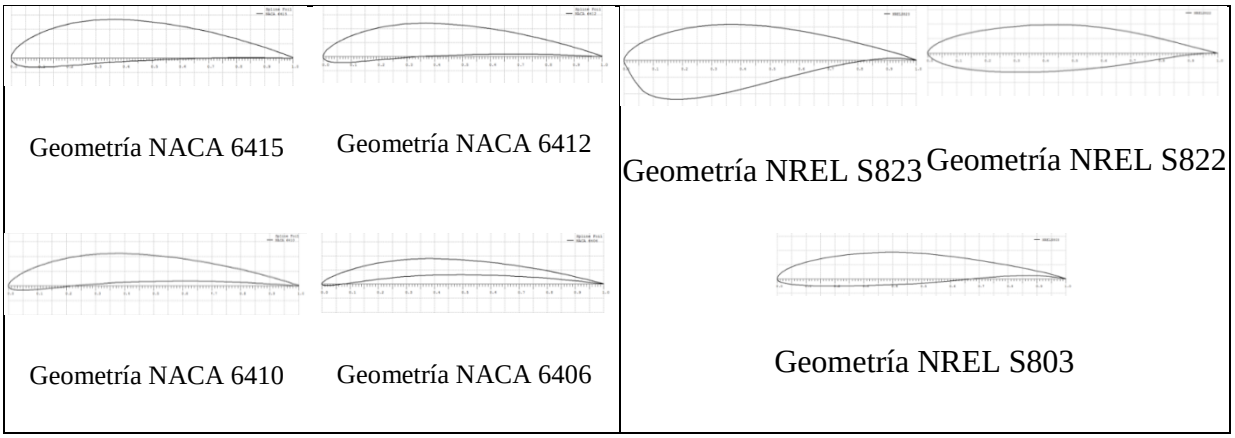


Fig. 3: Perfiles NACA y NREL seleccionados

3. VENTAJAS DEL USO DE DIFUSORES

Numerosas investigaciones desarrolladas en el campo de los aerogeneradores [5] [6] [7] han demostrado que al instalar el rotor al interior de un difusor se consigue un aumento de flujo másico a través del área de barrido del rotor, lo que permite aumentar la potencia extraída por el rotor comparado con un rotor en flujo libre. El difusor, al controlar la difusión de la estela, reduce la presión en la sección de salida del difusor por debajo de la presión del flujo libre, además de reducir las pérdidas de punta de pala [8]. Otras ventajas son las menores fluctuaciones de carga sobre las palas del rotor debido al efecto amortiguador provocado por el difusor sobre las variaciones de dirección del flujo y el aumento de las RPM del rotor.

La "Teoría de Disco Actuador Generalizada" desarrollada por Jamieson [7], presenta relaciones teóricas para los valores máximos del coeficiente de potencia C_{pm} y el factor de inducción axial de la velocidad para el conjunto rotor/difusor a_m, desacoplando el efecto del rotor y del difusor sobre el flujo, al considerar el efecto del difusor determinando un factor de inducción a empuje cero. Este desacoplamiento no es ideal, ya que el rendimiento difusor está influenciado por el empuje ejercido por las palas del rotor y viceversa. Para la aplicación de esta teoría se requiere de la determinación de los coeficientes de inducción generados por el rotor (a) y el

difusor (a_0), coeficientes que pueden ser determinados de forma experimental o mediante métodos de dinámica de fluidos computacional (CFD).

4. PROCESO DE DISEÑO DEL CONJUNTO ROTOR-DIFUSOR

El diseño del conjunto rotor-difusor fue subdividido en tres partes: en una primera etapa [9] [2] se evaluaron distintos diseños de difusor mediante un código RANSE-CFD, considerando el efecto del rotor mediante un disco poroso. Esta etapa permitió identificar una geometría de difusor conveniente desde el punto de vista fluido-dinámico, estructural y operacional. En una segunda etapa se determinó y optimizó el diseño de la geometría de las palas, utilizando herramientas de análisis fluido-dinámico potencial y análisis estructural mediante método de elementos finitos [10]. Finalmente, en una tercera etapa se realizó el análisis fluido-dinámico del conjunto rotor-difusor seleccionado mediante el código RANSE-CFD STAR-CCM+.

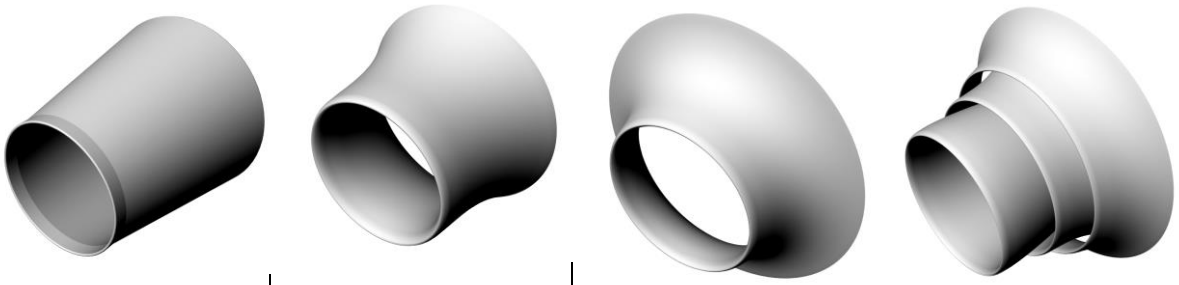
Para la realización del proceso de diseño se determinaron parámetros básicos del rotor y del flujo. Estos parámetros se muestran en las tabla 1.

Tabla 1: Parámetros básicos del rotor

Diámetro del rotor	Φ_R	2	m
Diámetro del núcleo	Φ_N	0,2	m
Largo pala	L	0,9	m
Área rotor	A_R	3,1	m^2
TSR de interés	TSR	6-7-8	-
Número de palas	B	3	-
Velocidad de diseño	V_D	1,4	m/s

4.1. Diseño del difusor

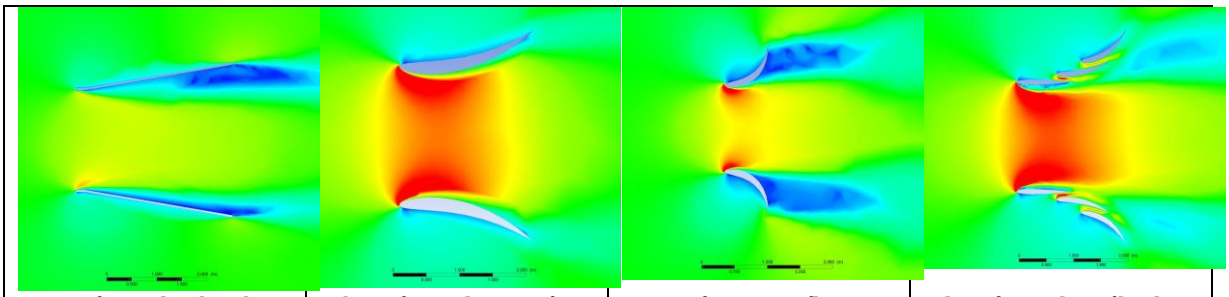
Para el diseño del difusor se revisaron distintos conceptos que han sido probados en la literatura previamente, seleccionándose 4 conceptos para su análisis preliminar mediante CFD viscoso. Estos conceptos corresponden a un difusor de plancha plana, un difusor de sección NACA10510 (en dos ángulos de inclinación distintos), un difusor con flange y un difusor de elementos múltiples (ver fig. 4).



a. Difusor de plancha plana	b. Difusor de sección NACA 10510	c. Difusor con flange	d. Difusor de múltiples elementos

Fig. 4.- Diseños de difusor analizados

El análisis realizado [9], si bien fue de carácter cualitativo, permitió identificar las características del flujo en cada uno de los conceptos estudiados, determinándose la idoneidad del difusor con perfil NACA 10510 y del difusor de múltiples elementos (ver fig. 5). Debido al mayor riesgo operacional del difusor de múltiples elementos por posibles obstrucciones con objetos flotantes, se decidió continuar el análisis con el difusor de sección NACA 10510.



a. Difusor de plancha plana	b. Difusor de sección NACA 10510	c. Difusor con flange	d. Difusor de múltiples elementos

Fig. 5.- Simulaciones 2D preliminares de comportamiento de difusores (magnitud de velocidad)

4.2. Diseño de las Palas

Para obtener un diseño óptimo de las palas se realizó un análisis fluido-dinámico del rotor mediante el programa **QBlade** [11], que integra a la herramienta XFOIL en un entorno de diseño y análisis de rotores utilizando el Método del Momentum del Elemento de Pala (**BEM –** *Blade Element Method*). XFOIL es un programa computacional libre desarrollado por Drela [12] para el diseño y análisis de perfiles subsónicos, basado en el método de paneles completamente acoplado con métodos interacción viscoso/no viscoso usado en el código ISES desarrollado por Drela y Giles [13], que permite calcular la distribución de presiones sobre las caras del perfil y sus coeficientes de desempeño [11]. El BEM combina la teoría de

conservación del impulso, desarrollada por Rankine y la teoría de elemento de pala desarrollada por Froude, para el cálculo de las fuerzas fluido-dinámicas [12].

4.2.1. Evaluación de la Cavitación

Para evaluar la cavitación se utiliza la ecuación (8), la cual compara la presión absoluta sobre la sección de la pala de forma adimensional (σ_c) y el coeficiente de presión mínima (CPmin) resultante de la condición de operación del rotor. Para cada sección de la pala en análisis se determina el coeficiente de cavitación y la distribución de presiones, para la condición en la cual la pala del rotor pasa próxima a la superficie del agua. Los datos utilizados en la evaluación de la cavitación son los obtenidos en el análisis fluido-dinámico mediante el BEM y los coeficientes de presión sobre el perfil son obtenidos en el programa XFOIL, para el número de Reynolds y ángulo de ataque de cada sección de la pala del rotor. El coeficiente de cavitación se calcula utilizando la ecuación (9).

$\sigma_c + CPmin \geq 0$	[8]

$\sigma_c = \frac{P_{atm} + \rho g h - P_V}{\frac{1}{2}\rho {V_{loc}}^2}$	[9]

Si bien la evaluación de la cavitación realizada permite estimar el área sobre la pala en la cual se alcanza la presión de saturación de vapor, no permite determinar la zona sobre la cual las burbujas de vapor harán implosión y sus efectos sobre el funcionamiento del rotor.

4.2.2. Análisis Estructural

Para el análisis estructural de las palas del rotor se utilizada un programa de elementos finitos y se realiza un análisis estático lineal, que determina el estado de tensiones y deformaciones, para unas determinadas condiciones de carga y apoyo, las que fueron obtenidas del análisis fluido-dinámico realizado. La figuras **Fig. 6Fig. 7Fig. 8** muestran imágenes de la configuración del cálculo mediante el método de elementos finitos. El material considerado para el diseño del rotor corresponde a una aleación de Niquel – Aluminio – Bronce, con las propiedades indicadas en la **Tabla 2**.

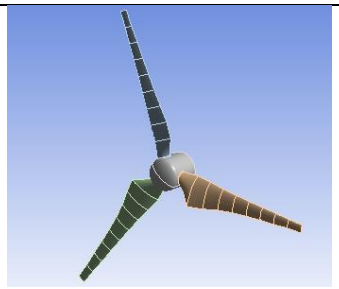


Fig. 6: Geometría en programa de elementos finitos

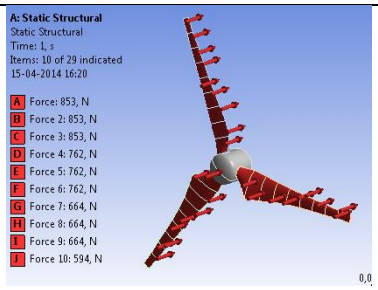


Fig. 7: Representación gráfica de las carga axial en programa de elementos finitos

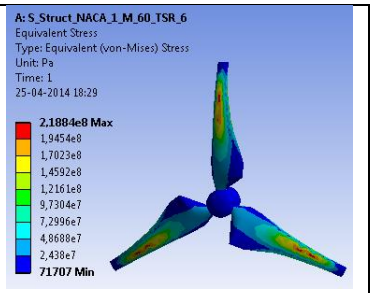


Fig. 8: Estado de tensiones del rotor

Tabla 2: Propiedades del material del rotor.

Propiedades	Unidad	Niquel-Aluminio-Bronce (NAB)
Clasificación material	-	Isotrópico
Densidad	kg/m^3	7530
Módulo de elasticidad	GPa	115
Coeficiente de Poisson	-	0.328
Módulo de corte	GPa	44
Esfuerzo límite de fluencia	MPa	240
Esfuerzo límite de ruptura	MPa	554
Esfuerzo admisible	MPa	120

La definición de las condiciones de contorno idealiza unas condiciones de carga y apoyo para el diseño en análisis, en este caso, las fuerzas de interés son las fuerzas de empuje y torque resultantes sobre cada sección de pala, estimadas utilizando el BEM para los TSR de interés y la velocidad de diseño. Como condición de apoyo se asumió que el rotor está empotrado sobre la base del cono.

4.2.3. Proceso de Optimización y Selección de Perfiles

El proceso de diseño de las palas fue realizado a través de una secuencia que incluye un proceso de optimización que tiene como objetivo obtener la mejor solución posible al problema de diseño especificado.

La formulación para la realización del proceso de optimización utilizada en este trabajo es la siguiente:

- Fronteras del sistema: el sistema en estudio está constituido por las palas y el cubo del rotor hidrocinético de eje horizontal.
- Función Objetivo: la función objetivo busca maximizar el coeficiente de potencia (C_p) del rotor hidrocinético de eje horizontal.
- Variables de control: la variables consideradas son la distribución de la cuerda y perfiles a lo largo de las palas del rotor hidrocinético de eje horizontal.
- Restricciones de diseño:
    - Condición de evaluación (operación), TSR 6, 7 y 8, son los TSR de interés.
    - Cavitación, área de generación menor a un 10% del área total de la pala. Considerando que porcentajes de área cavitante aceptados para hélices de barcos están entre el 2% al 30%.
    - Integridad estructural, el esfuerzo máximo presente debe ser inferior al esfuerzo de fluencia del material y la deformación máxima debe ser inferior a 5% de la longitud de cada pala.

La estrategia de optimización utilizada está basada en el método experimental de optimización, para lo cual se configuraron dos modelos de cálculo numérico, uno para la realización de cálculos fluido-dinámicos y otro para cálculos de estructurales. El proceso fue realizado en cuatro pasos, en los tres primeros se experimentó realizando variaciones en los parámetros de control, estableciéndose conclusiones sobre sus resultados para realizar nuevas modificaciones y en el cuarto paso se compararon los diseños obtenidos y se evaluó la cavitación (**Fig. 9**). Los diseños finales, de un total de más de 40 variantes, fueron denominados NACA_2_60 y NREL_1_60.



Fig. 9: Diagrama de flujo pasos estrategia de optimización.

Los resultados de los diseños seleccionados muestran claramente sus diferencias, ver Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12 y Fig. 13. Desde el punto de vista fluido-dinámico, puede observarse que el diseño de rotor usando perfiles NREL tiene un coeficiente de potencia superior en los TSR de interés y que, asimismo, tiene un coeficiente de empuje menor en los TSR de interés. Además,

el análisis demostró que este tipo de perfil genera un coeficiente de presión mínima menor y una distribución de presiones más homogénea.

Desde el punto de vista del análisis estructural realizado, se pudo observar que el esfuerzo y la deformación son menores para el rotor diseñado utilizando perfiles NREL (ver figs. 11 y 12).

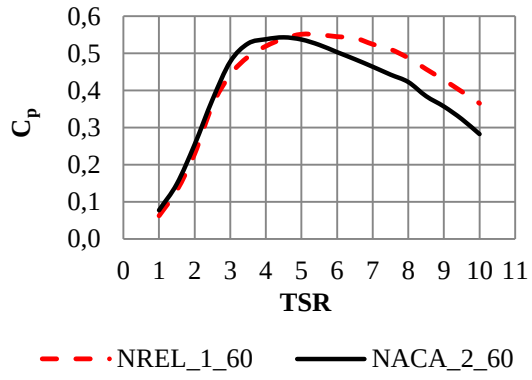


Fig. 10: Coeficiente de Potencia Método BEM para turbina sin difusor

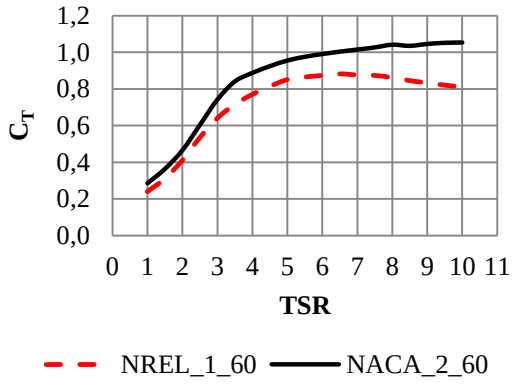


Fig. 11: Coeficiente de Empuje Método BEM para turbina sin difusor

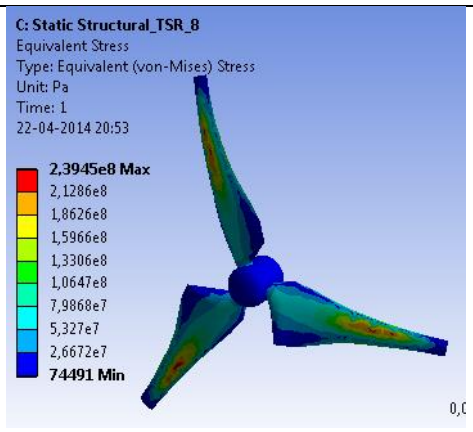


Fig. 12: Estado de tensiones del rotor NACA_2_60

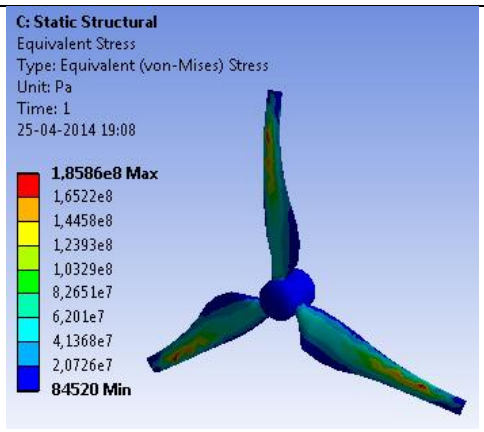


Fig. 13: Estado de tensiones del rotor NREL_1_60

Para la selección final de los perfiles se hizo uso de una matriz de evaluación, lo que permite realizar una evaluación más técnica de los diseños, en base a los resultados obtenidos en los distintos análisis realizados y permite obtener un resultado cuantitativo para la selección. La matriz permitió observar de forma clara que la utilización de perfiles NREL evaluados permite

obtener un rotor hidrocinético de eje horizontal que cumple de mejor forma los requerimientos establecidos para su diseño [10].

4.3. Análisis fluido-dinámico del conjunto rotor-difusor

En base a los diseños de difusor y de turbina seleccionados, se procedió al análisis fluido-dinámico del conjunto turbina-difusor mediante el código RANSE-CFD STAR-CCM+, con el objetivo de comprobar un correcto comportamiento del sistema en su conjunto y corroborar la aplicabilidad de estas herramientas para este tipo de aplicación. El modelamiento realizado, de carácter preliminar, fue considerado como estacionario con una región rotatoria y utilizó el modelo de turbulencia k-ε. La malla utilizada, de 2.3 millones de elementos, fue preparada mediante la herramienta de mallado automático del código. Se generaron resultados para TSR de 2 a 10. De los resultados obtenidos se puede observar que el flujo es representado de manera adecuada, tanto en las cercanías de las palas como en el difusor (ver Fig. 14). Asimismo, se puede observar un modelamiento adecuado del flujo en torno a los perfiles de las palas del rotor, para distintos TSR (ver Fig. 15).

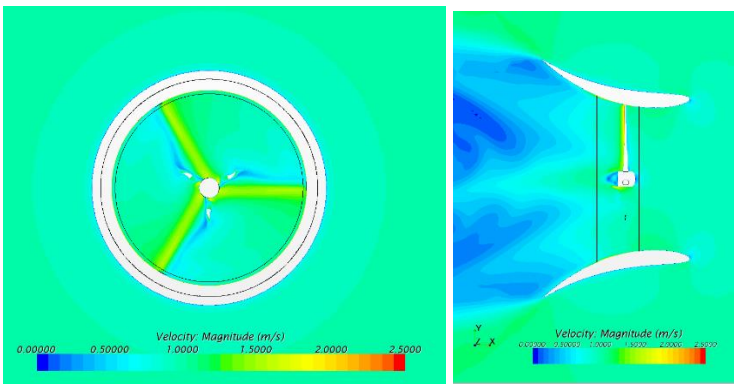


Fig. 14. Vista de corte transversal (izq.) y longitudinal (der.) del conjunto turbina-difusor y magnitudes de velocidad del flujo

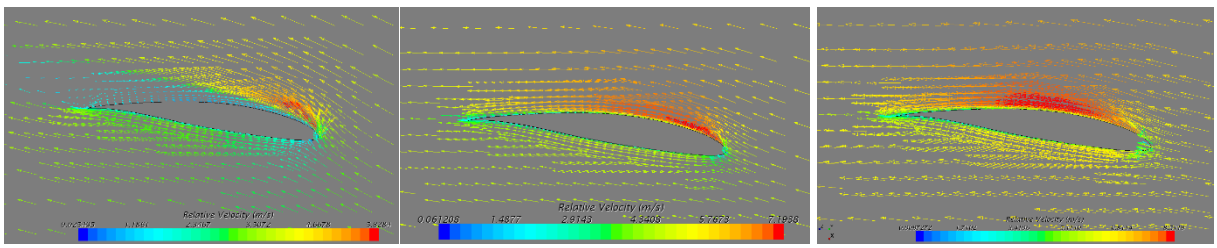


Fig. 15. Vista de corte de vectores de velocidad en r/R=0,8 para TSR=4 (izq.) TSR=6 (mitad) y TSR=8 (der.)

Los resultados obtenidos mediante RANSE-CFD para los coeficientes de potencia y empuje fueron comparados con los resultados obtenidos mediante BEM para el conjunto turbina-difusor, como se muestra en la Fig. 16, adaptándose para ello los resultados del método BEM para unas condiciones de operación equivalentes a la condición con difusor [10]. Se puede observar una gran similitud entre los resultados de ambos métodos, en especial para TSR mayores a 6. Para TSR bajos, la diferencia observada se puede atribuir a la dificultad del método BEM para simular correctamente el fenómeno de stall en las palas, lo que induce a una sobreestimación de los resultados.

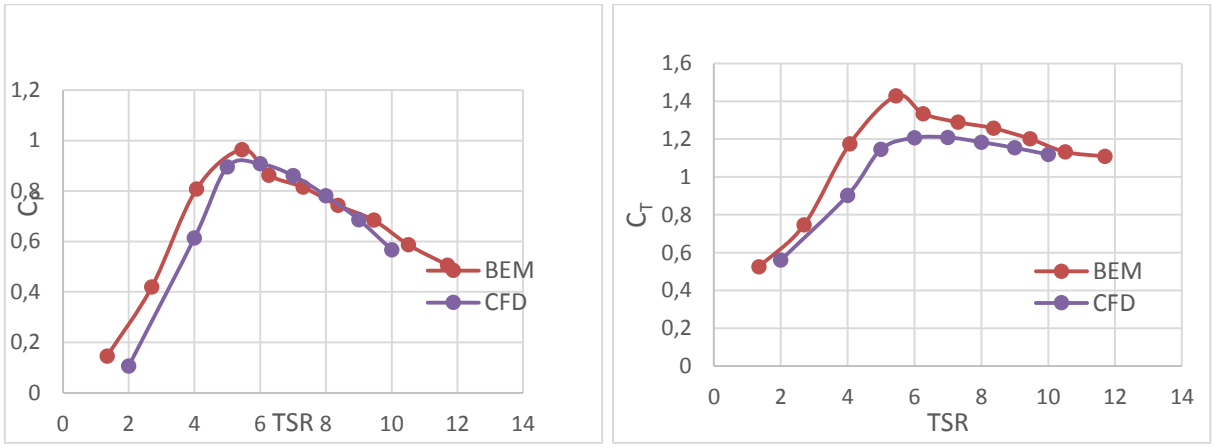


Fig. 16. Comparación de resultados de coeficiente de potencia y empuje para turbina con difusor según método de elemento de pala (BEM) y RANSE-CFD.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo demuestra la aplicabilidad de distintos métodos para el diseño de una turbina hidrocinética para corrientes mareales o de ríos, mediante el uso de diferentes familias de difusores y perfiles. Los resultados obtenidos muestran que con los perfiles NREL seleccionados, es posible obtener un rotor hidrocinético de eje horizontal que posee un mejor comportamiento que el diseñado con los perfiles NACA seleccionados, con una eficiencia en la captura de energía un 6% mayor en promedio para los TSR de interés y menores esfuerzos estructurales.

Asimismo, los resultados obtenidos demuestran la validez del uso de métodos BEM para el diseño preliminar y/o optimización de palas, así como la aplicabilidad de métodos RANSE-CFD para evaluar el comportamiento del conjunto rotor-difusor. De este modo, se concluye que para la

obtención de diseños de turbinas hidrocinéticas óptimas se requiere del desarrollo de perfiles especialmente seleccionados para ser incorporados a este tipo de rotores, así como de difusores óptimos capaces de maximizar el flujo másico y así aumentar la potencia extraíble. Considerando todas las condiciones en las que operará la turbina en un curso de agua (canal marino o río), se deben tomar además en cuenta consideraciones prácticas y/o sujetas a criterios operacionales, tales como la profundidad de instalación, las incrustaciones de organismos marinos y algas, y el material con el cual serán fabricadas las palas del rotor. Considerando las altas exigencias estructurales y las condiciones propias del medio acuático, la materialidad de las palas es una variable importante al momento de diseñar las palas del rotor, se cree que el uso de materiales compuestos ayudará a cumplir de mejor forma con los requerimientos de diseño, dadas las características mecánicas que se pueden obtener con la adecuada configuración de este material.

Finalmente, se considera que para abordar de manera aún más profunda el objeto del presente análisis, sería recomendable la realización de pruebas experimentales en un canal de ensayos hidrodinámicos a futuro.

6. Bibliografía

[1] J. Cruz, M. Thomson y E. Stavroulia, «Preliminary site selecction - Chilean marine energy resources,» Garrad Hassan, 2009.

[2] G. Tampier, E. Patroni, R. Mancilla y C. Troncoso, «Proyecto: Prospección de Conceptos Tecnológicos para el Desarrollo de Turbinas Mareomotrices para el Sector Acuícola. Perfil I+D Aplicada 12IDL1-13189,» Universidad Austral de Chile, Valdivia, 2013.

[3] T. J. Tangler, «The evolution of rotor and blade design,» National Renewable Energy Laboratory, 2000.

[4] J. L. Tangler, «NREL Airfoil Families for HAWTs,» National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, 1995.

[5] K. M. Foreman, B. Gilbert y R. A. Oman, «Diffuser augmentation of wind turbines,» Gruman Aerospace Corporation, New York, 1979.

[6] O. d. Vries, «Fluid Dynamics Aspects of Wind Energy Conversion,» 1979.

[7] P. Jamieson, Innovation in wind turbine design, Primera ed., Wiley, 2011.

[8] K. M. Foreman y B. L. Gilbert, «Further investigations of diffuser augmented wind turbines. Part 2,» Grumman Aerospace Corporation, New York, 1979.

[9] E. Patroni, «Estudio Hidrodinámico de Difusores para la Generación de Electricidad Hidrocinética por medio de Herramientas Numéricas,» Tesis Universidad Austral de Chile, 2013.

[10] C. Troncoso P., «Diseño de un Rotor Hidrocinético utilizando Perfiles NACA y NREL,» Tesis de Magíster Universidad Austral de Chile, 2014.

[11] J. W. G. P. C. N. C. P. D. Marten, «QBlade: an Open Source Tool for Design and Simulation of Horizontal and Vertical Axis Wind Turbines,» *International Journal of Emerging Technologies and Advanced Engineering,* vol. 3, nº 3, pp. 264-269, 2013.

[12] M. Drela y H. Youngren, «XFOIL 6.94 User Guide,» 2001.

[13] M. d. a. M. B. Giles, «ISES: A Two-Dimensional Viscous Aerodynamic Design and Analysis Code,» *AIAA,* nº 424, 1987.

[14] M. O. L. Hansen, Aerodynamics of Wind Turbines, London: Earthscan, 2008.

[15] M. Ragheb y A. M. Ragheb, «Wind Turbine Theory - The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio,» *Fundamental and Advanced Topics in Wind Power,* pp. 1-10, 2011.

[16] Ohya, Yuji, Karasudani, Takashi, Sakurai, Akira, Abe, Ken-Ichi, Inoue y Masahiro, «Development of a shrouded wind turbine with a flanged diffuser,» *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics,* vol. 96, nº 5, pp. 524-539, 2008-05.

[17] M. O. L. S. N. N. &. F. Hansen, «Effect of placing a diffuser around a wind turbine,» *Wind Energy,* vol. 3, nº 4, pp. 207-213, Agosto 2000.

[18] C. P. Van Dam, «The aerodynamic design of multi-element high-lift systems for transport airplanes,» *Progress in Aerospace Sciences,* vol. 38, nº 2, pp. 101-144, 2002.

[19] A. Betz, «Das maximum der theoretisch möglichen ausnützung des windes durch windmotoren,» *Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen,* vol. 26, pp. 307-309, 1920.

[20] P. South, R. Mitchell y E. Jacobs, «Strtegies for the evaluation of advanced wind energy concepts,» U.S. Department of Energy, 1983.

[21] J. Anderson, «Fundamentals of aerodynamics,» McGraw-Hill, New York, 2001.

Diseño de los sistemas de comunicación, navegación y automatización de un buque fluvial de acción social

Clara Tatiana Cañón Perdomo
Universidad Industrial de Santander, Cll 17 N°32-56, clara.canon@correo.uis.edu.co

Roberth Arturo Alvarez Jimenez
Universidad Industrial de Santander, Cll 11ª N°25-28, roberth.alvarez@correo.uis.edu.co

BUCARAMANGA, SANTANDER

COLOMBIA

INTRODUCCIÓN

Analizando las necesidades que surgen a partir de la población cercana a los caudales fluviales (El rio Amazonas), se inició una propuesta para la construcción de un buque de acción social tipo hospitalario que preste sus servicios a estas comunidades de difícil acceso terrestre y alejadas de los grandes centros urbanos. Como parte de la ingeniería del buque es necesario de la presencia de los sistemas de navegación, comunicación y automatización en los buques de transporte fluvial, que permiten optimizar la operación de estos y garantizar una mayor seguridad durante los periodos de navegación. Por esta razón y debido al desarrollo tecnológico constante se hace necesario mantenerse en la vanguardia de nuevos dispositivos y técnicas en campos como la instrumentación, las telecomunicaciones y la domótica.

La unidad de comunicación planteada satisface los puntos necesarios para la comunicación interna por medio de teléfonos interconectados en el buque, comunicación externa utilizando equipos de VHF para la conexión con puertos y otras embarcaciones; el servicio de internet satelital con equipos de última generación, y sistemas de emergencias. Además se cuenta con un servicio de entretenimiento basado en sistemas de televisión satelital para cada habitación.

En cuanto al sistema de navegación, el diseño cuenta con los equipos necesarios para movilizarse sin mayores contratiempos, tales como equipos de trazado de rutas, monitoreo del clima, medidores de velocidad, etc. Con el fin de facilitar el manejo de la embarcación.

El sistema de automatización comprende los aspectos propios del control y la ejecución de acciones de emergencia y accesos internos del buque. Procesos que se dirigen desde el cuarto de automatización y son de gran importancia para garantizar el correcto funcionamiento del buque y la eficacia en la prestación de los servicios hospitalarios.

Objetivo general

- Diseñar los sistemas electrónicos de un buque hospitalario para operación en el rio Amazonas

- El buque se proyectará para una vida útil determinada de modo que resulte seguro y ambientalmente inocuo cuando su explotación y mantenimiento sea el adecuado en las condiciones operacionales.

Objetivos específicos

- Seleccionar equipos necesarios para la red de comunicaciones, de navegación y de automatización, así como su ubicación en la embarcación.
- Establecer confiabilidad en la estructura, accesorios para que permitan disponer de medios seguros de acceso, evacuación e inspección.
- Seleccionar un controlador lógico programable a emplear para la aplicación.

MATERIAL Y MÉTODOS

NAVEGACIÓN Y COMUNICACIONES

NAVEGACIÓN

Para una óptima navegación fluvial, es necesario establecer una posición en espacio y tiempo real. Por medio de la integración de los datos ofrecidos por acelerómetros y/o giróscopos situados a bordo, se mantienen unidas, en complejos sistemas electrónicos las aceleraciones sufridas, que convertidas en velocidades (en los 3 ejes posibles de desplazamiento) y en función de los rumbos observados, posibilitan la obtención de la posición.

La Navegación es muy utilizada por los pilotos náuticos, con el fin de determinar la tanto la posición presente, así como el rumbo y velocidad óptimos para llegar al punto de destino.

PRINCIPALES SISTEMAS DE LA UNIDAD

Sistema de Navegación

El sistema de Navegación de la Unidad cuenta con los siguientes equipos:

Gps Garmin 4008, Radar Arpa Furuno, Ecosonda Elac Laz 5100, Corredera Doppler Modelo ds-80, Compás electromagnético: (giro-brújula para barco / electrónico - pg 700), Giroscopio (modelo pg-500).

GPS: (GARMIN 4008), Es un sistema vital para la navegación con el cual se determina la posición exacta de la unidad, ya que ofrece la latitud y la longitud. En la unidad, se tienen dos GPS los cuales están ubicados en el CIC y Cuarto de Cartas. Permiten que un barco equipado con un receptor adecuado pueda determinar su posición mediante la recepción de ondas electromagnéticas emitidas desde varios satélites situados en órbita terrestre baja. El GPS que la unidad utilizará en el cuarto de cartas, será el GARMIN 4008, el cual contiene los más altos estándares de navegación.

CARTOGRAFÍA: (FALCON VIEW WINDOWS), Es la Carta Digitalizada que se interconecta con Gps y radar para que obtener la presente ubicación del buque, siendo esta un software que muestra los diferentes tipos de mapas y superposiciones geográficamente referenciadas.

RADAR: (ARPA - FAR-2117), sirve para determinar la demora y distancia de un objeto. Funciona mediante la emisión de pulsos de microondas y la recepción de los ecos reflejados por el blanco. El radar consta de los siguientes bloques lógicos: Un transmisor que genera las señales de radio por medio de un oscilador controlado por un modulador, un receptor en el que los ecos recibidos se llevan a una frecuencia intermedia con un mezclador. No debe añadir ruido adicional, Un duplexor que permite usar la antena para transmitir o recibir, el Hardware de control y de procesado de señal, y la Interfaz de usuario.

CORRENTÓMETRO: (CI-68), El correntómetro va a ser el instrumento apto a medir la velocidad de corrientes en el río y la dirección en tres capas de la profundidad y la velocidad de la nave en un 10.4color de alta definición LCD.

CORREDERA DOPPLER: (MODELO DS-80), Esta indica la velocidad y distancia en una pantalla LCD amplia e iluminada con una unidad de presentación compacta y alta precisión utilizando el efecto Doppler; el haz pareado elimina el efecto del cabeceo; corrección de lectura de velocidad para variación de la temperatura del agua, con una fácil calibración en pruebas de agua y una salida de velocidad para ARPA, radar, ECDIS, AIS, VDR, equipos GMDSS, etc.

ECOSONDA:(ELAC LAZ 5100) La ecosonda, es el instrumento empleado en navegación especialmente cuando se navega en aguas poco profundas o por aguas restringidas. Este instrumento permite al maniobrista saber la profundidad a la cual la unidad se encuentra navegando. De igual manera, el navegante correlaciona esta información con la cartografía, de tal forma que se mantiene actualizada la derrota que se debe seguir cuando se ingresa a nuevos canales. EL buque fluvial Hospitalario, cuenta con una Ecosonda marca ELAC LAZ 5100, la cual es considerada de alta tecnología.

COMPÁS ELECTROMAGNÉTICO: (GIRO-BRÚJULA PARA BARCO / ELECTRÓNICO - PG 700) Es el instrumento que permite a la unidad determinar el norte magnético y el rumbo que se lleva con respecto a este. El PG-700 es una tarifa compensada dirigiendo el sensor que incorpora la tecnología electromagnética innovadora del compás para las lecturas altamente exactas y estables del título de su nave. Estos componentes sofisticados se contienen dentro de un caso rugoso, compacto. Los elementos únicos del diseño hacen el PG-700 virtualmente sin necesidad de mantenimiento y fácil a la instalación. El sensor del título PG-700 detecta magnetismo terrestre y produce los datos del compás que pueden ser adentro utilizados red de autobús de la PODER.

GIROSCOPIO: (MODELO PG-500), este dispositivo mecánico permite medir, mantener o cambiar la orientación en el espacio del buque fluvial, siendo una carcasa compacta resistente al agua con indicadores de estado visuales para facilitar la instalación, y cuenta con tres puertos de salida de datos rumbo; dos puertos IEC/NMEA, un puerto AD-10; y una salida de alta velocidad para los datos de rumbo con formato IEC 61162-2.

Estos elementos son métodos que se utilizan en navegación fluvial, para dar solución a los tres problemas del navegante:

1. Determinar el **rumbo**.
2. Determinar el **tiempo**, la **velocidad** y **distancia**, mientras dure el viaje.
3. Conocer la "profundidad" en la que se está navegando para no encallarse.

Es la navegación y situación del buque por técnicas de posicionamiento basadas en las ayudas obtenidas por los instrumentos electrónicos que supusieron un cambio radical en las técnicas de pilotaje y navegación.

COMUNICACIONES

Basado en nodos de conmutación y estaciones base, es de vital importancia contar con la gestión del sistema, para reducir los tiempos de espera y garantizar cortos periodos de establecimiento en las llamadas (500 ms), teniendo en cuenta que los usuarios comparten automáticamente los recursos del sistema y se tiene una alta funcionalidad en servicios de emergencias y seguridad en transmisión de voz y datos.

La Conmutación que se presenta se considera como la acción de establecer una vía, un camino, de extremo a extremo entre dos puntos, un emisor (Tx) y un receptor (Rx) a través de nodos o equipos de transmisión. La conmutación va a permitir la entrega de la señal desde el origen hasta el destino requerido.

SISTEMA DE COMUNICACIONES CON EL EXTERIOR DE LA UNIDAD

La unidad tipo fluvial, para las comunicaciones con el exterior cuando se encuentra en cumplimiento de las órdenes de operación, cuenta con sistemas para las siguientes bandas y equipos.

Radios UHF Portátiles, Radios VHF base (canal 16), Radio UHF Red de Comando, Radio VHF Táctico Pr4g, Radios HF, Seguridad de voz, Teléfono satelital, Microondas móvil.

HF: existen tres equipos para esta banda y se encuentran en radio principal, sus antenas están ubicadas una a cada lado de la chimenea y la otra en la cubierta principal por el costado de estribor.

VHF: se cuenta con dos equipos de VHF uno ubicado en el puente con su respectiva antena en la cubierta y otro que se coloca en donde este la guardia del buque el cual lleva una antena que se instala donde este el equipo.

VHF-FM táctico: ubicado en el cuarto principal de radio, es de color verde y su antena está en la cubierta principal.

V/UHF: Existen cinco equipos de VUHF (AM o FM); todos son operados desde el cuarto principal de radio, sus antenas se encuentran en el mástil principal son de color gris y una se encuentra en la cubierta principal.

UHF: se cuenta con dos equipos para esta banda ubicados en el cuarto principal de radio y sus antenas están en el penol de la verga del mástil y en la cubierta principal.

UHF RED DE COMANDO: Es un equipo Motorola ubicado en el puente y su antena se encuentra en la cubierta principal en el costado de ESTRIBOR.

MICRO ONDAS: Ubicado en el cuarto principal de radio con su antena en la cubierta.

TELÉFONO SATELITAL: Estos están en el cuarto principal de radio y su antena está en la cubierta.

EQUIPOS PORTÁTILES: 3 equipos portátiles de VHF y 5 de UHF. *

TELÉFONO RED MOVIL. Cuenta la unidad con 01. *

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LOS EQUIPOS

Radios portátiles UHF-HT 1000

Radio UHF-HT 1000

Características: Rango de frecuencia 403 a 512 Mhz, Batería de níquel cadmio recargable 7.5 V D.C, Potencia de salida de 2 a 5 watts. Compatibilidad con seguridad de voz y modo claro

Precauciones de seguridad

Antes de Instalar la Batería se debe verificar que el radio está apagado, nunca se debe transmitir cuando el radio se encuentra en el cargador

Nunca se debe transmitir cuando el radio está sin antena.

No se debe permitir que los rayos solares caigan directamente y por periodos largos de tiempo sobre el radio.

Evitar que caiga agua sobre el radio.

Evitar golpear el radio y utilizar los accesorios adecuados.

No doblar la antena.

RADIOS VHF-FM BASE

Características

Modulación: FM/AM

Potencia de salida: Alta 25 W Y Baja 5 W

Rango de Frecuencia: 156 – 158 Mhz en canales preestablecidos.

Por ejemplo

Canal 16 frecuencia 156.800 Mhz

Canal 13 frecuencia 156.650 Mhz

Función: Se utiliza para comunicaciones marinas entre unidades de superficie.

Ubicación: 02 en el puente – 01 en la caja de megáfono auxiliar en la popa

Tipo de Antena: Látigo.

RADIO UHF RED DE COMANDO (UHF MOTOROLA ASTRO)

Características

Rango de Frecuencia: 482 a 512 Mhz

El sistema UHF comprende varias redes locales instaladas y se utilizan como apoyo en las comunicaciones para misiones operacionales y administrativas requeridas por cada comando.

Canales punto a punto

Canales a través de repetidoras

RADIO V/UHF TRG 6035

o VHF/AM 108 a 155.975 Mhz

o VHF/FM 137 a 173.975 Mhz

o UHF/AM 225 a 399.975 Mhz

VHF TACTICO PR4G

La Función de este radio, son las comunicaciones con unidades de superficie a cortas distancias con seguridad de voz de B.C.L (búsqueda de canal libre), salto de frecuencia y mixto.

Características

TRC 9500-3, Marca Thompson de fabricación francesa.

Modulación: FM

Rango de frecuencia: 30 a 79.975 Mhz.

Potencia de salida: Tres escalas (baja, media, alta).

Ubicación: radio principal.

Tipo de antena: whip

SISTEMA DE HF

Son conocidos como el HF Thomson, el cual tiene la función de mantener las comunicaciones de la unidad a un largo alcance, con la capacidad de comunicar tanto por fónica como mediante transmisión de datos. Las principales características son:

- Cantidad: 03 equipos
- Modulación: CW, USB, LSB Y SSB.
- Rango de frecuencia: 1.6 a 29.9 MHz.
- Potencia de salida: Máxima 1 Kw y mínima 32 Watt.
- Tipo de antena: whip , peso : 64kg, altura 11.04 m

 Ubicación: se encuentran en el radio principal

Módulos que los conforman

• TMR 1090 – Amplificador de potencia.
• TMR 8090 – Receptor excitador.
• MRQ –Software que controla el sistema.
• MSR 6419 A – Panel de audio.
• MSR 4050 – Acoplador de antena.

SISTEMA DE COMUNICACIONES INTERNAS

TELEFONOS PARA EMERGENCIAS INTERNAS DEL BUQUE

TELEFONOS SOUND POWERED: (FUCHENG modelo HSC-8J HSC-12J), La serie HSC está diseñado de acuerdo a las reglas y regulaciones de la CCS. Se utiliza como sonido desarrollado y teléfonos batería común para la comunicación a borde del buque. El usuario puede utilizar el sonido alimentado teléfono con potencia 24VDC para comunicarse, la llamada telefónica cambiará a sonido Powered llamada automáticamente cuando esté apagado. El ruido a prueba de sonido desarrollado con auriculares a prueba de ruido, puede ser utilizado bajo los 110dB ruido de ambiente. Adjunto trae una luz intermitente como unidad de señalización para ser utilizado en la sala de máquinas y otras zonas de ruidos.

Existen cinco sistemas de comunicaciones interiores así:

TELÉFONOS AUTOEXCITADOS.
La red de teléfonos auto excitados a bordo de la unidad comprende tres circuitos:

ÁREA	
• **Circuitos de Máquinas**	Circuito de ingeniería (ING)
• **Circuito de Control de Averías**	Circuito CA1 Circuito CA2

	Circuito CAP
• **Circuito de navegación y maniobra**	Circuito de navegación. NAV
	Circuito de maniobra. MAN

INTERCOMUNICADORES.

La red de intercomunicadores comprende dos circuitos independientes a saber:

 Circuito de Navegación.

 Circuito de Ingeniería.

TELÉFONOS AUTOMÁTICOS.

El buque cuenta con una red de 50 teléfonos automáticos del No. 10 al No. 59, los cuales comunican a la gran mayoría de los compartimentos.

1 unidad de control

1 mesa de operaciones

36 teléfonos murales

12 teléfonos murales estancos

1 teléfono mural estanco portátil

MEGÁFONO

Se compone de seis circuitos que permiten anunciar llamadas dirigidas a determinados sectores del buque así: Oficiales, tripulación, Ingeniería, sobre cubierta, Electrónica, Central (para pruebas).

EQUIPOS DE COMUNICACIÓN RHODE Y TRUNKING

El Sistema Radio **Trunking** son sistemas de radiocomunicaciones móviles para aplicaciones privadas, formando grupos y subgrupos de usuarios, con las siguientes características principales:

-Estructura de red celular (independientes de las redes públicas de telefonía móvil)

-Los usuarios comparten los recursos del sistema de forma automática y organizada.

-Cuando se requiere, por el tipo de servicio, es posible el establecimiento de canales prioritarios de emergencia que predominarían sobre el resto de comunicaciones del grupo.

A su vez, el trunking es un sistema de radio en el que todas las comunicaciones van precedidas de un código de llamada similar a una telefónica; si nuestro equipo la recibe y no es el destinatario la emite de nuevo, actuando como repetidor, y si es el destinatario se establece un circuito para asegurar la comunicación. Por lo tanto sólo oímos las comunicaciones destinadas a nosotros. Dependiendo del servicio instalado se puede implementar conexión a la red de telefonía pública.

AUTOMATIZACION

El proyecto domótico puede dividirse en tres fases: PREESTUDIO (conocer las necesidades del usuario, establecer el conjunto de aplicaciones, contemplar las ampliaciones y elegir la tecnología), DEFINICIÓN (aplicaciones implementadas, elementos de la instalación, ubicación de los dispositivos y redes utilizadas, recursos y duración, pruebas), INSTALACIÓN (comprobar el funcionamiento, asegurar la calidad, formar a los usuarios, entrega).
El diseño de redes de telecomunicación se divide en el diseño de la capa lógica, que determina la estructura jerárquica de la red. Se establecen cifras como la distribución de tráfico, la matriz de la demanda y el establecimiento de los circuitos, enlaces a nivel lógico necesarios. Y en el diseño de la capa física que se encarga de fijar la topología estableciendo los sistemas de transmisión necesarios.

El PLC (TWDLMDA20DRT- Scheneider electric) establecido para este buque de acción social, se da para entregar las señales a actuadores (dispositivos encargados de realizar las acciones de respuesta a los eventos que se controlan), siendo este el intermediario para posibles eventos que puedan ocurrir y posibles acciones a realizar.
En el cuarto de mando se instalará un computador siendo el indicador que registra los eventos, usando un programa labview para poder automatizar mediante las tarjetas de comunicación. Manejará un cable de datos comunicación Ethernet TCP/IP o comunicación serial.

SISTEMA DE EMERGENCIA

-Indicadores de sobrecarg.
-ON/OFF Motores para la sala de máquinas.
-Detectores de humo para cada habitación. (Válvulas que activan los riegos de agua en caso de incendios mediante el PLC.

-Sensores de inundación para la planta baja.

DOMÓTICA

-CONTROL DE ACCESO (Accesibilidad inteligente).

-Sensores de presencia (para pasillos).

-Ingreso a cada habitación por medio de tarjetas electrónicas. //Control de acceso interno, tarjetas RFID, transpondedor pasivo.

-Sensores de proximidad (Agua) (para cada cuarto de baño y salas quirúrgicas)

-Sensores infrarrojos, para tasas sanitarias.

SISTEMAS PARA EL CONTROL DE ILUMINACION

Se plantea el diseño e implementación del sistema de monitorización y control de la iluminación, temperatura, inundaciones y/o fugas de agua, y alarmas contra intrusiones en un ambiente de consultorios. Así mismo, se implementa un sistema aleatorio de simulación de presencia, basado en un generador congruencial lineal, de manera que las zonas establecidas por el usuario y el tiempo de activación sean aleatorios; sistema que permite proporcionar un nivel de seguridad preventivo a la unidad.

Para la implementación de este tipo de sistema, se requiere la instalación de controladores lógicos programable conectados a través de modbus sobre TCP/IP, sensores de presencia infrarrojo pasivos, temperatura, caudal y relés electromecánicos para efectuar las acciones de control, seleccionados e instalados bajo las recomendaciones propuestas en un diseño; permitiendo la implementación del sistema diseñado y la verificación de su correcto funcionamiento.

RESULTADOS

Descripcion del montaje y de cada equipo (presentación Power Point)

CONCLUSIONES

- Se estableció una red de navegación con los elementos prioritarios dándole esta una facilidad y confianza para el piloto náutico.
- Por medio de la red de comunicación dada, se podrá enlazar a las comunidades que requieran de estos servicios con mayor rapidez y velocidad en tiempo real. Para la comunicación interna se brinda una mayor seguridad al momento de mandar/recibir un mensaje, definiendo un usuario establecido.
- A través de esta red, el buque queda dotado con los requerimientos necesarios para quedar operativo en la zona dada.
- La comunicación es un recurso que nos mantiene informados para la buena ruta de riego, a través de cambios fluviales que se puedan presentar.
- Mediante la red de diseño establecida, se pudo obtener una visión de un buque hospitalario moderno brindando los mejores servicios a las poblaciones aisladas, estando dotado por la última tecnología para que estén preparados los operadores con equipos a la vanguardia que faciliten sus prestaciones de trabajo.
- A través de este diseño, se da la implementación de un sistema modular de control de iluminación, temperatura, y fugas de agua con un controlador lógico programable.
- Para evitar los riesgos de higiene, se automatizó el sector de baños y lavados dándonos una sanidad adecuada y óptima.
- La domótica responde ante sistemas de emergencias prioritarios.
- Los sistemas de automatización innovan en este proyecto, dándole un status de seguridad y confianza al buque donde se puedan implementar aplicaciones adicionales.
- Estos sistemas proveen los servicios óptimos para catalogarlo como hospitalario.

Análisis técnico y operacional de sistema de transporte marítimo de agua dulce en contenedores flexibles

M. Salas, **A. Santander**, **G. Tampier** y **F. Zilic**
Instituto de Ciencias Navales y Marítimas
Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile

RESUMEN

Existen zonas pobladas con serios problemas de escasez de agua. La provisión de agua potable para consumo humano es crítica en algunas regiones. Además, la agricultura y actividades industriales como la minería, requieren cantidades significativas de agua y muchos proyectos actualmente no son viables por falta de agua.

El agua dulce tiene una densidad menor que el agua de mar y por lo tanto flota en agua salada. El presente trabajo analiza la factibilidad técnica y económica de transportar agua dulce en contenedores flexibles (Bolsas de Agua Gigantes: BAGs), desde zonas de abundancia hídrica, hacia zonas de escasez de agua, ya sea está situación permanente o estacional.

El sistema también puede diseñarse para proveer un medio rápido para transportar grandes cantidades de agua potable a zonas costeras afectadas por una crisis de escasez de agua, causada, por ejemplo, por una catástrofe natural. Conceptualmente el transporte de grandes volúmenes de agua puede hacerse a un costo muy económico si la velocidad de remolque se mantiene suficientemente baja.

1.- Introducción

Existe suficiente agua para las necesidades de la población humana y las actividades económicas en el mundo, el problema es cómo transportar agua desde zonas de relativa abundancia, hasta zonas de escasez, a costos reducidos y sin grandes inversiones. Existen propuestas de solución que requieren grandes inversiones, como son los casos de las llamadas "carreteras hídricas" que proponen la construcción de extensos ductos, submarinos o soterrados, o tecnologías ya probadas, como plantas desalinizadoras, ambas soluciones requieren altísimas inversiones iniciales, en el orden de cientos de millones de dólares en el caso de las plantas desalinizadoras y miles de millones de dólares, en el caso de una carretera hídrica, además ambas soluciones son costosas de operar ya que requieren grandes cantidades de energía, por lo que solo son competitivas en países donde la energía es barata, que no es el caso de Chile, por ejemplo. Estudios publicados en la literatura técnica indican que la desalinización de agua es una tecnología madura y no es esperable que los costos disminuyan notoriamente en un futuro cercano.

Las causas de problema de escasez hídrica son el agotamiento o disminución de las fuentes tradicionales de agua, tales como ríos o perforación de pozos para aprovechamiento de napas subterráneas. Cambios climáticos en desarrollo apuntan a que es probable que la escasez de agua pueda ser prolongada en zonas donde la situación anteriormente no era crítica. El conocido fenómeno de El Niño ocasiona periodos de sequía en algunas regiones, los cuales pueden prolongarse por años. Es difícil predecir la duración de los periodos de sequía, no existen modelos científicos que sean determinantes para predecir el clima en una determinada región con años de anticipación. Esto mismo representa una oportunidad para modelos de transporte de agua de baja inversión, como el propuesto, debido a que optar por soluciones de alta inversión, como plantas desalinizadores puede inmovilizar grandes inversiones sin tener certeza si realmente son necesarias, por ejemplo en California en 1992 se construyó la planta desalinizadora de Santa Barbara, con una inversión de US$36 millones, sin embargo hasta hoy nunca ha sido usada y reactivarla en caso de crisis puede requerir inversiones adicionales significativas [13].

Cuantificar el posible beneficio de contar con un sistema de transporte masivo de agua, por ejemplo a zonas de catástrofes, es también importante. Evidentemente el costo de transportar agua en camiones es mucho más caro y contaminante que cualquier alternativa de transporte marítimo. Sabido es que el transporte marítimo es por lejos más eficiente que el terrestre. Por

ejemplo un solo contenedor flexible de 20.000 m^3, reemplaza a 800 camiones que transporten 25 toneladas de agua.

Finalmente se debe tener en cuenta el valor social del agua de alta calidad (libre de contaminantes) para la población. El efecto del agua potable de mala calidad sobre la salud de la población es muchas veces conocido solo a largo plazo y su costo social y económico para el estado, que deberá pagar para tratar las enfermedades producidas, puede ser enorme. Más aún, si se puede contar con agua de buena calidad para la población, se pueden liberar recursos hídricos de inferior calidad, pero perfectamente aceptables para actividades agrícolas e industriales.

El problema de escasez hídrica debe abordarse mediante la investigación con el fin de evaluar alternativas potencialmente más económicas que las actualmente existentes. No deberían tomarse decisiones sobre la implementación de soluciones que requieren grandes inversiones como es el caso de plantas desalinizadoras (decenas o centenas de millones de dólares), o "carreteras hídricas" que requieren aún más inversión inicial (en el orden de miles de millones de dólares) y bien podrían quedar obsoletas si el costo de bombeo de agua a lo largo de cientos o miles de kilómetros prueba ser más caro con respecto a otras opciones, como el remolque de contenedores flotantes flexibles. Más aún cabe preguntarse si es factible que el transporte de grandes masas de agua en bolsas gigantes pueda ser "gratis" si fuese posible mantener las bolsas en curso aprovechando las corrientes oceánicas. No debe descartarse que la energía de remolque también pueda ser aportada en parte por mecanismos eólicos, tales como grandes cometas (kites), actualmente en experimentación como propulsión auxiliar en buques mercantes [8], [9].

2.- Estado del arte

El transporte de agua se refiere a la acción de mover, intencionalmente, el fluido sobre largas distancias. Esto se realiza tradicionalmente mediante acueductos y trasladando estanques rígidos por vía marítima o terrestre.

La actividad de transportar agua se realiza cuando existe escasez del recurso hídrico en una zona en particular o cuando su calidad es demasiado baja para algún fin en específico, como ocurre en la zona norte de Chile en que no sólo se dificulta la obtención sino que, además, presenta altas concentraciones de contaminantes que podrían estar afectando la salud de la

población. El agua, además, suele ser un recurso que debe abastecerse desde lugares externos hacia zonas de catástrofe para evitar la transmisión de agentes patógenos [10].

A causa de su considerable densidad, el transporte de agua es una actividad altamente demandante en recursos de infraestructura y/o energéticos. Este problema se acrecienta aún más dada la naturaleza de Chile, país de enorme longitud que posee una alta disponibilidad del recurso hídrico en un su extremo sur austral y una marcada escasez en la zona centro-norte. Otros métodos de obtención de agua, como la desalinización, han probado ser en extremo costosos [6], mientras que la construcción de más embalses no es una solución viable para algunas zonas del país.

La idea de transportar agua en contenedores flotantes es probablemente tan antigua como la navegación. Recientemente existen antecedentes que datan de la década de 1980 que incluyen diseños de largos contenedores monolíticos, o de trenes de compartimentos pequeños estancos en sí mismos y conectados mediante cuerdas, mangas que los envuelven o sistemas de cierres de cremallera impermeables [1].

Uno de los principales desarrollos recientes ha sido la Spragg Bag™, tecnología desarrollada, patentada y probada por Terry G. Spragg & Associates. Su trabajo consistió en varias bolsas enlazadas en forma de tren, capaces de transportar casi 3000 metros cúbicos de agua en un espacio de 70,1 metros de largo y 7,6 metros de diámetro [11].

En 1996 la Spragg Bag™ fue puesta a prueba en mar abierto, integrada por dos compartimentos unidos por un cierre. La bolsa fue trasladada exitosamente sobre una distancia de 100 millas [7].

Nordic Water Supply, una compañía noruega, logró desarrollar una bolsa con capacidad para movilizar 10.800 metros cúbicos en 1997, tras sucesivas pruebas fallidas por problemas estructurales relacionados a los esfuerzos provocados durante el remolque [7].

La compañía logró cerrar un acuerdo con el gobierno de Turquía para transportar 7 millones de metros cúbicos de agua hasta la zona norte de Chipre, sobre una distancia de aproximadamente 75 kilómetros durante un lapso de dos años. No obstante lo anterior, el contrato fue terminado tras sólo haber transportado 4 millones de metros cúbicos en cuatro años, tras lo cual la compañía se declaró en quiebra [1].

La compañía MH Waters reportó a la prensa en 2008 tener estudios para transportar bolsas con una capacidad de 1,5 millones de metros cúbicos en 670 metros de largo, 160 de ancho y 20 de

profundidad entre Nueva Zelanda y las zonas áridas de Australia [14], sin embargo no se conoce información relativa al éxito o fracaso del proyecto. Otra investigación australiana ha evaluado como factible la alternativa de utilizar las corrientes marinas para abaratar los costos de transporte [3], idea similar a aprovechar la corriente de Humboldt, para el caso de Chile.

Uno de los trabajos de investigación y desarrollo más recientes relativo a las bolsas flexibles para transporte de agua es el realizado por un consorcio de empresas financiadas por la Comisión Europea, proyecto que entre 2010 y 2012 desarrolló exitosamente un prototipo de mediano tamaño denominado REFRESH con capacidad para transportar 200 metros cúbicos en tres compartimentos modulares unidos por cierres estancos. El ensayo consistió en un traslado a remolque sobre una distancia de 16 millas náuticas, habiendo montado una batería de sensores para medir el comportamiento estructural del contenedor flexible [1]. No solo es importante no sobrepasar los esfuerzos admisibles del material, también debe considerarse el comportamiento a fatiga del contenedor flotando [5].

Actualmente, el mismo consorcio de empresas se encuentra desarrollando una segunda instancia de ese proyecto denominada XXL-REFRESH, la cual también cuenta con fondos de la Comisión Europea y busca llevar su prototipo a escala comercial con una capacidad de transportar 5.000 metros cúbicos [4].

En materia de eficiencia en el transporte, existen avances enfocados en la utilización de energías renovables en la industria y que son susceptibles de ser aplicados a un sistema de traslado de las bolsas de agua, reduciendo costos e impacto ecológico.

Se ha demostrado la viabilidad del uso de sistemas fotovoltaicos para embarcaciones tripuladas con capacidad para realizar navegación oceánica, mientras que en cuanto al uso de energía eólica se ha investigado la utilización de dispositivos que aprovechan el viento como sistema único o de apoyo a medios tradicionales de propulsión usando cometas controlados tanto para embarcaciones menores como para buques mercantes [8], [9].

Existen numerosas patentes relativas al transporte de fluidos por vía marítima en contenedores flexibles; principalmente relativos a dispositivos que facilitarían la operación del sistema de transporte, no obstante el concepto de utilización de bolsas flexibles no es susceptible de patente.

Actualmente no existe en el mercado un sistema de transporte por vía marítima que utilice bolsas de contenedores flexibles a remolque para transportar fluidos, sin embargo han existido intentos comerciales fallidos como los descritos anteriormente.

3.- Transporte de Agua en Contenedores Flotantes, el caso de Chile

Sudamérica presenta zonas de marcada escasez hídrica, tal como se muestra en la Figura 1, entre ellas el norte de Chile. El famoso desierto de Atacama es considerado la región más árida del planeta y en zonas de su interior jamás se ha registrado lluvia alguna. Las ciudades costeras de esta región experimentan periodos de décadas sin registrar lluvias. La principal razón para la falta de lluvia en esta zona es la influencia de la corriente de Humboldt, que transporta aguas muy frías de sur a norte a lo largo de la costa de Chile. La baja temperatura del mar no favorece la evaporación y por lo tanto actúa como una barrera natural que impide las lluvias. Por otro lado regiones desde Valdivia (paralelo 38) al Sur tienen abundancia hídrica y múltiples ríos de aguas cristalinas desembocan en las costas del Pacífico. La Figura 2 presenta las distancias de navegación desde la captación de agua en el origen, es decir desembocadura de ríos, hasta ciudades del Norte de Chile que tienen abastecimiento deficiente de agua potable.



Fig. 1: Zonas de escasez hídrica en Sudamérica [15]



Fig. 2 Posibles rutas de transporte de agua en Chile. Elaboración propia.

Remolcar grandes volúmenes de agua es viable económicamente para cortas distancias, sin embargo para distancias largas, superiores a 1000 Km, necesariamente los costos de remolque tradicional son altos debido al gasto energético y los costos operacionales involucrados.

4.- Resistencia al avance y costos de remolque

Inicialmente puede estimarse el costo de remolque de contenedores flotantes remolcados individualmente. Hasta ahora la bolsa de mayor tamaño conocido que se haya remolcado exitosamente es de 35000 m^3 [5] aunque hay autores que sugieren que es posible usar contenedores con volumen superior al millón de m^3 [14], en este trabajo se usaron, como propuesta inicial 4 volúmenes de contenedores de 1.000 a 20.000 m^3, los cuales se presentan en la Tabla 1. Todos los volúmenes tienen relación eslora/manga L/B = 6,79 y manga calado B/T= 2.

Tabla 1: Características de contenedores flexibles

Capacidad, Ton	1.000	5.000	10.000	20.000
Largo, m	51.04	87,28	109,97	138,55
Volumen desplazado, m^3	973,46	4.867,31	9.734,63	19.469,27
Superficie Mojada, m^2	571,31	1670,53	2.651,81	4209,48
Rango de velocidades, Fn	0,011 – 0,149	0,009 – 0,114	0,008 – 0,102	0,007 – 0,091

La resistencia al avance de cualquier cuerpo flotante suele separarse, en la teoría clásica, de forma tal que la resistencia total R_T se compone de la suma de la resistencia causada por fricción R_f y de la resistencia residual R_r:

$$R_T = R_f + R_r$$

A baja velocidad, la resistencia al avance está compuesta principalmente por resistencia de fricción como puede apreciarse en la Figura 3, que muestra las componentes de la resistencia al avance en función del número de Froude. Para generar una propuesta económicamente viable se debe mantener la velocidad de remolque suficientemente baja, en esta propuesta se analizaron velocidades hasta un máximo de 6,5 nudos. En este rango de velocidades el número de Froude es menor que 0,15, para todos los tamaños de BAGs considerados, y es posible asumir que la resistencia de fricción R_f es la componente principal de resistencia al avance. Se utilizó un factor del 10% constante como estimación conservadora para la resistencia residual R_r sobre los casos analizados. Como se aprecia en la Figura 3, mientras menor sea el número de Froude, menor será la componente de resistencia residual [2].

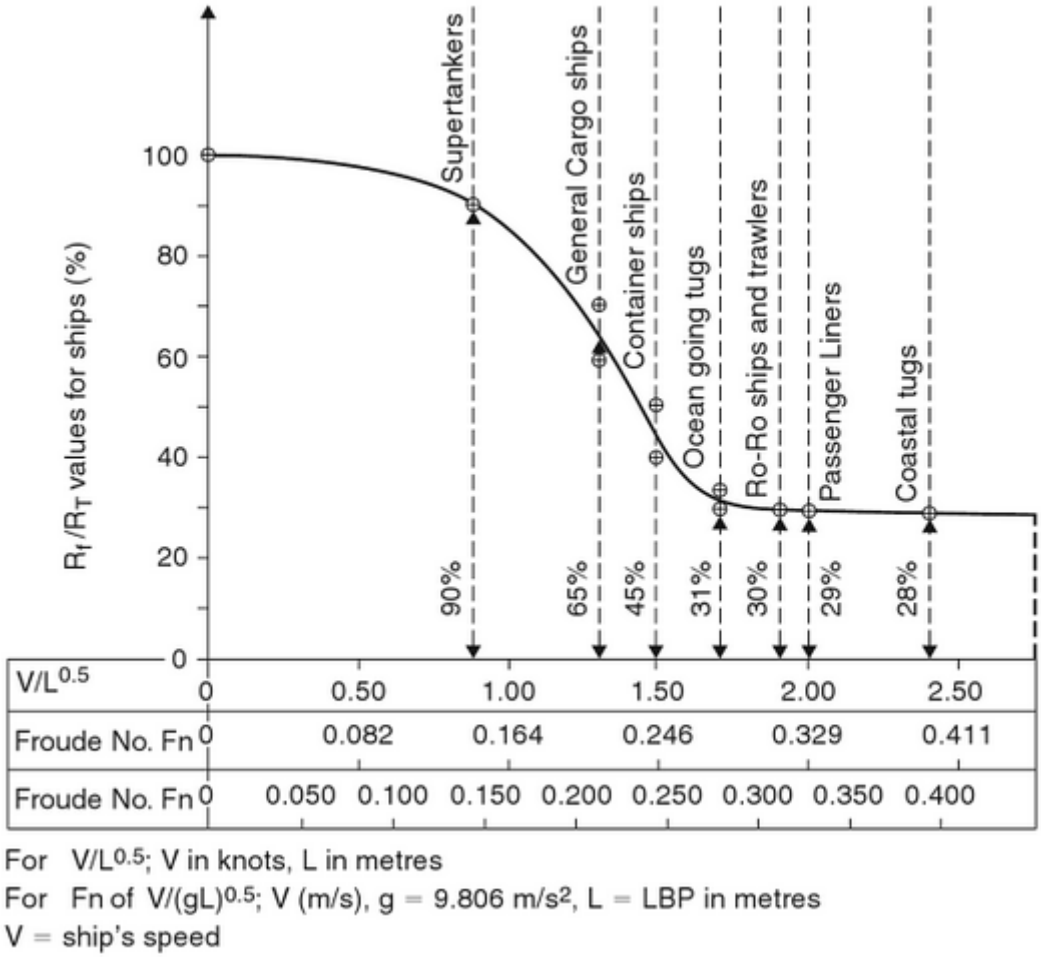


Figura 3: Relación entre resistencia total y resistencia por fricción. Fuente [2]

La resistencia por fricción se calculó utilizando el coeficiente C_f según ITTC-56, y asumiendo la superficie como técnicamente lisa:

$$C_f = \frac{0{,}075}{(\log R_n - 2)^2}$$

Con R_n el número de Reynolds calculado en función de la eslora.

Luego, la resistencia por fricción se calcula de forma que:

$$R_f = \frac{1}{2}\rho C_f v^2$$

Con v la velocidad en m/s y $\rho = 1025 kg/m^3$ la densidad del agua salada.

Con lo anterior, se obtiene la resistencia total considerando $\frac{R_f}{R_T} = 0{,}9$, para luego obtener las curvas de potencia efectiva P_E tal que $P_E = v \cdot R_T$.

Para realizar un análisis comparativo del impacto del volumen en el transporte, se estableció un factor denominado Potencia Específica que permita evaluar el consumo de energía por unidad de masa transportada tal que:

$$Potencia\ Específica = \frac{R_T \cdot v}{\Delta_{BAG}} \left[\frac{kW}{ton}\right]$$

Con Δ_{BAG} el desplazamiento de la bolsa de agua en toneladas.

Los resultados de Potencia Efectiva se presentan en la figura 4 y la potencia por Unidad de masa (tonelada) transportada se muestra en la Figura 5.

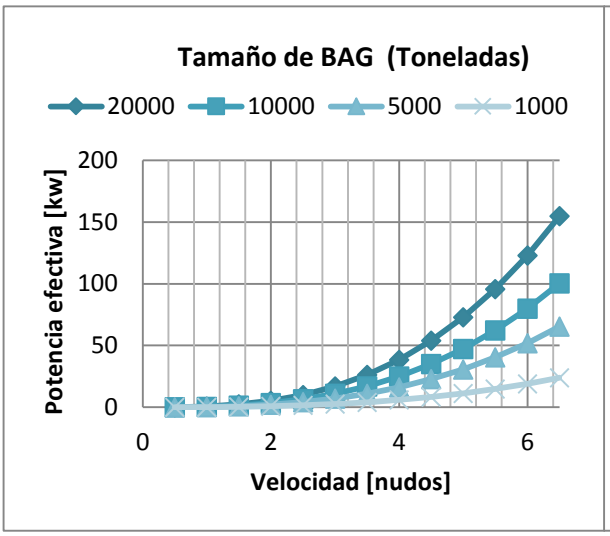


Fig. 4: Potencia efectiva según tamaño de BAG

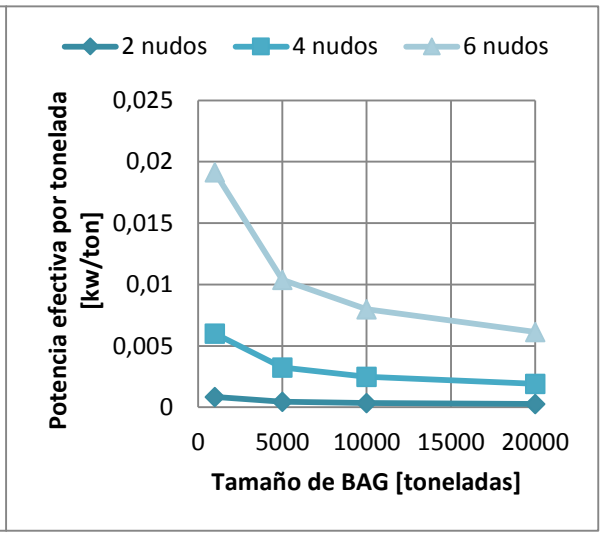


Fig. 5: Potencia efectiva por tonelada

Como criterio base para evaluación de costos, se calculó el consumo energético por milla náutica recorrida tal que:

$$Consumo\ Energético\ por\ MN = \frac{\left(P_E \cdot \frac{1MN}{v}\right)}{\eta_P}\ [kW \cdot h]$$

Con una eficiencia propulsiva preliminar η_P = 0,5.

Por último, se calculó el Consumo Energético Específico por Milla, para poder estimar el valor por tonelada de agua dulce transportada a distintas velocidades

$$Consumo\ Específico\ por\ MN = \frac{\left(P_E \cdot \frac{1MN}{v}\right)}{\eta_P \cdot \Delta_{BAG}}\ \left[\frac{kW \cdot h}{ton}\right]$$

El consumo específico de energía por milla náutica y tonelada transportada, para los distintos tamaños de BAG se presenta en la Figura 6, en tanto que el mismo consumo para distintas velocidades se aprecia en la Figura 7.

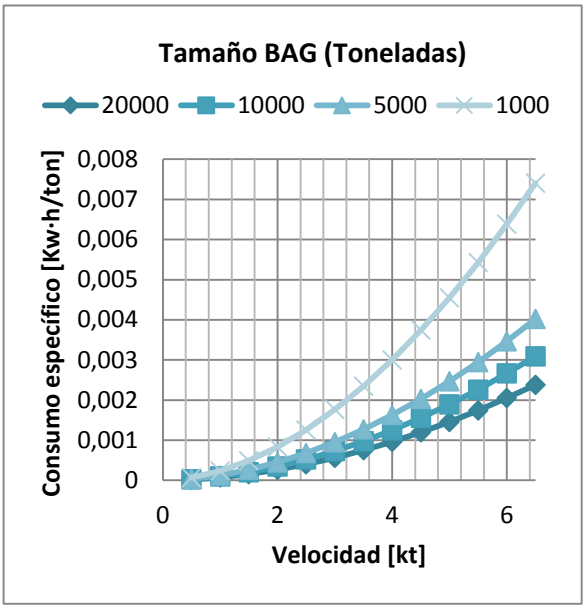


Fig. 6: Consumo específico por tamaño

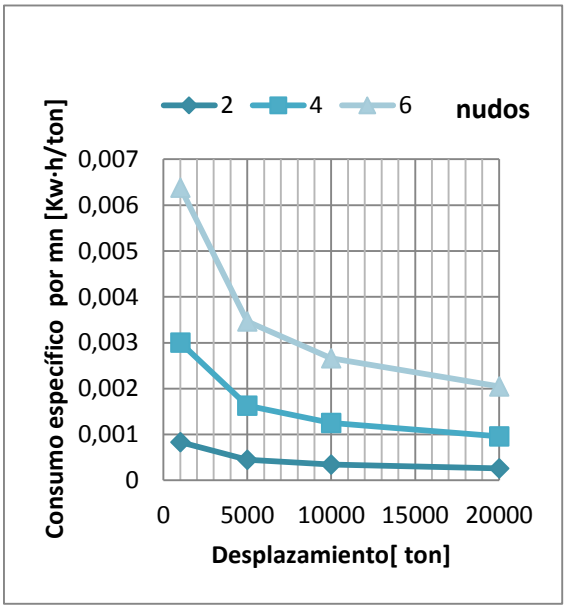


Fig. 7: Consumo específico por velocidad

Sin considerar los costos fijos de remolcador y tripulación, es evidente que los costos de remolque serán menores para baja velocidad y mayor tamaño de BAG. A modo de ejemplo una BAG de 20.000 toneladas que se desplace una distancia de 1200 millas a 3 nudos de velocidad requerirá una energía total de 13512 KW-h, y asumiendo un remolcador con un consumo de combustible de 214 gr/KW-h, resultaría un consumo total de combustible de aproximadamente 2,9 toneladas. Para un sistema tradicional de remolque, como el presentado en la Figura 8, evidentemente el consumo total de combustible es reducido, para velocidades bajas. Los costos relevantes serán determinados por los costos fijos, normalmente de varios miles de dólares diarios, necesarios para operar remolcadores por un tiempo prolongado, algo superior a 2 semanas, para el caso de cubrir 1200 millas a 3 nudos. Es necesario entonces explorar alternativas que no requieran un remolcador, o que lo necesiten solo para separarse/acercarse a la costa. Un concepto digno de investigar es la posible aplicación de remolque eólico, haciendo uso de cometas desplegadas remotamente, según se muestra en la Figura 9. Sin duda una tecnología aun en desarrollo y que probablemente requiera varios años para alcanzar su madurez comercial.

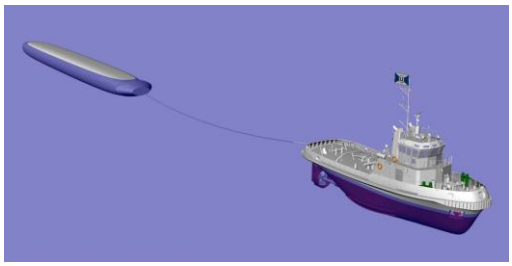


Figura 8: Remolque tradicional.



Figura 9: Remolque eólico mediante cometa [12].

5.- Conclusiones

El transporte de agua en contenedores flexibles flotantes es técnicamente viable, aunque los costos de remolque impondrían velocidades bajas.

En el caso tradicional de usar remolcadores el factor crítico de costos es el valor diario de uso de la nave y los costos de la tripulación. El consumo de combustible a bajas velocidades, por ejemplo 3 nudos, es relativamente bajo.

Una opción que reduciría la cantidad de días necesarios de remolcador, es aprovechar la corriente de Humbold, que fluye en las costas de Chile de Sur a Norte. Los remolcadores se usarían solo para alejar los contenedores de la costa, mantenerlos en curso cuando se desvíen significativamente de la ruta deseada y finalmente para acercarlos a la costa en destino. Es claro que las corrientes no son predecibles en forma exacta y se debe contar con medios de corrección de curso.

El caso alternativo de remolque mediante cometas (energía eólica) es potencialmente de bajo costo, siempre y cuando sea de operación remota y no cuente con tripulación dedicada. Está tecnología está siendo desarrollada para propulsión auxiliar de buques mercantes y aún no está madura para aplicaciones comerciales.

Como reflexión final se puede agregar que este es un campo nuevo recién explorado por los ingenieros navales, un ejemplo a seguir es el caso del proyecto Europeo [4], que ha realizado pruebas exitosas a nivel de prototipo.

Referencias bibliográficas

[1] Ambrosetti, S.; D. Zangani, M. Tappani. (2012). Development of a modular reconfigurable waterbag for long distance freshwater transport over the sea: from concept to full-scale demonstration. European Comission.

[2] Barrass, B. (2004), Ship Design and Performance for Masters and Mates.

[3] Edmonds, I. Northen River water for Australian cities. (http://solartran.com.au/tullywater.htm)

[4] European Comission. (2013). Bringing a modular technology for fresh water sea-transportation to full scale. (http://cordis.europa.eu/project/rcn/110343_en.html)

[5] Eagles, D; Toney, G. and Tupil, S. Flexible Materials for Water Transport Bags. Albany International Research, USA.

[6] Global Water Ingelligence. (2012). Justifying Chile's eternal water pipeline. Global Water Intelligence Magazine, Vol 13, Issue 10. October 2012.

[7] Hodges, A., Hansen, K., & McLeod, D. (2014). The Economics of Bulk Water Transport in Southern California. Resources, 3(4), 703-720.

[8] Leloup, R., Roncin, K., Bles, G., Leroux, J.-B., Jochum, C., Parlier, Y. 'Estimation of the lift-to-drag ratio using the lifting line method: application to a Leading Edge Inflatable kite', Airborne Wind Energy, Springer, Ed.

[9] Leloup, R., Roncin, K., Bles, G., Leroux, J.-B., Jochum, C., Parlier Y. 'Performance assessment of kite operation as auxiliary propulsion device on a merchant ship and as a main propulsion device on a small boat. MarineRio : "Building the Marine Sciences", Brazil-France Meeting, Buzios, Brazil, 2013.

[10] Loo, S., Fane, A., Krantz, W., & Lim, T. (2012). Emergency water supply: A review of potential technologies and selection criteria. Water research, 46(10), 3125-3151.

[11] Spragg & Associates. Spragg bag™ (Disponible en: www.waterbag.com)

Referencias de Internet

[12] www.beyond-the-sea.com

[13] www.santabarbaraca.gov/gov/depts/pw/resources/system/sources/desalination.asp

[14] www.stuff.co.nz/business/317000/Australia-looks-to-bag-West-Coasts-water

[15] www.thenote.cl. 24 de abril 2014

Uma análise preliminar de riscos para a construção de lanchas em alumínio naval

Rafael Araújo Sales
Engenheiro de Tecnologia Militar – Marinha do Brasil – Base Naval de Natal
Mestre em Engenharia de Produção pela UFRN
rafaelaraujosales@gmail.com

José Ailton da Silva Júnior
jailtonsjr@gmail.com
1º Tenente Engenheiro de Produção – Marinha do Brasil – Base Naval de Natal
Mestrando em Engenharia de Produção pela UFRN

Bruno Farias de Andrade
Engenheiro Eletricista
engbrunoandrade@gmail.com

Resumo

Esse trabalho tem como objetivo fornecer subsídios para a implantação de um sistema de gerenciamento de riscos ocupacionais, em estaleiros que fabricam lanchas em alumínio naval, a partir da análise dos riscos à segurança e à saúde associados ao processo produtivo, com ênfase na fabricação de partes, montagem estrutural e pintura.

A fim de embasar tecnicamente o desenvolvimento do estudo, foi realizada uma vasta pesquisa bibliográfica, englobando literaturas sobre processos de construção naval, normas, guias e diretrizes sobre Sistemas de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional e técnicas de análise de risco, assim como as normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego.

Para se obter o diagnóstico dos processos e das condições ambientais, foi necessário realizar atividades de campo que envolveram observações do ambiente de trabalho, acompanhamento da execução das atividades, entrevistas com os trabalhadores, assim como verificação de documentos internos da organização.

A sistemática adotada permitiu identificar os riscos mais significativos e definir as respectivas medidas de controle requeridas. A partir da quantidade de cenários identificados durante a aplicação da Análise Preliminar de Riscos – APR, ao processo de construção de pequenas embarcações, foi obtida a respectiva matriz de classificação dos riscos, a qual serve de base para orientar as organizações na priorização das ações requeridas para mitigação dos riscos.

Apesar da limitação no que se refere à avaliação dos riscos de natureza ergonômica, a técnica Análise Preliminar de Riscos – APR contribui para o atendimento aos requisitos legais e para a integração de práticas de segurança e saúde ocupacional, comprovando que o gerenciamento dos riscos ocupacionais, utilizado de forma ampla e séria, constitui uma poderosa ferramenta para a preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, no desempenho de suas atividades.

Palavras chave: Análise Preliminar de Riscos, Construção Naval.

1. Introdução

Diante do cenário atual de crescimento da construção naval no país, observou-se um aumento dos trabalhos relacionados a esse segmento, tornando imperativo uma análise mais criteriosa sobre acidentes, identificação dos fatores que contribuem para a deterioração da segurança e das condições de trabalho neste setor.

Esse cenário evidencia a necessidade de que o desenvolvimento científico contribua para evitar, controlar ou minimizar o impacto sobre a integridade física e a saúde dos trabalhadores, permitindo a aplicação da análise de riscos como ferramenta de identificação dos perigos, avaliação dos riscos e determinação das medidas de controle requeridas.

Além da necessidade de implantação de práticas mais eficazes para o gerenciamento dos riscos associados às atividades, observa-se que a própria Norma Regulamentadora 34 (Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção e Reparação Naval) no seu item "d" do artigo 34.2.1 imputa ao empregador a responsabilidade de providenciar a realização da Análise Preliminar de Riscos (APR). A NR- 04 (Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho) determina para a referida atividade industrial, um grau de risco 3 de um total de 4 níveis. A atividade de construção naval é classificada no Código Nacional de Atividades Econômicas – CNAE, com o código 30.11-3, construção de embarcações e estruturas flutuantes. Outras atividades correlatas e englobadas no segmento da construção naval como a metalurgia e a fabricação de estruturas metálicas são classificadas como de grau de risco 4.

Atrelado à necessidade de se estudar e modernizar os processos de construção e de segurança do trabalho dos estaleiros, há também outro fator relevante. O Governo Federal, por meio do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), criou em 2007 o Programa Caminho da Escola com o objetivo de renovar a frota de veículos escolares (FNDE, 2007). Essa demanda por transporte gerou a necessidade de aquisição tanto de ônibus, quanto de embarcações, sendo estas últimas com a finalidade de atender os alunos que habitam regiões ribeirinhas e necessitam de transporte aquaviário para sua locomoção. Segundo Camargo (2012), estima-se que há cerca de 350 mil estudantes da educação básica necessitando de barcos para chegar à escola, gerando, dessa maneira, uma demanda de aproximadamente 12 mil embarcações desse modelo.

Diante da necessidade de um melhor planejamento sobre formas de reduzir ou até mesmo eliminar os riscos existentes à saúde do trabalhador no segmento de construção de lanchas metálicas, justifica-se tanto a relevância como a potencial contribuição do estudo.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Construção Naval de Pequeno Porte

Segundo Sales (2012), embora os processos de construção de embarcações metálicas de pequeno porte sejam bastante similares às de grande porte, esse segmento é mais fortemente afetado com a variação do volume de produção visto que, por serem produtos de menor complexidade tecnológica, podem requerer diferentes níveis de demanda para justificar investimentos em tecnologia e aperfeiçoamento dos processos construtivos empregando, desta forma, técnicas mais rudimentares aos processos produtivos. A Figura 1 ilustra os principais processos para a construção naval de pequeno porte:

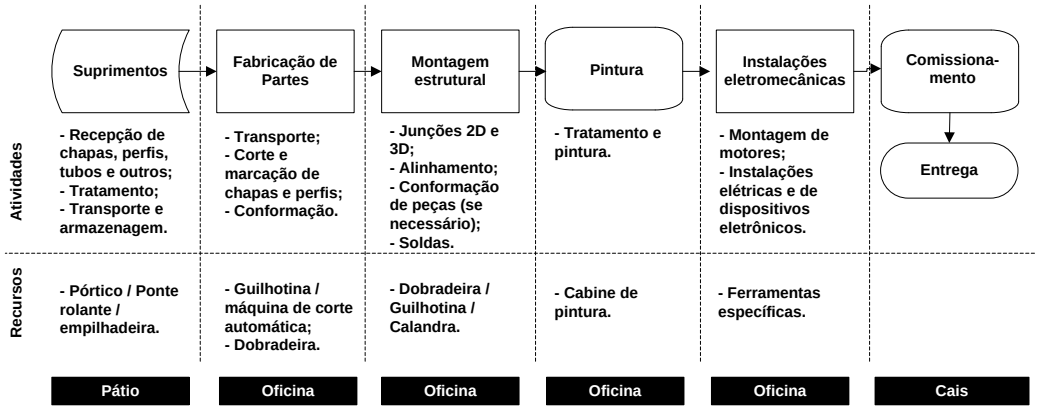


Figura 1: Processos de construção naval de pequeno porte. Fonte: Sales (2012).

2.2. Análise Preliminar de Riscos – APR

A Análise Preliminar de Riscos – APR é uma técnica que teve origem no Programa de Segurança Militar do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, a qual consiste no estudo, durante a fase de concepção ou desenvolvimento prematuro de um novo sistema, com o fim de se determinar os riscos que poderão estar presentes na fase operacional do mesmo. Pode ser aplicada em unidades já em operação, permitindo, nesse caso, a realização de uma revisão dos

aspectos de segurança existentes. (AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS – AICHE, 1992).

Para utilização da técnica APR são necessárias informações relacionadas a critérios de projeto, descrição dos processos, incluindo reações e parâmetros de processo envolvidos, especificações dos equipamentos, características dos produtos químicos manipulados, etc. Além disso, os objetivos operacionais e os requisitos básicos de desempenho da planta podem ajudar a definir os tipos de riscos do ambiente operacional na instalação. (AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS – AICHE, 1992).

Para cada área do processo analisada, são identificados os potenciais perigos decorrentes de eventos indesejáveis que podem resultar em danos ao homem, à instalação e/ou ao meio ambiente. As causas de cada um dos eventos e suas respectivas consequências são identificadas, e uma avaliação qualitativa da probabilidade de ocorrência e da severidade das consequências é realizada. A partir da combinação das categorias de probabilidade de ocorrência e severidade, obtém-se a classificação do risco, o qual deve ser reduzido a um nível aceitável a partir do estabelecimento de ações. Alternativas para eliminar o perigo específico ou controlar o risco associado devem ser avaliadas e priorizadas, considerando a categorização do risco. (DEPARTMENT OF DEFENSE, 1984).

Os critérios que podem ser utilizados para categorizar a probabilidade de ocorrência e a severidade dos eventos indesejáveis, quando da aplicação da técnica APR, estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. A classificação do risco resultante é obtida a partir de uma matriz de riscos, representada graficamente através da Tabela 3.

Os resultados da APR são convenientemente registrados numa tabela, a qual apresenta os perigos identificados, as causas, as consequências potenciais, as categorias de severidade e probabilidade de ocorrência, e quaisquer medidas corretivas ou preventivas requeridas. Em alguns casos, pode-se documentar também os responsáveis e cronograma de implementação das ações.

Tabela 1 – Categorias de Probabilidade dos Eventos na APR

CATEGORIA	DENOMINAÇÃO	DESCRIÇÃO
A	FREQUENTE	Esperado ocorrer frequentemente durante a vida útil da instalação.
B	PROVÁVEL	Esperado ocorrer várias vezes durante a vida útil da instalação.

C	OCASIONAL	Esperado ocorrer alguma vez durante a vida útil da instalação.
D	REMOTA	Possível ocorrer durante a vida útil da instalação.
E	IMPROVÁVEL	Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação.

Fonte: Departament of Defense (1984)

Tabela 2 – Categorias de Severidade dos Eventos na APR

CATEGORIA	DENOMINAÇÃO	DESCRIÇÃO
I	CATASTRÓFICA	Mortes; Danos irreparáveis ao sistema.
II	CRÍTICA	Lesões e/ou doenças ocupacionais graves; Danos severos ao sistema.
III	MARGINAL	Lesões e/ou doenças ocupacionais leves; Danos leves ao sistema.
IV	INSIGNIFICANTE	Não ocorrem lesões ou doenças ocupacionais, podendo ser necessário apenas prestação de primeiros socorros; Sem danos ou danos insignificantes ao sistema.

Fonte: Departament of Defense (1984)

Tabela 3 – Matriz de Classificação dos Riscos na APR

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DOS RISCOS				
Probabilidade	Severidade			
	CATASTRÓFICA	CRÍTICA	MARGINAL	INSIGNIFICANTE
FREQUENTE				
PROVÁVEL				
OCASIONAL				
REMOTA				
IMPROVÁVEL				

Classificação do Risco		
TRIVIAL		Nenhuma ação é requerida.
ACEITÁVEL		É necessário assegurar que os controles sejam mantidos
INDESEJÁVEL		Requer a definição de mitigação dos riscos
INACEITÁVEL		Exige ações imediatas

Fonte: Departament of Defense (1984)

3. Metodologia

As informações necessárias à realização da análise de risco do presente trabalho foram obtidas através de observações do ambiente laboral, do acompanhamento da execução das atividades, de entrevistas com os trabalhadores, assim como a partir da verificação de documentos internos da organização. Esses dados foram coletados em uma Base Naval da Marinha do Brasil situada no município de Natal-RN no período de Maio de 2010 a Novembro de 2012. Inicialmente, foi realizado um prévio diagnóstico para conhecer as características do processo produtivo, dos trabalhadores e dos ambientes de trabalho. Posteriormente, foram realizadas as atividades de campo descritas a seguir:

- mapeamento dos processos produtivos, envolvendo o estudo do ambiente e do processo de trabalho, as atividades, as matérias-primas, funções que executam as atividades, máquinas e/ou equipamentos e ferramentas utilizadas;
- conhecimento das condições ambientais onde os processos são realizados, com base nas verificações das possíveis fontes de geração de riscos; das condições do ambiente de trabalho; das medidas preventivas adotadas, coletivas e/ou individuais; da exposição aos riscos ambientais físicos, químicos e biológicos, incluindo avaliações realizadas para acompanhamento da eficácia de medidas de controle.

De posse dessas informações, foram identificados os riscos associados aos processos operacionais da construção naval de pequenas embarcações metálicas e aplicada uma técnica de análise qualitativa de riscos, a Análise Preliminar de Riscos – APR, para os principais processos: fabricação de partes, montagem estrutural e pintura.

Na sua formatação original, a metodologia da Análise Preliminar de Riscos contempla as seguintes atividades a serem conduzidas pelo responsável pela análise de risco:

- identificação dos perigos associados a cada atividade, que tenham potencial de causar danos às instalações e/ou aos trabalhadores;
- identificação das possíveis causas que venham a resultar em efeitos indesejáveis, com origem na instalação em análise, contemplando tanto as falhas intrínsecas de equipamentos, de instrumentos e de materiais, como erros humanos;
- identificação do efeito, ou seja, consequência potencial, caso o perigo associado resulte em lesão, doença ou danos materiais;
- categorização da severidade (S) do efeito, em função da gravidade da lesão, doença ou dano material potencial;
- categorização da probabilidade (P) de ocorrência do efeito, a partir do histórico de ocorrências na instalação;
- classificação da significância do risco, a partir da combinação dos atributos severidade e probabilidade de ocorrência;
- definição das medidas de controle, as quais devem prever ações de proteção e prevenção a serem adotadas, para minimizar os efeitos de um possível acidente ou exposição decorrente

da interação com aquele perigo, assim como ações que venham reduzir a probabilidade de ocorrência de um acidente na interação de uma pessoa com o perigo.

Adicionalmente, com base nas normas de Sistema de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional, foi adicionada a seguinte variável na Análise Preliminar de Riscos utilizada nesse estudo:

• agente de risco (A): natureza do perigo, em função da sua relação com os riscos ambientais previstos na legislação de segurança e saúde ocupacional vigente, sejam eles físicos (F), químicos (Q), biológicos (B), ergonômicos (E) ou de acidentes (A).

4. Desenvolvimento

As características da embarcação base para o estudo podem ser encontradas na Foto 1. No tocante ao produto do ponto de vista da fabricação, é conveniente citar que a lancha tem toda a sua estrutura fabricada em duralumínio naval ASTM liga 5052 H34 composto de chapas e perfis de variadas dimensões, espessuras e tipos.



Foto 1: Embarcação objeto do estudo. Fonte: O autor.

Após o processo de armazenagem, as chapas e perfis passarão pelo processo de fabricação de partes que é definido como o processo corte das chapas em peças, que pode ser manual ou automatizado conforme as fotos 2 e 3 respectivamente. Após essa etapa serão originados um total de 109 itens que, unidos, resultarão no produto final.



Foto 2: Corte manual de chapas. Fonte: O autor.

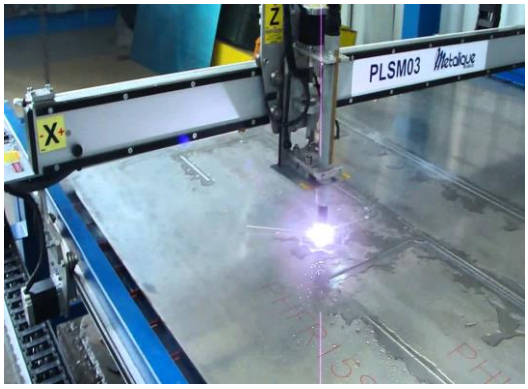


Foto 3: Corte automatizado. Fonte: O autor.

A montagem estrutural de embarcações metálicas de pequeno porte abrange basicamente os processos de soldagem e conformação. Para o caso em estudo, a soldagem é do tipo MIG por conferir uma maior qualidade e agilidade à produção.

A montagem da embarcação inicia-se com a fabricação do casco. Após a fabricação do casco é realizada a inspeção da solda do fundo para garantir a estanqueidade na união dos metais e a ausência de trincas no processo de soldagem. A montagem da casaria é um processo posterior que pode ser também realizado em paralelo ao casco e depois unido (Foto 4).



Foto 4: Estrutura montada. Fonte: O autor.

Após o processo de montagem da estrutura, o produto segue para o processo de pintura. O processo de pintura consiste basicamente na limpeza com solução desengraxante de toda a estrutura, tratamento mecânico e nivelamento da superfície com massa ou algum adesivo selante em poliuretano. Posteriormente segue com a aplicação de uma demão de primer de alta

aderência, outra demão de tinta anticorrosiva e pintura em duas demãos com a tinta definitiva. A aplicação do primer e das tintas é feito com pistola.

4.1 – Análise dos riscos identificados nos processos:

O mapeamento dos processos produtivos, que incluiu matérias-primas, insumos, atividades, máquinas, equipamentos, ferramentas, organização do trabalho e condições ambientais, assim como a análise do histórico de acidentes, permitiram identificar de forma genérica os riscos à segurança e à saúde relacionados à fabricação de partes, montagem estrutural e pintura, os quais se foram realizados com base na metodologia da APR.

4.2 – Matriz de classificação dos riscos:

A partir da quantidade de cenários identificados durante a APR, dos processos de fabricação de partes, montagem estrutural e pintura, considerando cada uma das combinações de probabilidade e severidade de ocorrência, foi obtida a respectiva matriz de classificação dos riscos, apresentada nas Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4: Matriz de Classificação de Riscos para o Processo de Fabricação de Partes

Matriz de classificação dos riscos				
Probabilidade	Severidade			
	CATASTRÓFICA	CRÍTICA	MARGINAL	INSIGNIFICANTE
FREQUENTE	**0**	**0**	**0**	**0**
PROVÁVEL	**0**	**0**	**1 (8,33%)**	**0**
OCASIONAL	**0**	**3 (25%)**	**3 (25%)**	**1 (8,33%)**
REMOTA	**3 (25%)**	**0**	**1(8,33%)**	**0**
IMPROVÁVEL	**0**	**0**	**0**	**0**

TRIVIAL	**1 (8,33%)**	Riscos
ACEITÁVEL	**1 (8,33%)**	
INDESEJÁVEL	**10 (83,34%)**	
INACEITÁVEL	**0**	

Fonte: O autor.

Tabela 5: Matriz de Classificação de Riscos para o Processo de Montagem Estrutural

Matriz de classificação dos riscos				
Probabilidade	Severidade			
	CATASTRÓFICA	CRÍTICA	MARGINAL	INSIGNIFICANTE
FREQUENTE	**0**	**0**	**0**	**0**
PROVÁVEL	**0**	**0**	**0**	**0**
OCASIONAL	**0**	**4 (33,33%)**	**2 (16,67%)**	**1 (8,33%)**
REMOTA	**1 (8,33%)**	**0**	**2 (16,67%)**	**0**
IMPROVÁVEL	**0**	**1 (8,33%)**	**0**	**1 (8,33%)**

TRIVIAL	**2 (16,67%)**	Riscos

ACEITÁVEL	**3 (25%)**	
INDESEJÁVEL	**7 (58,33%)**	
INACEITÁVEL	**0**	

Fonte: O autor.

Tabela 6: Matriz de Classificação de Riscos para o Processo de Pintura

Matriz de classificação dos riscos				
Probabilidade	Severidade			
	I CATASTRÓFICA	II CRÍTICA	III MARGINAL	IV INSIGNIFICANTE
FREQUENTE	**0**	**0**	**0**	**0**
PROVÁVEL	**0**	**0**	**0**	**0**
OCASIONAL	**0**	**1 (20%)**	**0**	**1 (20%)**
REMOTA	0	**1 (20%)**	**1 (20%)**	
IMPROVÁVEL	0	**1 (20%)**	0	0
TRIVIAL	**1 (20%)**			
ACEITÁVEL	**2 (40%)**			
INDESEJÁVEL	**2 (40%)**			
INACEITÁVEL	**0**			

Riscos

Fonte: O autor.

Levando-se em consideração a metodologia de APR adotada, os processos de fabricação de partes e montagem da estrutura apresentaram maior percentual de ocorrências que oferecem risco elevado aos trabalhadores, sendo mais de 50 % classificadas como de risco indesejável. Considerando a classificação dos riscos ocupacionais previstos na Portaria nº 25, de 19 de dezembro de 1994, os riscos de acidentes e os riscos físicos estão presentes em maior intensidade nos processos acima apresentados, principalmente no que se refere à operação de equipamentos de corte e solda (BRASIL, 1994).

A constatação coincide com a análise dos acidentes de trabalho baseado na vivência dos operadores, que apontou as seguintes máquinas e equipamentos como os principais causadores de acidentes:

– lixadeira e serra mármore, utilizada nos processos de fabricação de partes e montagem;
– guilhotina, dobradeiras e viradeiras utilizadas no processo de corte e conformação;
– máquina de solda utilizada no processo de soldagem.

A radiação não-ionizante está presente nos processos de corte e solda, em função da energia emitida pelo arco ou pela chama, durante a utilização dessas máquinas. Os equipamentos também expõem seus operadores ao risco de choque elétrico.

Apesar de não estar diretamente associado a todos os processos, o ruído é gerado pela operação de várias máquinas, equipamentos e utilização de ferramentas, com potencial de causar efeito em todos os trabalhadores.

Em menor intensidade mas não menos importantes na análise de riscos, estão presentes os riscos químicos, sob a forma de fumos, gases, vapores e poeiras, nos processos de corte e solda, afetando os trabalhadores desses processos, assim como dos adjacentes.

Condições ambientais inadequadas, como a presença de materiais inflamáveis e temperatura elevada nas proximidades do local onde são realizadas atividades de corte e solda, favorecem a ocorrência de incêndio, devido aos gases utilizados no sistema oxicorte.

Os riscos de acidentes decorrentes de ferramentas inadequadas, defeituosas ou manuseadas de forma imprópria, estão presentes nos processos de calandragem, montagem e acabamento, devido à utilização de espátulas, chaves, talhadeiras, martelos, rebitadores, serras, alicates, dentre outros. Além de cortes, escoriações e contusões, algumas dessas ferramentas provocam ruído, ao serem batidas contra a estrutura metálica.

Em certas situações, trabalhos de solda e montagem podem ser realizados numa altura superior a dois metros e meio, o que caracteriza um potencial risco de acidentes de queda de diferença de nível.

Riscos ergonômicos decorrentes de postura inadequada foram observados em todos os processos, o que sinaliza a possível necessidade de realização de um estudo ergonômico, apesar de não ter sido considerado como medida de controle.

5. Conclusões

A realização desse estudo objetivou fornecer subsídios para a implantação de um sistema de gerenciamento de riscos ocupacionais, em estaleiros que fabricam lanchas em alumínio naval. Para tanto, foi realizado o diagnóstico dos processos e condições ambientais que subsidiou a elaboração do fluxograma, a descrição dos processos, assim como a aplicação da ferramenta

APR, a qual foi otimizada considerando diretrizes previstas em normas de âmbito internacional, para implantação de sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional.

Nesse cenário, pode-se considerar que a metodologia de Análise Preliminar de Riscos, adotada para os processos de fabricação de partes, montagem estrutural e pintura, incorporou os princípios de:

– simplificação, pela facilidade de assimilação e compreensão da avaliação qualitativa dos riscos associados às atividades;
– reprodutibilidade, pela aplicação dos conceitos e critérios de modo que uma possível dispersão de avaliação é aceitável quando conduzida por outras pessoas;
– flexibilidade, pela adequação à natureza, à cultura e ao porte da organização;
– utilização, pela identificação dos aspectos que podem ser objeto de ação e melhoria, quando do gerenciamento do risco através do estabelecimento das medidas de controle, podendo ser desdobrado num plano de ação incluindo responsáveis e prazos;
– integração, pela incorporação de demandas requeridas pela legislação de segurança e saúde ocupacional;
– associação, ao considerar processos, atividades e pessoas, relacionando os perigos e riscos às respectivas funções como forma de democratizar o conhecimento entre todos os empregados, conforme requerido pela NR – 1 (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO – MTE, 2009);
– priorização, ao determinar a classe de risco a partir da qual a organização vai priorizar esforços e recursos para adotar ações de prevenção e/ou controle, capazes e suficientes para minimizar os efeitos decorrentes da exposição ao perigo, assegurando a integridade e a saúde das pessoas, além da proteção dos ativos da organização.

A aplicação da APR contribui para a integração das práticas de segurança e saúde ocupacional, à medida que:
– auxilia a Comissão Interna de Prevenção de Acidentes – CIPA no cumprimento do requisito da NR – 5, que se refere ao mapeamento de riscos (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO – MTE, 2007);
– contempla a etapa de antecipação e reconhecimento dos riscos, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais, previsto na NR – 9, subsidiando dessa forma a elaboração do Programa de

Controle Médico de Saúde Ocupacional – PCMSO, conforme requerido pela NR – 7, uma vez que os perigos e riscos estão associados aos processos e, consequentemente, às funções e pessoas que executam as atividades (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO – MTE, 1994, 1998).

A matriz de classificação dos riscos permite orientar os estaleiros que fabricam pequenas embarcações metálicas na priorização das seguintes ações para mitigação dos riscos indesejáveis:

– Treinar e conscientizar os operadores das diversas atividades quanto aos riscos e medidas de proteção;

- Instalar sistema de exaustão mecânica na área onde são realizadas atividades de corte automatizado com máquina de plasma;

- Manter as instalações elétricas em condições seguras, com dispositivos de proteção e aterramento;

- Implementar plano de inspeção das instalações elétricas e manutenção dos equipamentos de movimentação de carga, incluindo seus componentes;

- Implementar um programa de prevenção de riscos com prensas e similares conforme preconiza a NR-12;

- Adotar sinalização de segurança em certas áreas;

- Fornecer equipamentos de proteção individual adequados aos riscos das mais diversas atividades.

Apesar da limitação no que se refere à avaliação dos riscos de natureza ergonômica, a experiência no uso da metodologia de Análise Preliminar de Riscos – APR, comprova que o gerenciamento dos riscos ocupacionais, utilizado de forma ampla e séria, constitui uma poderosa ferramenta para a preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, no desempenho de suas atividades.

6. Referências Bibliográficas

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. *Guidelines for hazard evaluation procedures*. 2 ed. New York, 1992.

BRASIL. Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991. Diário Oficial da União, 14 ago. 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8213cons.htm>. Acesso em: 9 out. 2014.

CAMARGO, A. M. Sala de Aula, última parada. Revista Inovação e Sustentabilidade Alumínio. São Paulo, Ano VIII, v. 31, abr./jun. 2012.

DEPARTMENT OF DEFENSE. *MIL-STD-882B System safety program requirements*. Washington, 1984.

FNDE (2007). Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Disponível em: <http://www.fnde.gov.br/>. Acesso em 10 out. 2013.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Norma Regulamentadora NR 9 – Programa de prevenção de riscos ambientais, de 08 de junho de 1978. Diário Oficial da União, 30 dez. 1994. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_09_at.pdf>. Acesso em: 9 out. 2013.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Portaria nº 25, de 29 de dezembro de 1994. Diário Oficial da União, 30 dez. 1994. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/portarias/1994/p_19941229_25.pdf>. Acesso em: 9 out. 2013

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Norma Regulamentadora NR 7 – Programa de controle médico de saúde ocupacional, de 08 de junho de 1978. Diário Oficial da União, 22 abr. 1998.

Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr _07_at.pdf. Acesso em: 9 out. 2013.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Norma Regulamentadora NR 5 – Comissão interna de prevenção de acidentes, de 08 de junho de 1978. Diário Oficial da União, 26 jun. 2007. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_05. pdf>. Acesso em: 9 out. 2013.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Norma Regulamentadora NR 1 – Disposições gerais, de 08 de junho de 1978. Diário Oficial da União, 12 mar. 2009. Disponível em:<http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_01_at.pdf>. Acesso em: 9 out. 2013.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Norma Regulamentadora NR 4 – Serviços especializados em engenharia de segurança e em medicina do trabalho, de 08 de junho de 1978.

Diário Oficial da União, 14 dez. 2009. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_04.pdf>. Acesso em: 9 out. 2013.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Norma Regulamentadora NR 34 – Condições e meio ambiente na indústria de construção e reparação naval, de 08 de junho de 1978. Diário Oficial da União, 14 dez. 2009. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_34.pdf>. Acesso em: 9 out. 2013.

SALES, R.A. *Uma Avaliação Comparativa de Estratégias de Arranjos Físicos para Estaleiros de Construção Naval de Pequeno Porte*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, 2012.

Previsão de preço para empurradores fluviais

Brizamar Muniz de Aguiar Filho
brizamar.eng@gmail.com
UEA-Universidade do Estado do Amazonas

Thiago Lemgruber Porto
EASA-Estaleiro da Amazônia S.A.

Eduardo R. Barreda del Campo
eduardoserapio@yahoo.com.br
UEA-Universidade do Estado do Amazonas

José Teixeira de A. Neto Santos
Teixeira.santos@intra.org.br
Intra – Instituto de Pesquisa em Transportes

Resumo

O presente trabalho visa à aplicação de um modelo matemático baseado em regressão linear múltipla para obter uma estimativa de preços de empurradores fluviais levando em consideração os parâmetros técnicos de maior influência no desempenho desse tipo de embarcação.

Com o desenvolvimento desse modelo os preços de empurradores podem ser estimados ainda nas fases iniciais de projeto, fornecendo para os estaleiros e armadores um valor de referência.

O transporte brasileiro de cargas tem adotado cada vez mais o modal hidroviário e, dependendo da hidrovia, é feito exclusivamente por meio de comboios formados por empurradores e chatas.

Devido à complexidade do mercado naval, ocorre a necessidade de resultados precisos e confiáveis na quantificação dos valores econômicos e para alcançar estes objetivos é necessária a adoção de procedimentos que sejam baseados em métodos científicos, minimizando assim a parcela de subjetividade existente na formação do preço de empurradores.

A técnica estatística da regressão linear múltipla é usada para estudar a relação entre uma variável dependente e várias variáveis independentes explicativas. Em engenharia de avaliações geralmente trabalha-se com modelos de regressão múltipla, tendo-se em vista a multiplicidade de fatores que interferem nos preços de um bem.

1 – Introdução

O presente trabalho tem o objetivo de aplicar a regressão linear múltipla para obter uma estimativa de preços de empurradores fluviais levando em consideração parâmetros técnicos de grande influência na composição de custo desse tipo de embarcação.

Através da previsão de preço é possível estimar o quanto vai ser pago na compra de determinado empurrador antes mesmo de se realizar a negociação e isso pode facilitar a tomada de decisão por parte dos armadores.

O método é baseado em uma série histórica de empurradores e seus preços, sendo assim, tomados como referência na geração do modelo.

A estimativa de preços envolvidos, com a aquisição da embarcação, também permitirá ao empreendedor, juntamente com o agente financeiro, maior segurança sobre a embarcação a ser financiada, pois ela permitirá, com um alto grau de confiabilidade, o estudo da viabilidade econômica do empreendimento.

O transporte hidroviário de cargas brasileiro tem sido realizado de forma preferencial e, dependendo da hidrovia, exclusivamente, por meio de comboios formados por empurradores e chatas.

Devido à complexidade do mercado naval, ocorre à necessidade de resultados precisos e confiáveis na quantificação dos valores econômicos e para alcançar estes objetivos é necessária à adoção de procedimentos que sejam baseados em métodos científicos, minimizando assim a parcela de subjetividade existente na formação do preço de empurradores.

A técnica estatística da regressão linear múltipla é usada para estudar a relação entre uma variável dependente e várias variáveis independentes explicativas, em engenharia de avaliações geralmente trabalha-se com modelos de regressão múltipla, tendo-se em vista a multiplicidade de fatores que interferem nos preços de um bem.

Para formulação do modelo foi realizada uma coleta de dados de preços, utilizou-se Microsoft Office Excel para se chegar à equação que fornece o preço estimado de acordo com algumas características técnicas da embarcação.

2 – Transporte Hidroviário

O Brasil, país de grande potencial hídrico, está desenvolvendo suas hidrovias mais tarde que os países europeus e norte-americanos que utilizam, significativamente, a navegação fluvial como meio de transporte efetivo para cargas como granéis e contêineres. Neste contexto, o Brasil tem condições (e, de certa forma, obrigação) de explorar seu potencial hidroviário de maneira mais racional do que a maioria dos países que construíram suas hidrovias há mais tempo (PADOVEZZI, 2003).

Ainda para Padovezzi (2003), as melhorias devem ser buscadas continuamente, tanto nas obras realizadas nas hidrovias como nos projetos, construção e operação das embarcações, devem ter como objetivos inseparáveis, a eficiência e a segurança da navegação, assim como a minimização de impactos ambientais.

Se a embarcação for adequadamente projetada, construída e operada levando em conta todas as características importantes da via, tanto a segurança como a eficiência do transporte hidroviário estarão contempladas.

Com passar do tempo e o aprimoramento do transporte de cargas através do modal fluvial brasileiro foi ficando evidente que o empurrador fluvial é o tipo de embarcação mais adequada para essa situação, isso é justificado pelo seu baixo calado, alta potência podendo locomover uma serie de chatas e a boa manobrabilidade pelos caminhos estreitos dos rios.

Levando em consideração a forte tendência da região norte principalmente do estado do Amazonas para a utilização de hidrovias e as demandas cada vez maiores por produtos de baixo valor agregado (Soja, carvão, petróleo, combustíveis, fertilizantes, minerais, grãos agrícolas, contêineres), podemos relacionar essas questões e chegarmos a uma conclusão: Mercado de compra e venda de empurradores fluviais aquecido.

O surgimento de projetos relacionados a embarcações e portos está envolvido no crescimento do transporte hidroviário e é por isso que as empresas responsáveis por essas obras devem estar cada vez mais qualificadas tanto nos critérios técnicos das construções quanto na viabilidade econômica da produção.

Segundo o SINAVAL (2015), o Brasil conta com 12 regiões hidrográficas e 41.635 quilômetros de vias fluviais, mas apenas 20.956 km (50,3%) são operacionais. Com uma demanda aquecida

de encomendas para o transporte de grãos e minérios, principalmente no escoamento da safra de soja pelo Norte do país, que migrará parcialmente da BR-163 ao rio Tapajós, no Pará, e dali ao terminal portuário em Santarém.

Seis corredores hidroviários são aproveitados para o transporte de cargas. O principal é o Solimões-Amazonas, com 16.797 quilômetros, correspondentes a 80% de todo o complexo hidroviário operacional. Os demais são: Paraná-Tietê (1.495 km), Tocantins (982 km), Paraguai (592 km), São Francisco (576 km) e Sul (514 km).

Para demonstrar o crescimento produção de embarcações para navegação interior podemos analisar a figura 1 que nos mostra a quantidade de encomendas de diversas embarcações brasileiras no primeiro semestre de 2015.

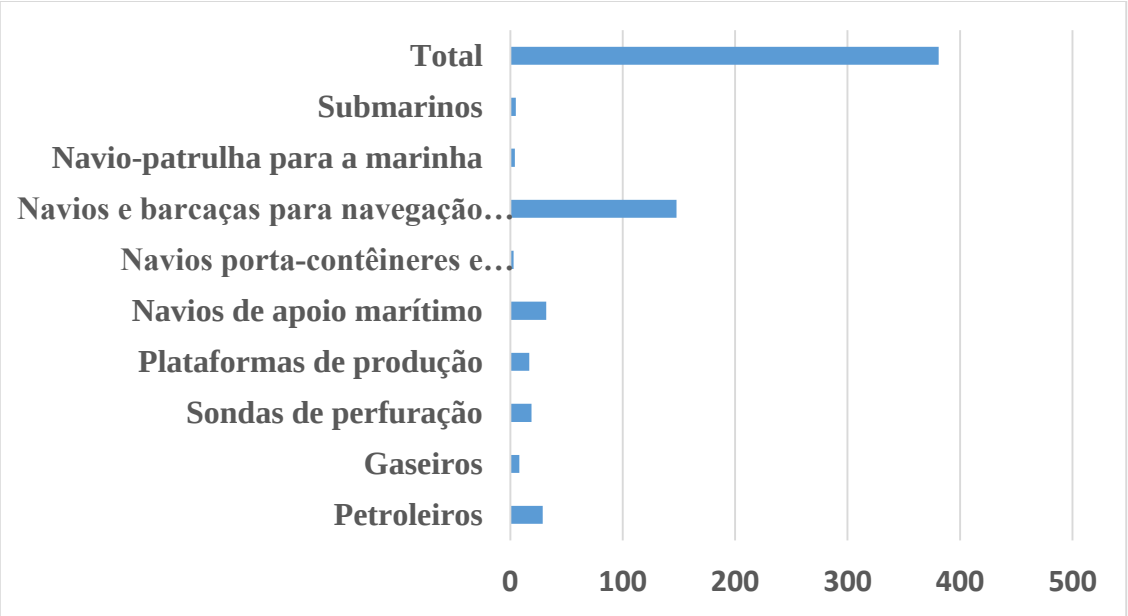


Figura 1 - Resumo da carteira de encomenda dos estaleiros.
Fonte: SINAVAL (2015)

Podemos notar que a quantidade de navios e barcaças produzidas para a navegação interior apresenta uma parcela significativa das encomendas totais do semestre, quase 39% das encomendas totais.

3 – Empurradores

O transporte hidroviário nacional é marcado predominantemente pela utilização de barcaças capazes de alocar vários tipos de cargas. Essas barcaças não são auto propelidas, por isso o

empurrador tem o papel de locomover elas, formando assim os comboios (ZOTTI, 2013)

Ainda para Zotti (2013), o transporte por comboios prioriza a navegação em baixas velocidades e com grande volume de cargas sendo transportadas, proporcionando assim menos custos de operação. A figura 2 compara a capacidade de transporte do modal rodoviário, ferroviário e aquaviário:



Figura 2: Comparação entre a capacidade de transporte dos modais: rodovia, ferrovia e hidrovia.

Fonte: Pesquisa CNT 2013.

O potencial da navegação interior não para por aí, A economia gerada no consumo de combustível para transportar carga por embarcações representa menos gastos que os outros modais.

Tanto a alta capacidade de alocação de carga por viagem como o baixo índice de consumo de combustível são fatores que possibilitam a redução de custos comparado ao que se gasta em outros modais.

Qualquer embarcação possui uma interdependência com via navegável que ela irá atuar, influenciando diretamente nos projetos. O empurrador foi adaptado ao longo dos anos para atuar em vias navegáveis que possuem curvas muito fechadas, baixa profundidade e trechos

estreitos (PADOVEZZI, 2003).

Embarcações como os empurradores fluviais são divididas em três subsistemas ligados à sua concepção básica: casco, propulsão e manobras. Também é importante que seja levada em conta a operação, que serão focados aspectos ambientais, de eficiência e de segurança, que, sem dúvida, são afetados significativamente pela operação da embarcação, afirma Padovezzi (2003).

Tabela 1 – Interdependência das características da Embarcação com as características da Via Navegável e com a Operação.

Embarcação	Via Navegável	Detalhes
Casco	Restrições da Via	Profundidade, larguras, curvas
	Aspectos Ambientais	Interferências do fundo, ondas
	Eficiência do Transporte	Carga útil x Velocidade
Propulsão	Velocidade Máxima	
	Segurança	Paradas, Condições críticas
	Aspectos Ambientais	Jatos dos hélices, emissões
Manobras	Restrições da Via	
	Segurança	Condições críticas de navegação, emergência
Operação	Velocidade	
	Aspectos Ambientais	Lastreamento, Condições ambientais
	Segurança	

Fonte: Padovezzi (2003).

A tabela acima mostra uma concepção que serve como base para elaboração do projeto de empurradores fluviais, associando os fatores técnicos da embarcação e os aspectos ambientais.

As características peculiares que identificam os empurradores são: Alta potência, que possibilita empurrar um grande número de barcaças; Proa especial, para a fixação as barcaças; Superestrutura bastante elevada, em função dos requerimentos de visibilidade no passadiço.

4 – Formação de Preços

Para Otávio (2009), o processo de formação de preço de venda de um produto ou serviço é um dos fatores empresariais mais relevantes para o sucesso ou fracasso de um empreendimento. É através dele que se obtém o montante de receitas que deverá suportar os custos, bem como remunerar os fatores de produção e os investimentos aportados na empresa.

Porém, essa determinação de quanto será o preço de venda não é uma decisão fácil, pois envolve diversos fatores tanto internos (microambiente- ambiente que a empresa está inseria) quanto externos à organização (macro ambiente- interfere em todas as empresas de uma forma geral).

A estrutura operacional da empresa deve corresponder à estratégia de preço, isto é, se a estratégia de preços é a de ser o mais baixo do mercado, a estrutura operacional deve ser enxuta, pois não é possível praticar preços baixos com custos operacionais elevados.

Segundo Dolabela (2008) para precificação de produtos em geral, não existe uma teoria que demonstre a melhor maneira de como se chegar ao preço de um produto, mas sim alguns fatores que devem ser considerados, exemplos desses fatores para ele são:

Custos- A determinação do preço do produto ocorre a partir da identificação dos custos fixos e variáveis da empresa. A partir dessa identificação e do volume de vendas previsto, a empresa calcula o ponto de equilíbrio, que é o ponto em que as receitas e os custos totais se igualam, ou seja, lucro nulo. O ponto de equilíbrio indica, então, o preço mínimo pelo qual a empresa deverá comercializar seu produto, para evitar prejuízos;

Consumidor - O preço é calculado a partir da percepção do valor do produto por parte do consumidor;

Concorrência - O preço é estabelecido em função dos preços praticados pela concorrência, bastando, para isso, efetuar uma pesquisa. O problema que se costuma detectar através dessa estratégia é que, ao determinar o preço do seu produto unicamente pela concorrência, o empreendedor pode constatar que os custos são mais altos, o que resultará em prejuízos ou em margens menores de lucro que as apresentadas pelo setor.

Este princípio abordado por Dolabela (2008) é um tripé que sempre se leva em consideração no momento de determinar o preço de qualquer produto visando à obtenção de lucro.

Para fixar o preço de venda de suas mercadorias, de forma a assegurar a obtenção de lucro, o empresário deverá conhecer a importância da formação criteriosa de preços, bem como compreender sua estrutura.

Apesar das metas para formulação do preço de venda serem bastante claras- assim como defende Crepaldi (2009), por diversas vezes podem ocorrer equívocos na formulação de preços devido à falta de foco por parte das empresas: “os administradores podem estar mais preocupados com metas como maximização da receita, visando o crescimento ou pagamento de dividendos para satisfazer os acionistas, do que com a maximização dos lucros” (PINDYCK;RUBINFELD,2005,p.224).

Segundo Bruni (2010), para permitir que isso não ocorra é necessário entender que a maximização dos lucros a longo prazo tem papel relevante quando observada como um dos objetivos da correta formação de preços de venda. Além disso, cabe mencionar que a dificuldade de estabelecer um preço atrativo para o consumidor ao mesmo tempo em que a remuneração seja justa ao produtor é, definitivamente, um impasse.

A formação de preços é, indubitavelmente, um processo amplo, no qual podemos decidir, primeiramente, se estabeleceremos o mesmo de frente para trás- partindo dos custos de elaboração do produto- ou o oposto, de traz para frente- ou seja, a partir do valor percebido pelo mercado.

Na visão de Santos (2000) tem-se que o lucro operacional de uma empresa começa a nascer a partir do momento em que o custo total (fixo e marginal) estiver coberto pelas receitas de vendas. Isto é, quando a receita total começar a superar o custo total.

5 – Formação de Preços de Navios

O artigo "custeamento de um navio" de Martins (2009) é abordado dois tipos de formação de preços baseadas em custos:

a) Departamentalização, a projeção e controle dos custos indiretos de fabricação e despesas para análise do financiamento abriga uma série de dificuldades que vão desde a incerteza associada à grandeza dos custos, às dificuldades de conhecimento de custos pertencentes às embarcações financiadas até o problema do controle dos custos e respectivos desembolsos. Essas questões antigas na contabilidade de custos (Shank e Govindarajan, 1997) devem ter um manejo adequado em função do objetivo ao qual o tratamento desses custos se refere.

A literatura comumente sugere que os custos indiretos, sendo fixos sejam desprezados na análise das variações de custo, volume e lucro sejam tratados a partir de departamentos (absorção tradicional) ou atividades (ABC).

Na primeira etapa da departamentalização, os CIFs (custos indiretos de fabricação) sofrerão rateio entre departamentos. Nessa fase, algumas contas de custos podem ter seus respectivos valores apropriados diretamente aos departamentos.

b) Custeio Baseado em atividades (ABC), o sistema ABC aloca custos indiretos diretamente

das atividades para as embarcações. Nesse caso, a seleção das atividades e dos direcionadores de custos representam uma parametrização de maior complexidade e que devem cumprir determinações estratégicas (Shank e Govindarajam, 1997). As atividades não representam estruturas físicas e devem agregar custos cujo direcionamento pode ser feito através de direcionadores que norteiam estratégias específicas.

O sistema de classificação do esquema de produção utilizado na maior parte dos estaleiros, o Work Breakdown Structure (WBS) apresentado em Storch et al. (1995) elabora-se a partir de classificação fundamentalmente baseada em atividades, O Systems Oriented Work Breakdown Structure (SWBS) e o Product Oriented Work Breakdown Structure (PWBS) representam duas formatações básicas do WBS que se orientam respectivamente para sistemas e produtos .O direcionamento de custos se baseia no conceito de Group Technology (GT), células de manufatura correspondentes a um grupo de máquinas, pessoas, processos ou outras estruturas que permitam classificação e detalhamento para a produção.

Para embarcações de segunda mão, Martins (2011) defende que o preço está ligado a vários fatores, que podem ser quantitativos e qualitativos. Entre os fatores quantitativos se podem mencionar: idade, capacidade ou porte, potência do MCP (motor principal de propulsão), tipo e capacidade de outros equipamentos principais, velocidade e data da última docagem. Entre os fatores qualitativos se podem destacar: reputação do armador e da sociedade classificadora, padrão de manutenção e bandeira de registro.

Algumas empresas europeias utilizam um princípio chamado de LTAV (Long Term Asset Value), para analise comercial de embarcações, esse princípio é baseado em um fluxo de caixa descontado. O fluxo de caixa descontado serve basicamente para avaliar o tempo de retorno do capital investido. Segundo Martins (2001) o fluxo de caixa descontado é tido como aquele que melhor revela a efetiva capacidade de geração de riqueza de determinado empreendimento.

O LTAV leva em consideração os custos da utilização de uma embarcação durante sua vida útil. Podemos listar alguns tipos de custos que tornam o modal fluvial mais lucrativo a longo prazo, na visão de Padovezzi (2003) os custos de operação de empurradores fluviais são os seguintes:

- Os custos fixos são:
    i. Depreciação das embarcações e remuneração do capital;

ii. Salário da tripulação, incluindo encargos sociais;
iii. Rancho (alimentação) da tripulação embarcada;
iv. Manutenção e docagens das embarcações;
v. Taxas, impostos e vistorias;
vi. Administração.

- Os custos variáveis são:
  i. Combustíveis consumidos;
  ii. Lubrificantes consumidos;
  iii. Outros consumíveis;
  iv. Custos de terminais de carga e de descarga.

Nessa abordagem de benefícios a longo prazo não pode e não se deve substituir os procedimentos habituais de avaliação com a qual o valor de um navio é determinado nos mercados a funcionar.

Outra forma de se chegar ao valor de embarcações é utilizando preços de referência, no qual o vendedor adota parâmetros de outros navios que possuam características parecidas com as da embarcação sujeita a venda, o problema é que uma embarcação sempre tem peculiaridades que as diferem umas das outras e além disso ocorre hoje uma escassez de trabalhos abordado modelos de precificação baseados em valores de referência.

Devido a essa escassez o presente trabalho busca uma formação de preços para empurradores capaz de abranger desde aqueles de baixa potência até os que são mais sofisticados.

6 – Problemática

No atual cenário naval, tanto nacional como internacional, existe uma escassez de trabalhos científicos voltadas ao estudo de precificação de embarcações, através desse tipo de estudo os preços de embarcações se tornam cada vez mais plausíveis. Com a formulação de bases teóricas é possível gerar satisfação dos vendedores e compradores sobre os valores das embarcações.

Diferente do mercado de venda de automóveis e outros produtos que geram catálogos contendo os preços de mercado e as principais características de cada produto, no setor naval os preços dos empurradores não são de fácil acesso por parte da maioria das pessoas e isso acaba dificultando em alguns casos a venda de embarcações, por falta de parâmetros de referência para o potencial comprador.

Além da restrição existente na acessibilidade dos preços de venda dos empurradores, a produção é realizada por meio de encomendas e isso é um dos fatores que impossibilita a construção em série, logo um empurrador nunca será igual a outro e isso significa que simplesmente utilizar de forma direta outros preços como referência torna o preço de venda de uma embarcação impreciso. Levando em conta isso, um método aperfeiçoado capaz de obter o valor de uma embarcação utilizando preços de outras embarcações com características diferentes é capaz de obter um valor coerente a qualquer empurrador.

7 – Regressão Linear Múltipla

A regressão linear múltipla é baseada nas ideais da regressão linear, que se restringe a duas variáveis e apenas uma equação funcional de primeiro grau ($y=\alpha+\beta.x$) de ajustamento.

A técnica estatística da regressão linear múltipla é usada para estudar a relação entre uma variável dependente e várias variáveis independentes explicativas; ela também é bastante aplicada pela comunidade científica.

Em engenharia de avaliações geralmente trabalha-se com modelos de regressão múltipla, tendo-se em vista a multiplicidade de fatores que interferem nos preços de um bem, afirma Dantas (2003).

A regressão linear múltipla é a técnica mais utilizada quando se deseja estudar o comportamento de uma variável dependente em relação a outras que são responsáveis pela variabilidade observada nos preços (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Dantas (1998) diz que com esta consideração afirmando que na engenharia de avaliações normalmente se trabalha com este modelo devido a multiplicidade de fatores que influenciam os preços de um bem.

O método em questão é bastante empregado para determinação do preço de imóveis. As etapas para a construção de um modelo de regressão linear múltipla para explicar o preço de imóveis são descritas por Gazola (2002): identificação das variáveis independentes; levantamento de dados; transformação de variáveis; análise exploratória; construção do modelo; analise crítica das variáveis; análise dos resíduos e verificação da aplicabilidade do modelo.

O modelo descreve uma variável dependente como função de várias variáveis independentes. A equação do modelo geral é dada por:

$$Yi = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_k X_k + \varepsilon_i \qquad (1)$$

Onde:

Yi= variável dependente;

Xk= variável independente;

Bk= parâmetros da população;

Ei= erros aleatórios do modelo.

Nesse modelo, Xk é o valor fixo da viável regressora X. Os parâmetros B0, B1..., Bk são coeficientes de polinômio de grau k, que relaciona Y, e X. Note que na regressão linear simples é um caso particular deste método, quando temos k=1.

8 - Metodológica

Esta parte do estudo apresenta a aplicação prática dos procedimentos necessários para determinação da equação de regressão resposta do problema de pesquisa.

Passo 1 - O início dos trabalhos se dá na coleta de informações no mercado de construção naval.

Passo 2 - Após esta etapa as informações são tabeladas, registrando-se as características intrínsecas e extrínsecas de cada empurrador observado, com a finalidade de se identificar quais são as variáveis que se mostrarão importantes na formação do valor dos empurradores.

Passo 3 - Posteriormente começam os testes estatísticos, a fim de se encontrar os melhores resultados que representem o comportamento do mercado estudado e a validação dos modelos.

8.1- Determinação das Variáveis a serem utilizadas

Antes de selecionar as variáveis de que seriam acopladas a regressão, foi feita uma lista das variáveis de maior influência no valor final de um empurrador, podemos vê-las abaixo:

- Características Principais: porte bruto, deslocamento leve, deslocamento carregado, comprimento total, boca, pontal, calado e arqueação bruta.
- Características de Propulsão: tipo de motor (diesel, elétrico etc), tipo de propulsão (azimutal ou convencional), quantidade de motores, BHP, geração de energia, potência e quantidade de tripulantes.

Para decidir as variáveis do modelo, foi levado em consideração dois fatores principais, a

influência dessas na composição do custo de empurradores, o quão básica essa variável é e o nível de acessibilidade, assim, pode-se gerar valores ainda nas fases iniciais de projeto sem a necessidade de muitas informações técnicas.

8.2- Levantamento de Dados

Etapa fundamental para a correta solução da questão levantada no trabalho, a coleta de dados foi realizada através de buscas pela internet, entrevistas com agentes do mercado e principalmente pelas publicações de embarcações financiadas pelo FMM (Fundo da Marinha Mercante).

As variáveis independentes a serem utilizadas são:

- Potência:

Esse fator é o que determina a capacidade de um empurrador, quanto maior, mais barcaças podem ser transportadas.

- Comprimento:

O comprimento da embarcação é influente pois, quanto maior é o seu valor, maior será a quantidade do aço processado.

- Boca:

O mesmo dito sobre o comprimento justifica a influência da boca no preço de empurradores.

A tabela 2 foi formulada através dos dados obtidos na pesquisa pelo FMM, nela podemos observar que de acordo com os intervalos de preço ocorre um aumento da potência, boca e comprimento dos empurradores.

Tabela 2 – Dados coletados para a formulação do modelo (espaço amostral)

Variação de Preço	B (m)-Média	L (m)-Média	BHP (HP)-Média	%
De R$ 34.921.586,86 a R$ 26.921.382,76	14,75	31,9	6200	29,79%
De R$ 26.921.382,76 a R$ 15.879.211,51	12,7	27,26	4256,9	10,64%
De R$ 15.879.211,51 a R$ 8.386309,59	11,7	25,2	2400	34,04%
De R$ 8.386309,59 a R$ 2.685049,0875	10,67	22,5	1200	25,53%

Os dados de preço dos empurradores tem uma variação de 34mi (valor max), 15mi (valor med) e 2mi (valor min), onde 40% está concentrado acima do valor médio e 60% abaixo do valor médio.

8.2- Teste da Correlação entre as variáveis selecionadas

As correlações entre as características das embarcações mencionadas apresentam valores próximos de 1, conforme apresenta a Tabela 3. Quando os resultados de a potência e dimensões se aproximam de 1 com a coluna do valor, quer dizer que eles estão correlacionados, isso significa que eles correspondem as expectativas mencionadas no tópico 8.1.

Tabela 3: Correlação entre as variáveis analisadas

Variável	Índice de correlação
BHP	0,919086062
L (m)	0,918640655
B (m)	0,920002815

As correlações entre as variáveis independes apresentam valores significativos conforme apresentados na Tabela 3. O preço do empurrador está fortemente correlacionado com Potência - BHP, Comprimento – L (m) e Boca - B(M).

9– Resultado

O software utilizado para a construção da tabela de dados e aplicação do Modelo de Regressão Múltipla foi o Excel. Ajustou-se o Modelo de Regressão Linear Múltipla para os dados observados. A equação de Regressão Linear Múltipla que descreve a relação entre o valor de venda do empurrador e as três variáveis independentes (Potência, comprimento e boca) é:

$$Preço = 172189181 + 20995 \times BHP - 11832583 \times L + 7124589 \times B \qquad (2)$$

Ávila (2010) afirma que, para a verificação do ajuste do modelo, calcula-se um coeficiente R^2, chamado coeficiente de determinação múltipla, que indica o poder de explicação do modelo em função das variáveis independentes consideradas (DANTAS, 1998).

Tabela 4: Estatísticas da Regressão

R múltiplo	0,921031004
R-Quadrado	0,84829811
R-quadrado ajustado	0,837714257

O coeficiente de determinação múltipla (R^2), que representa a proporção da variação em Y e é explicada através do conjunto de variáveis explanatórias selecionadas, apresentou um valor igual 0,848, ou seja 84,8% da variação no valor pode ser explicado através da variação nas variáveis e, 15,2% dos valores dos empurradores, são explicados por outras variáveis que não constam no modelo, conforme pode ser observado na tabela 6.

9.1- Verificação da Aplicabilidade do modelo

Para validar o modelo foi realizado testes comparativos entre os valores reais e os valores previstos pelos cálculos de regressão, figura 12.

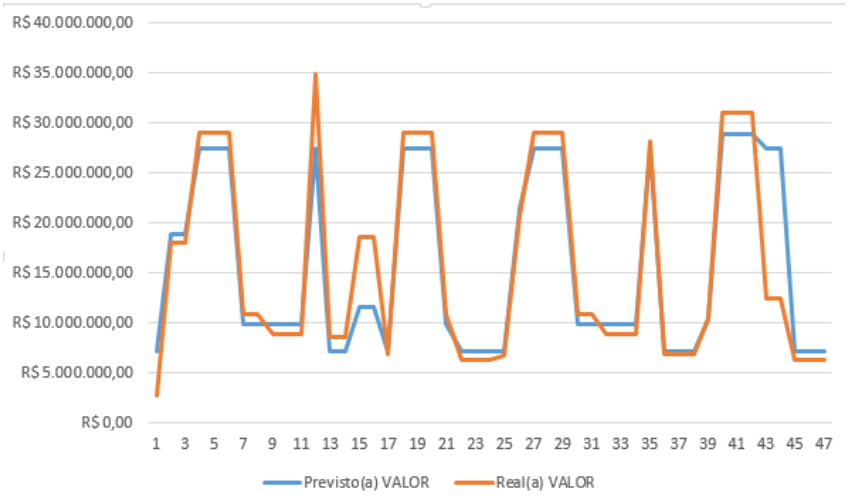


Figura 3: Linhas comparando os valores reais e previstos

Na figura 3 é possível notar que os valores previstos seguem os comportamentos de subida e descida realizados pelos preços reais.

É importante lembrar que o modelo obtido na regressão múltipla só será capaz de obter valores próximos da realidade se os dados de entrada obedecerem ao espaço amostral trabalhado, ou seja, não fuja dos parâmetros dimensionais do banco de dados.

Quanto mais detalhado e diversificado o banco de dados, mais preciso se torna o modelo de regressão.

10– Conclusão

O presenta trabalho teve como objetivo a formulação de um modelo capaz de gerar previsões de preços para empurradores fluviais com base em características que são correlacionadas ao preço das embarcações. Para tanto, foi necessário a busca por uma ferramenta matemática capaz de se obter valores próximos a realidade e de maneira a facilitar o trabalho dos armadores e vendedores de embarcações na estimativa de preço.

A ferramenta matemática que se mostrou eficaz para atingir esse objetivo é o método de regressão linear múltipla que através de várias variáveis independentes pode-se obter um resultado y que representa um valor dependente de todas essas outras variáveis, esse método é bastante difundido nos trabalhos de engenharia de avaliação.

Depois da seleção do método foram realizadas as etapas de para construção do modelo para explicar o preço de empurradores da seguinte forma: identificação das variáveis a serem utilizadas, levantamento de preços e características de embarcações, teste de correlação das

variáveis, construção do modelo, analise crítica das variáveis e verificação da aplicabilidade do modelo.

Apesar das simplificações e premissas adotadas, o modelo matemático proposto se mostrou confiável dentro dos parâmetros do espaço amostral que foi obtido durante o levantamento de dados, resolvendo o problema motivador desse trabalho e apresentando valores coerentes com a realidade. Dessa forma, o modelo proposto, devido a sua originalidade pode atuar como ferramenta de decisão e gestão, sendo uma linha de base nos processos de formação de preços e tomada de decisão quanto ao mercado de compra e venda de empurradores.

Em comparação com os valores obtidos no FMM (Fundo da marinha mercante), os preços previstos no método apresentam coerência, contudo, vale ressaltar novamente que premissas e simplificações foram adotadas, para aumentar ainda mais a empregabilidade do método para empurradores fora do intervalo de confiabilidade obtido é preciso ter acesso a um banco dados mais robusto com detalhamento técnico de cada embarcação listada.

O método desenvolvido se apresenta útil aos estaleiros e armadores que desejam obter valores de referência para determinação dos preços das embarcações negociadas. Esse modelo é capaz de obter resultados precisos ainda nas fases iniciais de projeto, com isso, se gerar satisfação e segurança aos empreendedores no momento de suas negociações.

11 – Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14.653-1: “Avaliação de bens parte 1: procedimentos gerais”. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas: “NBR 7586. Arranjo geral de embarcações” Jul./1992.

BRUNI, Adriano Leal. “A administração de custos, preços e lucros”. 4.ed.São Paulo: Atlas, 2009.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT): “Pesquisa CNT da Navegação Interior 2013.”. 2013. São Paulo.

CREPALDI, Silvio Aparecido. Curso Básico de Contabilidade de Custos. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

DANTAS, R.A. “Engenharia de avaliações: uma introdução à metodologia científica”. 1 ed. 2. Tiragem. São Paulo: Pini,1998.

DANTAS, R. A. "Engenharia de Avaliações: Uma introdução à metodologia científica". 1º. Ed. São Paulo: Pini, 2003.

DEPARTMENT, TRIESTE, ITALY. Congreso Internacional Ids2013 – Amazonía.

DOLABELA, Fernando. "Determinação do Preço". Disponível em: <*www.uniube.br*>. Acesso em: 29 novembro. 2014.

FUNDO DA MARINHA MERCANTE (FMM). Disponível.em:<*https://www.mercante.transportes.gov.br*>. Acesso em: maio de 2015.

GAZOLA, S. "Construção de um modelo de regressão para avaliação de imóveis. 2002. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

INTEROCEAN Engenharia & Ship Management Ltda: "Arranjo Geral Empurrador de 1200 HP". 2010 Pará.

LONG TERM ASSET VALUE (LTAV), Disponível em*:<http://www.naturalship.com/snp-valuation.html>.:*Acesso em: abril de 20015.

LIMA, Rodrigo Otávio das Chagas. "Processos de formação de preços"- Coritíba: IESDE Brasil S.A. , 2009.

MARTINS, Eliseu (org). "Avaliação de Empresas:Da mensuração contábil à econômica". São Paulo: Editora Atlas, 2001.

MARTINS, Floriano Pires: "Análise estratégica de formas alternativas de custeamento na construção de navios", 28 de novembro de 2005.

PADOVEZI, C.D. "Conceito de embarcações adptadas à via aplicado â navegação fluvial no Brasil". 2003. 215 p. Tese Doutorado- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PINDYCK, Robert S.; RUBINFELD, Daniel L. "Microeconomia". 6.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

SANTOS, Joel José dos. "Análise de Custos: remodelando com ênfase para custo marginal, relatório e estudos de caso". 3. Ed. São Paulo: Atlas, 2000.

SHANK J. K., GOVINDARAJAN V. "A revolução dos custos". Rio de Janeiro: Campos, 1997.

SINAVAL. Carteira de encomenda dos estaleiros 2015. Disponível em :< *http://sinaval.org.br*>. Acesso em: 15 mar. 2015.

STORCH, Richard L. et al. "Ship Production. Cornell meritime Press", Centreville. 1995.

ZOTTI, Igor: "River Transport By Barges: Resistance And Directional Stability Problems". July 2013. University Of Trieste, Dia

AVILA, F.M. "Regressão linear múltipla: ferramenta utilizada na determinação do valor de mercado de imóveis". 2010. 102 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em engenharia civil)

Evaluación de las implicaciones de los sistemas de propulsión diesel-eléctrico y diésel en un buque tipo OPV, durante su ciclo de vida

Teniente de Navío Óscar Raúl García Baquero
oscar_4041@hotmail.com
Ingeniero Naval Especialidad Mecánica

Wilmer Enrique Castro Reyes
wcastroreyes@gmail.com
Ingeniero Naval Especialidad Mecánica,

Capitán de Fragata Víctor Hugo Jiménez González
victor.jimenez@armada.mil.co
M.Sc. Dirección de Tecnología, Jefatura de material Armada Nacional de Colombia

Resumen

El presente estudio incluye una comparación entre el sistema de propulsión diésel en el buque tipo OPV (Buque Patrullero Oceánico) ARC "20 de Julio" y un sistema diésel eléctrico con propulsor tipo POD, en cuanto a economía de operación, maniobrabilidad y mantenibilidad.

Dentro del proceso fueron estudiados los desarrollos históricos de cada uno de los sistemas desde sus inicios hasta llegar a las décadas actuales con sistemas completamente funcionales y eficientes, fueron caracterizados cada uno de los componentes de los sistemas, junto con el concepto del perfil operacional para el ARC "20 de Julio" establecido para la situación actual marítima de Colombia, y que sirvió de base para la cuantificación final de las variables estudiadas.

Dentro de las investigaciones fue adelantado un sondeo de percepción para el personal de expertos en la operación y mantenimiento de los buques en el que fueron identificadas de las variables más relevantes entre las referenciadas en la investigación.

Basados en las necesidades y tipos de operaciones se pudo determinar que el sistema diésel eléctrico tipo POD tuvo ventajas considerables sobre el sistema de propulsión diésel convencional.

Palabras clave: diésel, POD, propulsión, maniobrabilidad, OPV, mantenimiento, costos, operación, perfil operacional, buque, electricidad, generación.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los buques de guerra viene avanzando a pasos agigantados y la Armada Nacional no puede dejar a un lado las ventajas de este avance. Como parte de ello se viene desarrollando el proyecto de la Plataforma Estratégica de Superficie (PES), con el cual se pretende mejorar en todos los aspectos de los buques de construcción nacional. No solo se diseñara el casco, también se buscará hacer que esta nueva clase tenga los más altos parámetros de funcionamiento, con la más actual tecnología. En el desarrollo e investigación de nuevas propuestas para buques no solo de guerra sino mercantes de gran tonelaje y cruceros, existe una corriente de buques de propulsión eléctrica con POD. Es decir, con el mismo principio de producción de potencia con motores diésel, pero con sistemas eléctricos de generación y propulsión; con estos se cambia el esquema convencional de motores, líneas de ejes y reductores.

Dentro del desarrollo del trabajo se evaluaron los aspectos más relevantes de los sistemas de propulsión, partiendo del sistema diésel directo Instalado en la OPV, y comparándolo de manera teórica con el sistema diésel eléctrico, para determinar qué tan conveniente es este sistema para la nueva unidad de la Armada Nacional planteada dentro del proyecto PES. Arrojando que ventajas ofrece, o sí por el contrario, el sistema convencional es el adecuado. Las variables a estudiar tienen que ver con aspectos relevantes al momento de selección e instalación de un sistema propulsivo completo, teniendo en cuenta que cada uno tiene una distribución de espacios y requerimientos de mantenimientos técnicos básicos y avanzados diferentes. Igualmente se modificarían ciertos parámetros importantes como calado.

El presente estudio se realizó con base en una de las últimas unidades mayores incorporadas por la Armada Nacional, el ARC “20 de Julio”, dentro del lapso 2013-2014, ya que para este lapso de tiempo se tuvieron los datos específicos de diseño, pruebas de canal, análisis de resistencias y registros de operación actualizados. Asimismo, esta unidad maneja unos esquemas de operación definidos para cada situación particular como son, rutinas de patrulla e interdicción; referentes validos al momento de realizar la comparación final y el proceso de selección del sistema más adecuado.

METODOLOGÍA

La presente investigación fue desarrollada bajo un enfoque cuantitativo, en la medida que entrega datos específicos de las ventajas en maniobrabilidad, economía de operación y mantenimiento, en la posible implementación de un sistema de propulsión diésel eléctrico a bordo de las nuevas embarcaciones tipo OPV de la Armada Nacional. Se desarrolló un estudio exploratorio, y no experimental debido al enfoque seguido dentro del trabajo, donde se recopilo y analizó información de los dos sistemas de propulsión.

Igualmente se realizó una descripción detallada de cada uno de los sistemas, elaborando una investigación con metodología descriptiva, mediante la cual se establecieron características específicas de cada sistema propulsivo, junto con cada uno de sus componentes apoyando la investigación en documentos recientes y libros relacionados con el tema.

DESARROLLO

Sistema de propulsión diésel: comúnmente usado en los buques alrededor del mundo, basa su funcionamiento en un motor principal diésel el cual funciona acoplado a un engranaje reductor el cual reduce las revoluciones del motor para entregar a la hélice la cantidad adecuada de revoluciones para la operación, normalmente la reducción es de 1 a 4 y se maneja una eficiencia desde el 95% hasta el 98%[22] para transmitir la potencia recibida y regulada por el reductor se usa el sistema de trasmisión de potencia, que mediante el eje se acopla a la hélice que finalmente es el propulsor del buque, usando el principio de tornillo. La eficiencia total del sistema diésel es ≤ 95% dependiendo la configuración específica de cada buque.

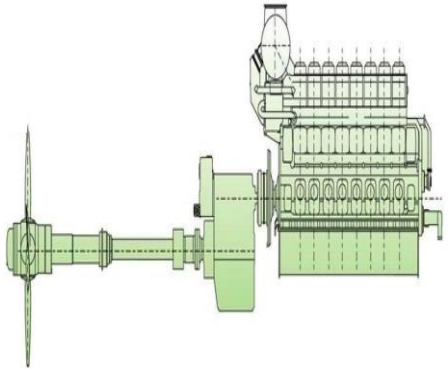


Figura 1 Sistema diésel

Fuente: img.nautiexpo.es/images_ne/photo-g/
sistemas-propulsion-diesel-buque-motores-diesel

Sistema de propulsión diésel eléctrico con POD: Este sistema, consiste en un generador eléctrico o alternador, puesto en marcha por un motor de combustión interna, que suministra la energía a un motor eléctrico alojado dentro de una cápsula llamada POD, que a su vez pone la hélice en movimiento. Un sistema eléctrico en un buque con propulsión eléctrica normalmente consta de una planta de energía de generación de electricidad, un sistema de distribución y un

[22] PLUMB, C M. Warship Propulsion System Selection. Londres.: Marine Management (Holdings) 1987. p. 91-92

motor de propulsión. El sistema de distribución consiste en tableros eléctricos, transformadores y convertidores de frecuencia, como e muestra en la figura 2.

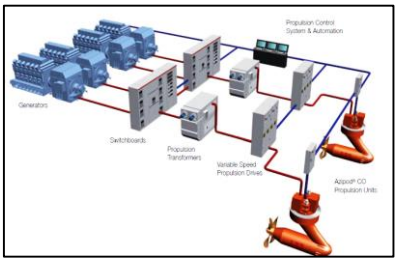


Figura 2 Sistema de Propulsión Eléctrico con Propulsor tipo POD.

Fuente: ABB. Azipod® CO Compact podded propulsion in the 1.3 - 4.5 MW power range.

Perfil Operacional OPV Offshore Patrol Vessel ARC "20 de Julio": EL perfil operacional es el tipo de uso del buque de guerra a lo largo de su tiempo de servicio, este se enmarca dentro de unas tareas específicas para cada clase de Unidad. Un perfil operacional estándar aproximado para la mayoría de los buques de guerra se puede mostrar de la siguiente manera:

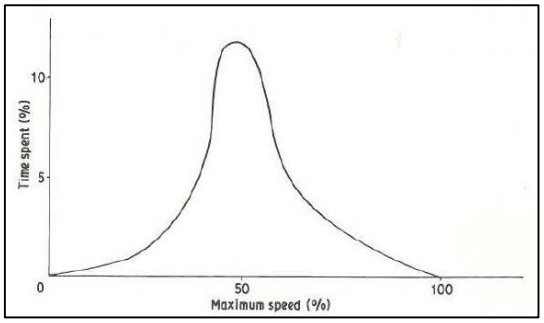


Figura 3 Perfil operacional estándar

Fuente: PLUMB, C M. Warship Propulsion System Selection. Londres: Marine Management (Holdings) 1987. p. 219.

Los requerimientos y distribuciones de velocidad en un buque de tipo OPV, estándar a nivel mundial de acuerdo a un 100% del tiempo de operación en un lapso de un año son estándar pero teniendo en cuenta la situación marítima de Colombia y las capacidades de proyección con las que cuenta el buque.

- ✓ Cobertura de frontera
- ✓ Protección del medio ambiente
- ✓ Búsqueda y rescate

- ✓ Atención en siniestros
- ✓ Seguridad Marítima
- ✓

Al cumplir estas funciones se maneja la distribución de porcentaje de tiempo de 2500 horas anuales de operación proyectadas así:

Tabla 1 Perfil operacional ARC "20 de Julio"

Velocidad	**Tiempo de navegación %**
18	10
12	45
5	45

Fuente: FASSMER. Technical specifications OPV 80 – ARC. United Kingdom. p. 3-5.

CUANTIFICACIÓN DE VARIABLES ESTUDIADAS DE LOS SISTEMAS DE PROPULSIÓN DIÉSEL Y DIÉSEL ELÉCTRICO

Se realizó por parte de los autores un proceso de calificación de los parámetros relevantes al momento de seleccionar el sistema de propulsión adecuado para un buque tipo OPV, se debe tener en cuenta que para la selección se estudió un sistema completamente funcional, y uno que aún no se encuentra implementado en los buques de la Armada Nacional.

Para cada ítem se realizó una proyección de costos y facilidades iniciales y a futuro acuerdo lo estudiado dentro de los capítulos anteriores. Los resultados se plasmaran en una tabla de comparación entre los dos sistemas, basada en las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas.

Ventajas del sistema de propulsión diésel eléctrico (DE).

- La principal ventaja de la propulsión DE es el ajuste de la velocidad de la hélice independientemente de la rotación de la máquina principal (la que genera la energía mecánica). El ajuste de la rotación de la hélice está determinado por la velocidad del motor eléctrico. Por lo tanto, la máquina principal funciona a una velocidad constante, que pone en marcha un generador que suministra la energía al motor eléctrico. El control de velocidad del motor

eléctrico puede llevarse a cabo a través de la frecuencia de invertir (CA) o el control del voltaje aplicado al motor (CC)[23].

- Se reduce la potencia total instalada de los motores. Los dos sistemas de plantas eléctricas pueden compartir reservas de energía, habiendo siempre suficiente potencia disponible para arrancar unidades de gran consumo (como los motores propulsores), sin someter a la red eléctrica a grandes fluctuaciones de tensión[24].
- Soler & Miranda en1997 presentan la minimización en mantenimiento y consumo de combustibles y costos operacionales como ventaja relacionada con propulsión eléctrica. Una afirmación Importante es que los motores eléctricos muestran poco costo de mantenimiento y de reparación en comparación con los motores mecánicos[25].
- Reducción del coste del ciclo de vida mediante la mejora de la economía de funcionamiento con un menor consumo de combustible y costes de mantenimiento[26].

Desventajas de la propulsión diésel eléctrica (de).

- La seguridad física es muy importante al momento de trabajar con electricidad, por tal motivo todas las personas involucradas en la operación y mantenimiento de los dispositivos deben ser conscientes y estar preparadas para los riesgos de estos sistemas. Se identifican cinco factores que explican las principales causas de los accidentes: omisión, acción incorrecta, inmoderado, falta de control y el mal control. Por lo tanto, es importante que los miembros de la tripulación se preparen para trabajar con accidentes que pueden ocurrir. Debe tenerse en cuenta que no se trata sólo de instalar sistemas de propulsión más modernos a bordo de los buques fluviales, sino que también es necesario formar y preparar a la tripulación con las nuevas tecnologías[27].
- Morishita en 1985 explica que el operador humano no está preparando para la gestión de sistemas complejos que pueden hacer su operación ineficiente y por lo tanto muy

[23] NARCISO, Newton. A Diagnostic of Diesel-Electric Propulsion for Ships. Ciencia & Tecnología de Buques. Enero, 2008, vol.1, N° 2, p. 27-40.
[24] TURTIAINEN, Matti. Barcos Ecológicos. Finlandia: revista ABB 3/2005. p. 55.
[25] SOLER, A y S, MIRANDA, S. Electric Systems pf Naval Propulsion. Final Report, EPUSP. Citado por: NARCISO, Newton. A Diagnostic of Diesel-Electric Propulsion for Ships. Ciencia & Tecnología de Buques. Enero, 2008, vol.1, N° 2. p. 27-40.
[26] ABB Oy. A global technology partner to the marine industry. Finlandia: Rev. E - 01.08. p. 8.
[27] Guimarães, L. S. Tese (Doutorado): Sintese de doutrina de segurança para projeto e operação de submarinos nucleares. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, 1999. p. 170-189.

peligrosa. Debido a esto, es necesario fomentar la conciencia del problema ya que los sistemas eléctricos son de alta tensión y producen consecuencias desastrosas[28].

Ventajas del sistema de propulsión diésel

- A altas velocidades el funcionamiento de los motores Diésel funcionan de manera eficiente, quemando la mayor cantidad de combustible y usando los turbos de manera adecuada.
- El sistema diésel, al funcionar con reductores de velocidad puede cambiar el sentido de marcha del eje sin necesidad de cambiar el sentido de rotación del motor principal, y si el buque cuenta con sistema de paso variable, ni siquiera se debe cambiar el sentido de rotación del eje.
- A bajas velocidades de operación, el ahorro de combustible es alto, de acuerdo las curvas de consumo por motor.
- El mantenimiento preventivo de los equipos del sistema diésel, no requiere capacitación técnica alta, al ser sistemas básicos que solo requieren control de nivel de fluidos y supervisión en tiempo de servicio.
- El sistema de dirección es básico, y puede ser operado de manera local en caso de sufrir algún tipo de avería.
- La generación y la propulsión son dos sistemas separados, lo cual ofrece una ventaja en términos de seguridad, al mantener cada función del buque independiente del otro, en caso de sufrir una avería en el sistema de propulsión, no se ve afectado el fluido eléctrico del buque, e igualmente al verse afectada la generación eléctrica, el buque podrá seguir maniobrando de manera normal hasta llegar a puerto seguro o hasta que se corrija la avería.

Desventajas de la propulsión diésel.

- Al variar los rangos de velocidad regulados por la velocidad del motor, este no estará operando dentro de su rango óptimo de funcionamiento, aumentando emisiones de gases y produciendo averías a largo tiempo en los motores, que pueden afectar los turbo cargadores principalmente
- El mantenimiento correctivo, y el mantenimiento mayor del sistema de engranaje reductor es sumamente costoso y difícil de realizar, requiriendo personal experto, igualmente en caso de una avería en el sistema de ejes, el eje se debe desmontar del casco, lo que requiere un trabajo

[28] Morishita, H. M. Tese (Doutorado): Estudo de controlador adaptativo para uma instalação propulsora marítima. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, 1985. Citado por: NARCISO, Newton. A Diagnostic of Diesel-Electric Propulsion for Ships. Ciencia & Tecnología de Buques. Enero, 2008, vol.1, N° 2. p. 27-40.

mayor en dique, que implica la bajada del eje, con lo cual el buque queda fuera de servicio por un tiempo largo, al momento de instalar nuevamente el eje, se debe tener especial cuidado en la alineación del mismo. Por su importancia, requiere el empuje una especial atención, ya que una irregularidad en su funcionamiento puede ocasionar averías de gran consideración.

Proyección de costos de operación.

Acuerdo los datos suministrados en el perfil operacional para el buque ARC "20 de Julio, se realizó la proyección de consumos de combustible a diferentes velocidades, en la tabla 9 se muestran los consumos específicos de los motores wartsila 6L26 a diferentes condiciones de carga, y velocidad del buque en litros por hora.

Tabla 2 Consumos de combustible ARC "20 de Julio"

VELOCIDAD	CONSUMO	CONSUMO TOTAL
18 Nudos	405	847
15 Nudos	335	701
12 Nudos	297	622
9 Nudos	206	430
5 Nudos	122	239

Fuente: FASSMER. (2010). Technical Specifications OPV-80.

El sistema azipod permite una reducción del consumo de combustible en torno al 10-15% comparado con los sistemas de propulsión convencionales y, en consecuencia una mejora en el impacto ambiental gracias a la reducción de las emisiones de CO_2 [29]

Acuerdo los estudios analizados y realizando la proyección de gastos de combustibles para el buque tipo OPV ARC "20 de Julio" se obtiene un consumo anual de 312.000 galones de diésel marino con el sistema diésel, mientras que con el sistema diésel eléctrico con propulsión tipo POD, el ahorro proyectado es del 10%, aproximadamente de 31.000 galones. Actualmente para los procesos de aprovisionamiento de combustible de los buques el galón de diésel marino es pagado por contratación de la Armada Nacional a 7800 pesos mcte. aproximadamente $3.93

[29] ABB. Cuaderno de aplicaciones técnicas N° 11. Introducción a los sistemas e instalaciones abordo. Barcelon, 2011. p. 14

US Dólar[30]. Estas proyecciones de consumos anuales totales son de $1'226.160 US Dólar, y el ahorro con el sistema diésel eléctrico con propulsores tipo POD es de $122.616 US Dólar.

La eficiencia propulsiva está ligada con el ahorro de combustible y mantenimiento, es de esta manera que al lograr la optimización del uso de los propulsores se ahorran a futuro gastos innecesarios de mantenimiento. Las curvas de eficiencia de los sistemas de propulsión diésel son analizadas a continuación.

Tabla 3. Eficiencia Sistemas Diésel

VELOCIDAD	POTENCIA ENTREGADA	CONSUMO TOTAL	EFICIENCIA
18	4080	847	0,0052356
15	3468	701	0,00537634
12	3060	622	0,00534759
9	2040	430	0,00515464
5	1020	239	0,00462963

Fuente: Autores

Analizando y elaborando la curva de eficiencia, se pudo determinar que la eficiencia de los motores diésel es reducida para velocidades bajas y que a medida que se aumenta la velocidad y por ende la carga se llega a un punto óptimo de funcionamiento del sistema, punto en el cual es usado el sistema diésel eléctrico debido a la facilidad de conectar la cantidad de generadores necesarios para la carga requerida, superando ampliamente el sistema diésel que usa las dos plantas de propulsión tanto a bajas como altas cargas. Estos aspectos se convierten en ahorro de combustible, reducción de tiempos y periodicidad del mantenimiento preventivo y correctivo en un 6%. Finalmente los estudios de costos a lo largo del ciclo de vida del sistema de propulsión diésel eléctrico con POD, compensan su valor inicial con una mayor eficiencia y ahorro durante el ciclo de vida completo de la Unidad

[30] Precio promedio del dólar Disponible en: www.portafolio.co. Con acceso el 02-12-2013

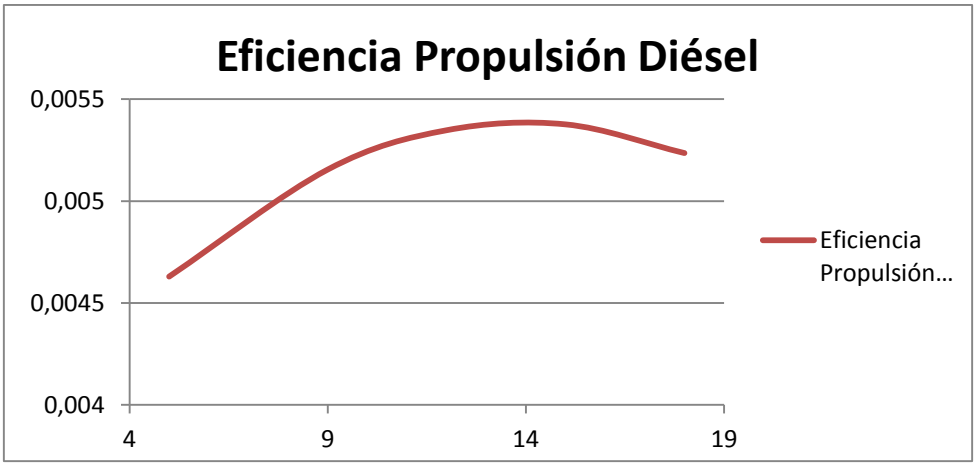


Figura 4. Eficiencia Sistema Diésel

Fuente: Autores

Encuesta aplicada a oficiales Navales

En la encuesta aplicada a 25 Oficiales Navales de especialidad tanto ingenieros como superficie, mediante la cual se determinaron los porcentajes de prioridad de las variables descritas anteriormente. El formato de la encuesta se encuentra en el anexo la distribución del personal al que se le aplicó la encuesta es el siguiente

11 Oficiales de especialidad Ingeniería

24 Oficiales de especialidad Superficie

El objetivo de la encuesta fue realizar un sondeo de las opiniones del personal de oficiales que operan en los buques de la Armada Nacional, mediante el cual se obtuvo la ponderación e importancia de cada variable estudiada.

Después de aplicadas las encuestas, los datos recopilados fueron organizadas y evaluadas en una tabla similar a la de la encuesta, arrojando los siguientes valores de prioridad así:

Tabla 4. Ponderación De Resultados.

ÍTEM	CALIFICACIÓN
Maniobrabilidad	43,6 %
Costos de Operación	18,8 %
Facilidad de Mantenimiento	17,6 %
Costo Inicial	6,04 %
Peso y espacio	13,96 %
TOTAL	100 %

Fuente: Autores.

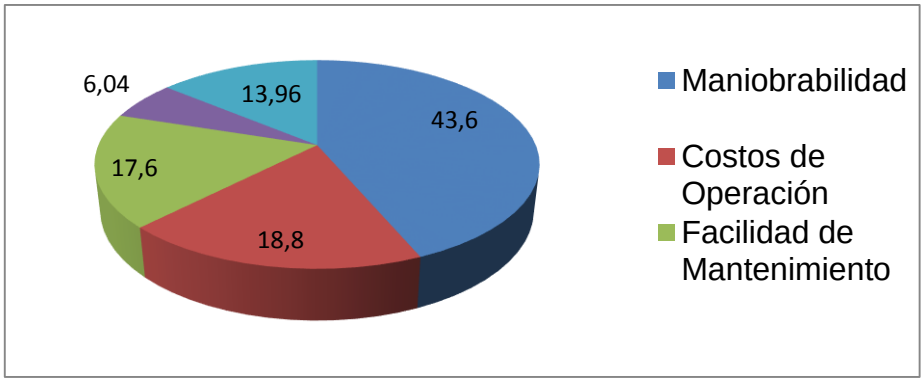


Figura 5 Resultados de Encuesta

Fuente: Autores

En base a los resultados obtenidos de las encuestas, y teniendo en cuenta que los criterios del personal encuestado son los adecuados, ya que hay oficiales de diferentes especialidades los cuales se han desempeñado en diferentes unidades de la Armada Nacional y han sabido de primera mano las necesidades de cada buque de acuerdo a los requerimientos operacionales.

Se evidencia que la principal variable a considerar fue la maniobrabilidad del buque con un 43.6%, seguido por el costo de operación, ya que existen limitantes importantes en la asignación de recursos monetarios para la adquisición de combustible, la facilidad de mantenimiento sigue en orden de prioridad, y esta es una necesidad sentida de los oficiales de ingeniería, los cuales tienen bajo su mando personal capacitado, pero que requiere facilidades y herramientas adecuadas para realizar los mantenimientos abordo hasta el nivel que permita la situación.

Tabla 5 Cuantificación de Variables

ÍTEM	ASPECTO	DIÉSEL ELÉCTRICO	DIÉSEL
1	Ajuste de la velocidad	+	-
2	Optimización de los propulsores	+	-
3	Eficiencia mecánica	-	+
4	Mantenimiento	+	-
5	Capacitación al personal	-	+
6	Consumo combustible a bajas velocidades	+	-
7	Emisiones de CO2	+	-
8	Mantenimiento correctivo	+	-
9	Operación del sistema es seguro	-	+
10	Vibraciones	+	-
11	Optimización de espacio y peso	+	-

12	Parada de emergencia	+	-
13	Radio de giro	+	-

Fuente: Autores

CONCLUSIONES

- ✓ En el desarrollo de maniobras cotidianas para el ARC "20 de Julio" como son cambios de marcha, cambios repentinos de rumbo a velocidades sostenidas y situaciones de parada de emergencia con el uso proyectado del sistema de propulsión diésel eléctrico con propulsor tipo POD se reducen tiempos de respuesta del buque entre el 30% y el 40%. La distancia recorrida después del cambio total de marcha se reduce de 4 esloras completas a dos, aumentando en 50% la efectividad de esta maniobra; igualmente el radio de giro es 40% menor en el sistema diésel eléctrico con propulsor tipo POD al posicionar fácilmente en cualquier dirección y ángulo el propulsor azimutal.
- ✓ Los costos de operación proyectados del sistema de propulsión diésel eléctrico durante un año comparados con el sistema diésel se reducen en un 10%, que llevado a cifras es un ahorro de $122.616 US Dólar, solamente en gastos de combustible.
- ✓ El costo inicial de adquisición del sistema de propulsión diésel para un buque tipo OPV, es 5.6% más económico que el sistema de propulsión diésel eléctrico (DE), al ser una tecnología con equipos más avanzados y sistemas de control con mayor complejidad. Pero acuerdo la proyección de costos, esta inversión inicial es recuperada en el ahorro del consumo de combustible durante el ciclo de vida del buque.
- ✓ Para los buques tipo OPV, el perfil operacional es de patrullajes extendidos a bajas velocidades, lo que se convierte en operación de la planta propulsara a baja carga y por ende dentro del rango de menor eficiencia de esta. Al sostener este tipo de operación por tiempos prolongados se reducen en un 15% la periodicidad de los tiempos de mantenimiento, aumentando la frecuencia de mantenimientos preventivos y llevando los componentes a desgaste prematuro.
- ✓ La optimización del espacio y del peso fue una variable alterna que se desarrolló en el proceso investigativo y se pudo determinar no solo por los estudios sino también por las opiniones de oficiales navales que este factor toma un grado de importancia alto y es asociado con la evolución tecnológica de los equipos, reduciendo espacios de maquinaria y optimizando distribuciones de esta, logrando la adecuada distribución de peso y espacio dentro del buque se reduce el desplazamiento y se optimiza la planta propulsora para lo que el sistema diésel eléctrico con propulsores tipo POD reduce en un 30% la relación.

- ✓ Para un tipo de operaciones a bajas velocidades sostenidas y requerimientos de velocidad bajos, de acuerdo con el perfil operacional del ARC "20 de Julio" el sistema diésel eléctrico con propulsión tipo POD proyectado para esta unidad optimizaría de los motores generadores diésel manteniendo el rango de operación de los mismos dentro de la curva de máxima eficiencia sin afectar los requerimientos de velocidad.

BIBLIOGRAFIA

ABB. (s.f.). Recuperado el 18 de 07 de 2013, de ABB (Asea Brown Boveri). "Azipod": http://www.abb.com/industries/db0003db002805/c12571f4002ab83dc1256fdf003b2929.aspx.

ABB. (2008). Faculty of Engineering Science and Technology Department of Marine Technology and Faculty of Information Technology, Mathematics and Electrical Engineering Department of Electrical Power Engineering in cooperation with Aker Elektro, Marine, Marintek, . 10.

ABB. (s.f.). Milestones. Recuperado el 05 de Abril de 2013, de http://www.abb.com/cawp/abbzh254/3cd29f2465251d38c1256b56002d6daa.aspx.

ÅDNANES, A.-K. (2003). Maritime Electrical Installations and Diesel Electric Propulsion:. Olso: Abb AS Marine.

ALONSO , M., & FINN , E. (s.f.). Física Mecánica Volumen I . Fondo Educativo Interamericano S.A.

Alvarez-Leon, R., & Botero, L. (2000). The Caribbean coast of Colombia. Seas at the Millennium: An Environmental Evaluation, Elsevier Science Ltd., 663-675.

American Society For Testing and Materials. (2003). Standard Practice for Operating salt spary (fog) apparatus. ASTM B117 - 03. West Conshohocken, Pensilvanya, Estados Unidos: ASTM.

American Society For Testing And Materials. (2006). Standard Specification For Reafent Water. ASTM D1193 - 06. West Conshohocken, Pensilvanya, Estados Unidos: ASTM.

American Society For Testing And Materials. (2011). ASTM G1 - 03. Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. West Conshocken, Pensilvanya, Estados Unidos.

Andrade-Amaya, C., & Barton, E. (2001). Las corrientes superficiales en la Cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 25(96):321-335.

ANES (ASOCIACION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR). (s.f.). Obtenido de http://www.anesmichoacan.mx/anes2009/jueves10sept2009/4Poligeneracion%20de%20energ

ia%20y%20agua%20%20estado%20de%20las%20tecnologias%20y%20posibles%20aplicaciones.pdf

Antioquia, Universidad. (2011). Universidad de Antioquia. Recuperado el 20 de Octubre de 2013, de http://docencia.udea.edu.co/cen/electroquimicaII/corrosion/corrosion_electroquimica.pdf

ARMADA NACIONAL. (s.f.). Manual Administrativo de Material Naval.

ARPIAINEN, J., & LAUKIA, K. (1993). Naval Architecture of electric Ships. New York: SNAME.

Ashby, M. F., & Jones, D. (2000). Engineering Materials. Boston: Butterworth-Heinemann.

Askeland, D. (2004). Ciencia e Ingenieria de los materiales 4ed. México: International Thomson Editores, S.A.

BERGH, L., & HELLDÉN, U. (2007). Electrical systems in pod propulsion. Göteborg: Department of Energy and Environment. Chalmers University Of Technology.

Bernal, G., Poveda, G., Roldan, P., & Andrade, C. (2006). Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la Costa Caribe colombiana. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 30(115):195-208.

Beteta, M. A. (2008). Corrosión - Clasificación y sus definiciones. Mataro, Barcelona, España.

Blanco, J. (1988). Las variaciones ambientales estacionales en las aguas costeras y su importancia para la pesca en la region de Santa Marta, Caribe Colombiano. Tesis de Maestria, Universidad Nacional de Colombia.

BOLES Michael, C. Y. (2008). Termodinamica. Ciudad de Mexico: MC Graw Hill.

BORRAS Ramon, L. M. (2006). Propulsión Electrica de Buques. Coruña: Universidad de la Coruña.

BORRAS, R., & LOPEZ, J. (s.f.). "Propulsión eléctrica con PODs (I)". Recuperado el 12 de 06 de 2013, de Departamento de Enxeñería Industrial. Universidad da Coruña.: http://www.axomaga.com/uploads/08%20-%20Propulsion%20electrica%20con%20PODS(1).pdf

BOSE, N. (2008). Marine Powering Prediction and Propulsor. New Jersey: SNAME.

CARLTON, J. (2012). Marine Propellers and Propulsion. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Caterpillar . (s.f.). Colling System - Application and instalation guide (Manual).

Chico, B., Otero, E., Mariaca, L., & Morcillo, M. (1998). La corrosión en atmósferas marinas. Efecto de la distancia a la costa. Revista de Metalurgia.

Cortés, M., & Ortíz, P. (2004). Corrosión. Hipotesis/Apuntes científicos Uniandinos No.4, 14-18.

Diaz, V., & Lopez, C. (2005). Estudio de incertidumbre en la velocidad de corrosión atmosférica en acero de bajo carbono. Revista de Metalurgía, 441-448.

DORDEA, S., & ZBURLEA, E. (s.f.). Electric drives for azimuth propulsors. Constanta Maritime University Rumania, year XI, Vol. 14, 184.

DORDEA, S., & ZBURLEA, E. (s.f.). Electric drives for azimuth propulsors. Constanta Maritime University Rumania, year XI, Vol. 14.

Duque, Y. L., Mora, J. M., & Navas, G. (2010). Contexto climatológico y oceanográfico del mar caribe colombiano. En Invemar, Biodiversidad del mar Caribe colombiano (págs. 54-58). Santa Marta.

ECOPETROL. (s.f.). Diesel. Recuperado el 15 de Agosto de 2013, de http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=216&conID=37368

FASSMER. (2010). Technical Specifications OPV-80.

FASSMER. (2010). Wartsila Operation & Maintence Manual .

Federación de la Energía de la comunidad de Madrid - Fenecom. (s.f.). Guía de la cogeneración. Obtenido de http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-la-Cogeneracion-fenercom-2010.pdf

Fontana, M. G., & Greene, N. D. (1967). Corrosion Engineering. Nueva York: McGraw-Hill.

García Garrido, S., & Fraile Chico, D. (2008). Cogeneración. Diseño, operación y mantenimiento de plantas. España: Diaz de Santos.

Garrido, C. (Valdivia Chile 2009). Armado Estructural de un Bloque en una Construcción Naval. Universidad Austral de Chile, 31.

Gimenez, C., & Borras, V. (s.f.). FUNDAMENTOS DE CIENCIA DE LOS MATERIALES (I). UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA. SERVICIO DE PUBLICACION.

GUILLMER, T. C. (1982). Introduction to Naval Architecture. Annapolis: Naval Institute Press.

HANSEN, J., & LYSEBO, R. (s.f.). Electric propulsion for LNG Carriers.

Recuperado el 02 de Agosto de 2013, de:

http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/c1256cc400313660c125721a002947b8/$file/Article_El%20Prop%20for%20LNG%20Carriers_10_04.pdf.

HERNANDEZ, R. (1967). Motores Diesel Marinos. Barcelona: Ediciones CEAC.

HODGE, C. (2003). The electric war ship. Trans IMarE, Vol 108, Part 2, 125.

INBISHIP. (s.f.). New opportunities for Inland waterway transport. Recuperado el 30 de Julio de 2013, de http://www.dst-org.de/projekte/projekte/inbiship/home.htm.

Internacional Energy Agency. (2008). Combinated Heat and Power Evaluating the benefits of greater global investment. Paris.

INVEMAR. (2010). Biodiversidad del Margen Continental del Caribe Colombiano. Serie de publicaciones especiales. Santa Marta, Colombia: Invemar.

Invemar. (s.f.). Agencia Nacional de Hidrocarburos. Recuperado el 28 de Octubre de 2013, de http://gis.invemar.org.co/geovisoranh/

ISLAM, M., & VEITCH, B. (2007). Experimental Research on Marine Podded Propulsors. Newfoundland: Journal of Naval Architecture and Marine Engineering.

Jefatura de Operaciones Logísticas - Armada República de Colombia. (2012). Orden Administrativa 001.

JUURMA, K., APRIANIMEN, M., & LAUKIA, K. (1993). Naval Architecture of Electric Ships - Past, Present and Future. New Jersey: Society of Naval Architects and Marine Engineers Transactions, vol. 101.

KERWIN Justin, H. J. (1980). The Principles of Naval Architecture Series Propulsion. New York: Random House.

KRALL, R. (1998). Propulsion System Survey for the USCG Deepwater Surface Plataform. Washington: Deparment of Transporttion.

LEWIS, E. (1988). Principles of Naval Architecture Second Revision Vol II. Resistance Propulsion And Vibration. New Jersey: The Society of Naval Architects And Marine Engineers.

LPS. (s.f.). Luna Preservation Society. Recuperado el 25 de 09 de 2013, de Classic American design with a twist.: http://www.tugboatluna.org/

MANDELLI, A. (1987). Elementos de Arquitectura Naval. Buenos Aires: Libreria y Editorial Alsina.

Mangonon, P. (2001). Ciencia de los materiales, selección y diseño. México: Pearson educación.

MEIZOSO, J. V. (1997.). Principios de Arquitectura Naval. Coruña: Tórculo.

MORISHITA, H. (1985). Estudo de controlador adaptativo para uma instalação propulsora marítima. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

MOSS, N., & SIMPSON, R. (1992). Diesel or AC Electric Propulsion? The Choice Facing the Ship Designer. : Solutions to the Challenge of a New Defence Environment. The Institute of Marine Engineers First International Naval Engineering Conference, 197.

NARCISO, N. (2008). A diagnostic of Diesel-Electric Propulsion for Ships. Ciencia y Tegnologia de Buques COTECMAR, 13.

Nervion Pinturas. (s.f.). Nervion. Recuperado el 20 de Octubre de 2013, de http://www.nervion.com.mx/web/conocimientos/tipos_corrosion.php

Nystuen, J., & Andrade, C. (1993). Tracking mesoscale ocean features in the Caribbean Sea using geosat altimetry. Journal of Geophysical Research, 98(C5):8389-8394.

Oficina de Planeación Logística - Armada Nacional. (2012). Envío información estadística rubro de compra de combustible. Bogotá D.C.

OLIVELLA, J. (2001). Teoría del buque Flotabilidad y Estabilidad. Barcelona. Barcelona: UPC Ediciones.

OMI. (2002). Marpol 73/78 Introduccion III-VIII. Londres: Bookcraft Bath .

PAKASTE , R., LAUKIA, K., & WILHELMSON, M. (1999). Experience with Azipod® propulsion systems on board marine vessels. Marine propulsion, 14.

PÊGO , J., & LIENHART, H. (2005). Construction of a test facility for the research of ship Propulsion systems. Emirates Journal for Engineering Research.

Pintuco. (2013). Pintuco profesional. Recuperado el 20 de Octubre de 2013, de http://pintuco.co/index.php/profesional

PLUMB, C. (1987). Warship Propulsion System Selection. Londres: Marine Management (Holdings).

SAGAN, C. (1980). The Principles of Naval Architecture Series Propulsion. New York: Random House.

Salek, B. &. (2010). RELIABILITY CONCEPT FOR CORROSION. International Journal Of Academic Research, 29-35.

Salzwedel, H., & Mülller, K. (1983). A summary of meteorological data for the bay of Santa Marta, Colombian Caribbean. Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín, 13:67-84.

Sanchez, M., & Dominguez, G. (15 de Diciembre de 2012). Velocida de corrosión y variación de las propiedades mecánicas del acero naval A131 AH36 en la región caribe colombiana. Cartagena.

SIMPSON, R. (s.f.). Full electric propulsion system selection for minimum cost of ownership.Proceedings of AES'97 (All electric Ship).

Soares, C. G., Garbatov, Y., Zayed, A., & Wang, G. (September 2009). Influence of environmental factors on corrosion of ship structures in marine atmosphere . Corrosion Science, Volume 51, Issue 9, Pages 2014-2026.

SOLER, A., & MIRANDA , S. (2000). Electric Systems pf Naval Propulsion. Final Report. EPUSP.

Standard Institute Swedish. (2007). SI S 055900. Estocolmo, Suecia.

THUPER, E. (2004). TUPPER. Eric Charles. Introduction to Naval Architecture. Burlingtong: British Library Cataloguing in Publication Data.

TURTIAINEN, M. (2005). Barcos Ecológicos. . Revista ABB, 56.

VACON. (s.f.). Vacon Propulsion on Airbus A380 inland waterway Ro-Ro vessel. Recuperado el 24 de Mayo de 2013, de http://www.vacon.com/es-ES/Vacon/media/References/Vacon-propulsion-on-Airbus-A380-inland-waterway-Ro-Ro-vessel/.

Wall, H., & Wadsö, L. (2013). Corrosion rate measurements in steel sheet pile. Marine Structures, 21-32.

Wang, T., Zhang, Y., & Peng, Z. (2011). A review of reseraches on thermal exhaust heat recovery with Rankine cycle.

Wilmo, J. (Guayaquil Ecuador 2006). Apuntes de Materiales en Medios Marinos, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. Escuela Superior Politécnica del Litoral, 28.

Desempenho de embarcações mistas usando modelo DEA

Nadson Cavalcante
nadson296@gmail.com
UEA – Universidade Estadual do Amazonas
Av. Djalma Batista, 2470 - Chapada, Manaus - AM, 69050-010, Brasil

Larissa de Andrade Silva
Alarissa.andsilva@gmail.com
INTRA – Transportar
v. General Rodrigo Octávio, 6200 - Coroado I, Manaus - AM, 69077-000, Brasil

Resumo

O objetivo deste artigo foi propor um indicador com o uso do modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA), para determinar a eficiência de embarcações mistas. Foi usado para o modelo DEA as variáveis: Custo/Hora como entrada; e capacidade total de cargas, capacidade total passageiros e km/ciclo como produtos. Classificada a amostra em categorias, o índice gerado pelo DEA mostrou que as embarcações estão na zona de baixa eficiência, com escores abaixo do 0.683, exibindo a realidade do Setor. O indicador exibe a necessidade de mudanças para alcançar a eficiência, e mudanças na prática de gestão.

Abstract

The aim of this paper was to propose an indicator using the data envelopment analysis model (DEA), to determine the efficiency of mixed vessels. It was used for the DEA model variables: Cost / Time input; and total capacity of cargo, full passenger capacity and km / cycle as products. The sample classified into categories, the index generated by the DEA showed that the vessels are in the low efficiency area, with scores below 0683, showing the reality of the sector. The indicator shows the need for change to achieve efficiency, and changes in management practice.

1. Introdução

O objetivo deste artigo foi propor um indicador de eficiência operacional para embarcações de transporte misto, visando definir um índices de eficiência para apoiar à tomada de decisão sobre aspectos gerenciais envolvendo a frota atual.O transporte misto está intrinsecamente ligado as mudanças sociais e econômicas, sendo um dos principais apoios de sustentação e desenvolvimento da economia regional (ANTAQ, 2007).

Apesar da importância do transporte, o atual estado do transporte aquaviário regional não é estruturado, destacando-se o desbalanceamento da oferta, pouca infraestrutura ou inexistente e rotas pouco eficazes em sua distribuição.

Em função do estado atual, esse sistema como mecanismo econômico, regido pelas regras de oferta e demanda, tem necessidade de indicadores que mostrem as melhores decisões para maior benefício comercial e estratégico.

O modelo usado foi o DEA-RCE, criado por Charnes et al. (1978) e é um método matemático que usa programação linear para comparar eficiências entre as unidades de tomada de decisão (DMU), que no artigo, foi associado as embarcações estudadas.

Os índices do modelo de eficiência propostos utilizando os resultados gerados pelo modelo, mostraram que maior número das embarcações estão em zona de baixa eficiência, e escores variando entre 0.683 a 0.512, o que exibe a ineficiência da frota.

Por ser utilizado para avaliar ineficiência, os indicativos gerados pelo DEA exibiram a realidade da frota, apresentando tanto as embarcações mais eficientes no modelo coincidentes com as embarcações com melhor performance, como a ineficiência no setor, e mostra a necessidade de mudanças para alcançar a eficiência, e mudanças na prática de gestão.

2. Transporte Misto

Segundo (SCHACHTER, R.D. e OLIVEIRA, P.V.S.) embarcações mistas são embarcações de transporte de carga e de passageiros, usualmente, de médio porte e com propulsão convencional, em sua grande maioria construída em madeira.

Estão, quase sempre, divididos em convés principal, convés superior 1 e 2, e compartimento abaixo do convés principal, onde, o convés principal e superior 1 estão subdivididos em camarotes e área para rede, convés superior 2 está subdividido em passadiço e área para

salvatagem e o compartimento abaixo do convés principal é destinado para alocação de bagagens (carga). Na Amazônia Ocidental o transporte fluvial de carga e passageiro é realizado principalmente por embarcações de madeira, construídas em estaleiros e carreiras situados em alguns municípios do Amazonas. Embora este seja o principal sistema de transporte da região, as embarcações que hoje navegam apresentam deficiências (Duarte et. al., 2009 e Frota, 2008).

Os terminais hidroviários existentes na Região realizam o embarque e desembarque de passageiros nos mesmo terminais destinados à movimentação de cargas (BNDES, 1998).

O transporte misto no Brasil é regulamentado conforme a região onde atua, portanto na esfera entre Brasil e outros Países e interestadual a ANTAQ é o órgão competente por regular, supervisionar e fiscalizar as atividades de prestação de serviços de transporte fluvial e de exploração da infraestrutura portuária e aquaviária. A nível estadual a autarquia é a Superintendência Estadual de Navegação, Portos e Hidrovias (SNPH) e á nível municipal não existe nenhum órgão competente por regulamentar o transporte misto.

O transporte misto na Amazônia segundo dados da ANTAQ (2013) é responsável por uma movimentação média anual de carga de aproximadamente 4,5 milhões de toneladas e 9 milhões de passageiros (sem linhas de travessia), números estes que demonstram a importância do desse modal para o desenvolvimento econômico e social da Amazônia.

2.1. Problema do Transporte Misto

Segunda o SINDARMA (2015), tanto nos trechos estaduais quanto nos interestaduais não hà padronização do tamanho das embarcações, das tarifas, das distâncias entre os trechos percorridos, dos serviços e acomodações oferecidas, entre outros.

De uma forma geral, segundo a pesquisa SINDARMA (2015), existe um desbalanceamento alto índice de entre a oferta e a demanda no transporte misto nas rotas de Manaus à várias cidades do interior (Figura 1 e 2).

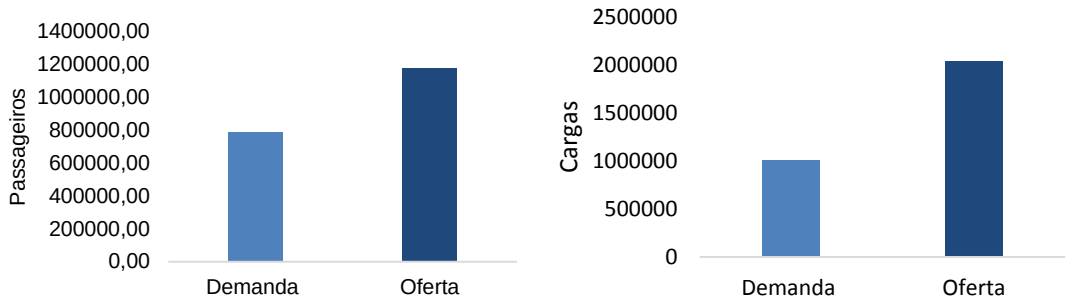


Figura 1 e 2: Relação entre oferta x demanda de Passageiros e Cargas

Fonte: SINDARMA (2015)

Com o cenário atual do sistema de transporte hidroviário é necessário ser implantado diversas melhorias nesse modal, de maneira que haja igual disponibilidade e qualidade em tal transporte, garantindo um desenvolvimento adequado nesse sistema. No geral, nota-se a carência, ou mesmo a falta de gestão e infraestrutura voltada para esse transporte misto no Estado, e com poucos estudos voltados a otimização dos processos e práticas gerenciais específicas.

O presente trabalho pretente propor um um indicador de eficiência operacional para classificar a melhores embarcações de transporte misto, visando definir um índice de eficiência para apoiar à tomada de decisão sobre aspectos gerenciais envolvendo a frota atual.

3. Revisão da literatura sobre Transporte aquaviário

Em operação de embarcações o primeiro item a ser considerado é a segurança, o segundo é garantir o contrato de transporte e por fim a conservação energética que está intimamente ligada a redução de custos operacionais segundo Ma (2014).

Segundo a Organização Marítima Internacional - OMI os fatores que afetam a eficiência energética do navio são: capacidade de carga e distância viagem. No entanto diariamente o mercado mundial oscila seus preços, influenciando no preço dos combustíveis utilizado pelos navios, assim também como o preço dos fretes, portanto não só fatores técnicos do navio definem o desempenho de um navio (Wong et al, 2007).

Ma (2014) comparou o desempenho de três tipos de navios graneleiros utilizando o método Grey Relational Analysis, baseado em informações fornecidas no documento Energy Efficiency Operational Indicator of Taiwan's Bulk Carrier. Neste estudo, o autor utiliza o Indicador de

Eficiência Energética Operacional (Energy Efficiency Operational Indicator - EEOI) de cada tipo de navio, tendo como parâmetros: massa e tipo de combustível, massa da carga e/ou passageiros e distância percorrida. Obteve-se como resultado a ineficiência do graneleiro tipo Handy Size, onde a distância de navegação é o fator que mais influência no EEIO para navios graneleiros.

Wong et al. (2007) realizaram uma análise de custos e receitas resultantes em função do tamanho e velocidade de navios contêineres com o objetivo de encontrar a embarcação ótima. Utilizou-se como método de análise o modelo de programação não-linear desenvolvido pelo autor com base em custos, volume e lucro. A Rota Trans-Pacific foi empregada no modelo para validá-lo obtendo como resposta positiva a aplicação de grandes navios contêineres.

Frota (2008) destaca-se como o primeiro estudo que aborda o transporte fluvial de passageiros na Amazônia em um estudo brasileiro. Neste estudo a metodologia é composta por dois métodos de gestão da qualidade. Para o autor, as empresas de navegação apresentam baixa qualidade no transporte aquaviário de passageiros, ocasionada pela falta de compromisso das autoridades públicas em regulamentar o transporte na região.

Couto et al., (2008), desenvolveu um indicador global, utilizando Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA), para avaliar o transporte aquaviário de passageiros da Região Amazônica. Os itens avaliados foram viagem, segurança, atendimento, higiene, conforto, modicidade e a alimentação. A pesquisa conclui que as embarcações que operam nas rotas mais longas apresentaram os melhores desempenhos.

Santos et al. (2015) avaliou o transporte de passageiros na Amazônia Ocidental com foco nos serviços oferecidos aos usuários, aplicando o Método Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process - AHP). A pesquisa conclui que a baixa qualidade oferecida no transporte aquaviário de passageiros é ocasionada pela falta de compromisso das autoridades públicas em regulamentar o transporte na região e pela falta de conscientização ou desconhecimento, dos usuários, de um serviço que proporcione maior qualidade e segurança.

Santos (2014) desenvolveu uma metodologia baseada nos critérios de serviços adequados descritos na resolução 912 da Agência Nacional de Transportes Aquáticos - ANTAQ com o objetivo de determinar o desempenho global das empresas de navegação mista. Para o autor a proposta de metodologia permite definir o desempenho das empresas de Navegação Mista.

Merege (2011) desenvolveu um conjunto de indicadores de desempenho que possibilitam avaliar os serviços de transporte longitudinal misto na Amazônia. No trabalho são construídos índices de operacionalidade e qualidade para apontar a frequência relativa e destacar as empresas de navegação com melhores práticas. O índice de operacionalidade é obtido a partir das características operacionais das empresas de transporte. Já o índice de qualidade, depende de informações da qualidade dos serviços prestados, que são subjetivas.

Renck (2014) comparou embarcações de pesca industrial com foco nas que praticam o método do cerco, construídas no Vale do Itajaí e Peru, visando levantar dados característicos das embarcações brasileiras praticantes do método. Para a autora as embarcações do Peru estão melhor estruturadas em termos de projeto e construção dessas embarcações.

A busca pelo desempenho ótimo de embarcações abrange vários tipos de embarcações, dentre elas o estudo do desempenho para navios vem sendo utilizado como forma de redução de custos de operação conforme avaliado por Wong (2007) e Ma (2014). Na Região Amazônica por existirem alguns problemas como limitações financeiras do público usuário do transporte fluvial, condições portuárias, sazonalidade dos rios da região e ausência fiscalização ostensiva (Santos et al 2014), o desempenho vem sendo estudado com objetivo de obter informações e de trazer melhorias para o transporte fluvial destacado por Frota (2008), Couto (2008), Santos e Merege (2011).

4. Método DEA na literatura

Lin et al.(2005) avaliaram 27 portos internacionais de contêineres, usando DEA E SFA, mostrando a consistência dos modelos, exibindo o porto de Hong Kong como o melhor dos portos estudados em ambos modelos.

Husain et al. (2000), Sheth (2003), Tandon (2006), Hawas et al.(2012), avaliaram o transporte urbano (rotas, serviços, oferta/demanda) em várias partes do mundo, propondo melhoras no transporte urbano no ponto de vista do usuário do modal. Utilizaram na avaliação, variáveis de custo, ambientais e custos como: tempo da viagem, tempo de viagem diária, custo da mão de obra, custo do serviço, custos da operação.

Barnum et al. (2008) avaliaram frotas de onibus com rotas diferentes, e fatores ambientais ajustando resultados do DEA, e concluíram que o DEA é um procedimento promissor para melhoria do transporte.

Pascoe et al. (2001) e Vestergaard et al (2000) usaram o DEA para avaliar embarcações da indústria pesqueira, usando várias medidas para definir a produção das embarcações e associando a capacidade de pesca do bacalhau, e outras espécies e concluíram que capacidade física está ligada a gestão eficaz dessas embarcações.

Guyader et al. (2005) avaliou produtividade, capacidade de utilização e a escala de ineficiência da frota francesa para pesca de alga. Utilizaram várias combinações de insumo, mas com apenas um produto: Alga. Concluíram que apenas pequenas ou grandes embarcações operavam na escala ótima.

Savolainen (2007) avaliou a eficiência dos modais ferroviário, rodoviário e hidroviário usando DEA, e apresentou variações entre as eficiências do modal hidroviário entre os países avaliados, mostrando a necessidade de maiores estudos para o modal hidroviário.

Hawas et al. (2012) apontaram na literatura sobre o DEA exibe que variáveis como *trabalho, investimento e energia* são insumos comuns usados no modelo. *Km rodados pelo veiculo, tempo de viagem* também são produtos comumente usados (De Borger et al. 2002).

Por causa da ausência dos dados de custo real para trabalho exercido, combustível, e a outra despesas operacionais, muitas pesquisas têm utilizado diferentes conjuntos de variáveis de entrada para representam as variáveis de custo. (Karlaftis 2004; Lao e Liu 2009).

5. Resultado da Revisão

O DEA é um método para avaliar eficiência. Esse método é uma abordagem não-paramétrica aplicada a problemas cuja respostas sobre a níveis ótimos (a fronteira da eficiência no método) de entrada ou saída e as características associadas a esses são desejados. A versatilidade do metodo permite que seja aplicado em várias áreas com bons resultados. Com base nos tipos de variáveis de entrada e de saída, três abordagens foram identificadas na literatura ao usar DEA para medir a eficiência e eficácia de um sistema de transporte. As abordagens são:

1) conjuntos separados de variáveis de entrada e de saída (Chu et al., 1992);

2) Variáveis de entrada separada, mas mesmo de saída (Lao e Liu, 2009); e

3) mesma entrada, mas variáveis de saída separados (Karlaftis, 2004).

Assim, salientamos que para o estudo de caso, associamos a mesma variável, algumas características comparativas de eficácia e produtividade, como Custo/Hora, onde definimos o quanto custa a viagem por cada hora percorrida pela embarcação, e quilometro por ciclo, como um produto que vem do valor pago por viagem.

6. Modelagem DEA

A análise envoltória de dados (DEA), criada por Charnes et al. (1978), é um método matemático que usa programação linear para comparar eficiências entre as unidades de tomada de decisão (DMU). O objetivo desse modelo é comparar entidades que realizam tarefas similares e se diferenciam apenas nas quantidades de insumos que consomem e de produtos que geram. Nesse estudo foi usado o modelo clássico RCE (retorno constante à escala) onde a variação gerada nos insumos acarreta proporcional variação nos produtos.

A modelagem criada por Charles et al. vem da razão entre o que é utilizado e o que é produzido, e essa razão, um indicativo gerado por cada DMU. Assim temos que para cada DMU *k*, *k=1,...,n*, é uma unidade que utiliza *r* inputs x_{ik}, *i=1,...,r*, para produzir *s* outputs y_{is}, *j=1 ...,s*.

Assim temos

$$Max\ H_o = \frac{\sum_{j=1}^{s} u_{rj} y_{j0}}{\sum_{i=1}^{r} v_i x_{i0}} \quad (1)$$

Sujeito à

$$\frac{\sum_{j=1}^{s} u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik}} \geq 1, k = 1, .., n \quad (2)$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall\, u, v \quad (3)$$

O CCR, maximiza o quociente entre a combinação linear dos produtos e a combinação linear dos insumos, com a restrição de que, para qualquer DMU, esse quociente não pode ser maior que 1(um), pela equação (1). Assim, para uma DMU, a função H_0 é a eficiência; x_{i0} e y_{j0} são os inputs e outputs da DMU; v_i e u_j são os pesos calculados pelo modelo para inputs e outputs, respectivamente. (MEZA et al., 2003).

O modelo DEA foi aplicado em várias áreas onde se necessitava comparar eficiências, desde avaliação escolar (Charnes et al. 1978), Transportes (Husain et al. 2000, Sheth,2003; Tandon 2006; Hawas et al. 2012), análise de estradas e rodovias (Gomes et Al, 2004; Azevedo et al.

2012), agricultura (Gomes et al., 2005), e várias outras áreas de aplicação, exibindo DEA como uma ferramenta versátil.

6.1. Modelagem do problema de transporte misto

A problemática estudada neste Artigo foi considerada um problema de tomada de decisão associado à alocação de recursos e tem como característica principal a comparação entre embarcações, e o método teve como objetivo analisar comparativamente unidades independentes (embarcações) no que se refere ao seu desempenho operacional, portanto considerado um problema de programação Linear, cujo DEA é uma alternativa clássica para esse problema.O modelo CCR foi adaptado por Charnes e Cooper (1978) para um PPL (problema de Programação Linear) e é atribuído a cada DMU, descrita em (4) a (7).

Seja cada Embarcação *n, n=1, ..., n,* uma unidade de decisão (DMU);

Seja *r*, a quantidade de insumos x_{in}, *i=1, ..., r;*

Seja *s*, quantidade de produtos y_{is}, *j=1, ...,s;*

$$Max\ H_0 = \sum_{j=1}^{s} u_j y_{j0} \tag{4}$$

Sujeito à

$$\sum_{i=1}^{r} v_i x_{io} = 1; \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^{s} u_j y_{jn} - \sum_{i=1}^{r} v_i x_{in} \leq 0\,, k = 1,..,n \tag{6}$$

$$u_j, v_i \geq 0,\ \forall\, u, v \tag{7}$$

Esse modelo, com orientação a insumos, foi escolhido pois o objetivo era diminuir os custos gerados pela ineficiência do atual sistema. (Hawas, 2012). Sendo as DMUs serão resolvidas em relação aos PPLs, com *a+r* variáveis de decisão. (Meza et al, 2003).

Os resultados do PPL não só fornecem índices de eficiência comparativa entre DMU´s, mas também os pesos e as DMU´s mais eficiente, visto na equação (4) e (5) e a diferença entre essas e as DMUS ineficientes, mostrando o quão longe da eficiência estão aquelas que não são consideradas benchmarks como visto na equação (6). A integralidade desse sistema é mantida pela equação (7).

6.2.Variáveis

Essa modelagem busca simplificar o estudo e ao mesmo tempo, trazer resultados mais robustos em relação aos valores gastos e ao tempo em cada rota, usando esses valores de forma clássica acompanhada da literatura para o DEA.

Váriavel	Tipo	Descrição
Custo /hora	Insumo	Custo de Viagem por Hora
Cap. de Passageiros	Produto	Quantidade máxima de passageiros
Cap. de Carga	Produto	Quantidade máxima de Carga
Km/ciclo	Produto	Quilometros por ciclo da viagem

Quadro 1: Variáveis do DEA proposto para o Estudo de caso

Fonte: (Os Autores)

Usando DEA-RCE, foram selecionados 1 insumo e 3 produtos. Consideramos os seguintes indicadores como variáveis para o modelo proposto, sendo cada um deles, um indicativo de desempenho das embarcações estudadas, restritas as informações obtidas no estudo de caso. Esses indicativos podem criar uma diferença entre as empresas de navegação, criando aspectos hierarquicos em função da performance dessas variáveis.

6.3 – Unidades de Tomada de Decisão (DMUs)

A amostra que representa as unidades produtivas será de embarcações que apresentam o mesmo perfil, em escala de tamanho baseada nos comprimentos da frota atual que variaram entre 18 metros a 67 metros.

Classes	Tipo	Tamanho
Classe A	Embarcações de pequeno porte	18 à 32
Classe B	Embarcações de médio porte	32.2 à 38.3
Classe C	Embarcações de grande porte	39 à 42.3
Classe D	Embarcações de maior porte	42.5 à 66.2

Tabela 1: Classificação das Embarcações

Fonte: (Os Autores)

Essa amostra foi dividida em quatro classes proporcionais. Temos para cada classe, aproximadamente 18 embarcações, com 19 no último conjunto.

A primeira classe gerada, Classe A, conjunto de embarcações de pequeno porte, possui o tamanho médio em metros de 31.5, com o mínimo de 18 metros, representado pelo Comandante Becil e o maior seria o Dom Jackson I.

A segunda classe, B, o conjunto de embarcações de médio porte, possui o tamanho médio de 35,9. Com embarcação Calipso I, como seu menor representante, de tamanho 32,2 metros e Oliveira V, o maior de 38,3, é um conjunto com poucos desvios.

A terceira classe, C, o conjunto de embarcações de grande porte, possui o tamanho médio de suas embarcações 40,2 metros, com menor representante Voyage III de 39 metros, e o maior com 42,3 metros, Almte. Moreira IX.

Por último, a Classe D, representando o conjunto de embarcações de maior porte, possuindo o tamanho médio de 49.5 metros, tendo o menor elemento Lady Cristina com 42,5 metros, e o maior Amazon Star com 66 metros.

7. Resultados

Conforme amostragem, as tabelas criadas para conjunto estudado, demonstram as diferenças principais dos custos entre embarcações, com poucas diferenças entre similares. Percebe-se que os custos médios entre embarcações são proporcionais. Os resultados do DEA mostram mais de um benchmark para cada conjunto, revelando que há alternativas diferenciadas para novas práticas de gestão para a frota atual, e assim, conforme as gráficos de 1 à 4, verificamos as diferenças entre todas as unidades de decisão e as benchmarks agora já estabelecidas. Então, com a visão diferenciada, agora temos mais de um padrão de eficiência para cada conjunto, gerando flexibilidade para os marítimos escolherem as práticas que se adequam a suas rotinas. E gerados pelo DEA, os scores, mostrando as diferenças entre as embarcações avaliadas num contexto geral.

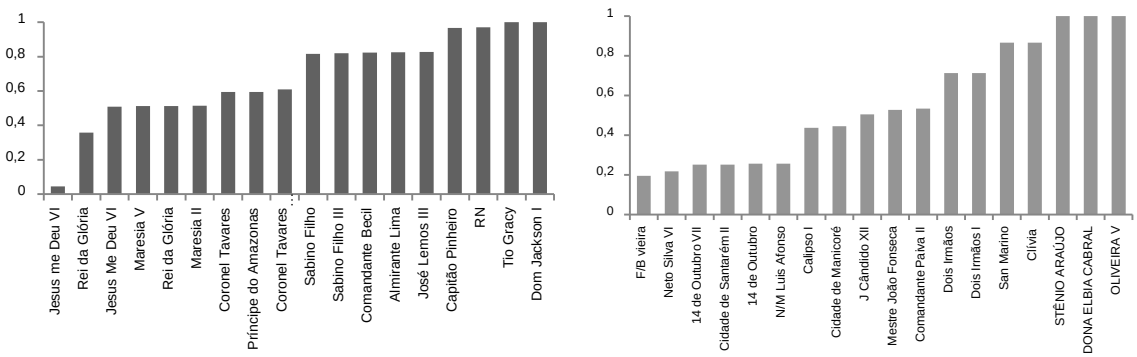


Gráfico 1 e 2: Scores da Classe A e B

Fonte (Os autores)

Os resultados que mostram a eficiência dentro da classe A podem ser observados no gráfico 1. Notou-se que 11% das embarcações estavam abaixo do índice de eficiência, sendo, sendo esses Rei da Glória (0.357) e Jesus me Deu IV (0.044), com ineficiência drástica. 33% das embarcações estão na média, com scores entre 0.509 a 0.609. Com eficiência acima da média temos 33% das embarcações, com scores de 0.81 à 0.971, e por fim, temos duas (2) embarcações eficientes (100%) como benchmarks para nossa avaliação de embarcações pequenas, representando 11% da amostra, sendo essas Tio Gracy e Dom Jackson I, com score 1. Temos uma média geral de scores de 0.683.

Os resultados de eficiência exibidos no gráfico 2 representam a Classe B e mostram elevado índice de ineficiência. Com 44% das embarcações com scores entre 0.097 à 0,476, temos embarcações com ineficiência crítica, como F/B VIEIRA (0,097) e 14 de Outubro (0, 151). 33% das embarcações estão na média, entre scores de 0,505 à 0,606. Com eficiência acima da média, temos OLIVEIRA V (0.97) e por fim, nossos benchmarks, representando 16% das embarcações, Sendo estes três (3) embarcações, STÊNIO ARAÚJO, DONA ELBIA CABRAL e Cidade de Santarém II , com score 1. A média geral de scores desse grupo é de 0,512.

Nossa classe C tem os resultados de eficiência exibidos no gráfico 3, mostrando também grande número de embarcações com baixa eficiência, comparada as classes A e B. Temos 50% das embarcações com eficiência abaixo da média (scores de 0,217 à 0,295), e em diferença marcante com 11% que estão mais próximos dos benchmarks, Cisne Branco (0,866) e Almte. Moreira IX (0,714). Temos ainda 11% das embarcações quase na média, ressaltados por ter uma diferença significante com o padrão de baixa eficiência visto nesse grupo: Elizabeth IV (com score de 0,433) e Elizabeth III (score de 0,437), e por fim, nossos benchmarks, que são

27% do grupo, VOYAGER III ,SÃO FRANCISCO IV, FREI GALVÃO, ITAPURANGA III, VIEIRA II, mostrando que a classe C apresenta variações significativas de desempenho. A média geral de scores da classe C é de 0.545.

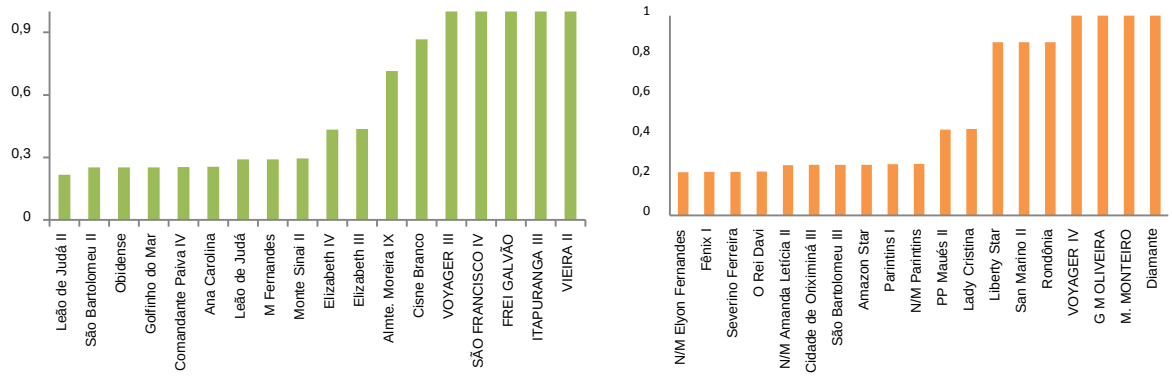


Gráfico 3 e 4: Scores da Classe C e D

Fonte (Os autores)

Com os resultados da classe D pelo gráfico 4, observou-se que 55% da frota apresentava índices de eficiência abaixo da média (0,217 à 0,258). Entre as que estão no limiar da média, temos 11% , Lady Cristina (0,432) e P/P Maués (0.43). Temos 16% de embarcações acima da média de eficiência, apresentando scores de 0.866, que são Liberty Star, San Marino II e Rondônia. Por fim, as embarcações eficientes, com scores 1 são VOYAGER IV, G M OLIVEIRA, M. MONTEIRO e Diamante , representando 22% do conjunto. A média de scores nesse grupo é 0.518.

Com as médias de scores de cada grupo, temos um padrão similar, de uma média de scores variando entre 0.683 a 0.512, sendo a Classe B, a menor média. Com uma frota já definida, e a necessidade de uma resposta prática, dentro dos elementos já existentes, a busca de um padrão de eficiência, tornando os benchmarks como possíveis alternativas para práticas mais saudáveis de gestão, torna nosso estudo deste caso baseado no DEA, condizente e apropriado.

9. Conclusão

Nesse Estudo, a eficiência e o desempenho da frota do SINDARMA foi medida e avaliada. O DEA é eficaz na avaliação desse tipo de problema, e é considerado um clássico para a problemática, quando não temos como avaliar informações além das fornecidas pelas condições da frota atual.

O DEA também dá informações que possibilitam desenvolver estratégias que possam gerar impacto de redução nos custos e melhora de receita, mesmo com o sistema desestruturado. Não cabe ao artigo avaliar o sistema de transporte fluvial, mas claramente, o indicador gerado pelo modelo e a performance das embarcações mostram alguns problemas regionais.

O Estudo usou poucas variáveis, o que pode ser restritivo para avaliação da performance como todo, mas acredita-se que as variáveis selecionadas foram bem estabelecidas, conforma a literatura, e, como tal, as medidas de eficiência obtidas são razoavelmente precisas, conforme informações da frota.

Estes escores de eficiência devem ser considerados como ganhos de eficiência ou de gestão, se colocado em prática algumas das mudanças observadas nas práticas dos benchmarks indicados pelo estudo.

A proposição gerada neste artigo foi tratada como solução do Estudo podem não ser teoricamente as melhores para o caso, devido a sérias restrições que a problemática regional proporciona, como falta de dados e o ausência de soluções envolvendo a otimização do transporte fluviais, mas o anseio que existe envolve a necessidade de soluções voltadas para os problemas da navegação fluvial no Amazonas, como a necessidade de uma visão mais direcionada para os problemas gerados pela falta de organização e crescimento não controlado da economia no Estado. Para o cultivo deste crescimento, é necessário um trabalho árduo e qualificado em resolver problemas pesquisa operacional especificamente Amazônicos.

Como a necessidade de respostas para problemas típicos e específicos da região Amazônica, esperamos que outros trabalhos venham trazer também, novas visões e novos questionamentos com soluções não só ideais mas benéficas para a nossa região, e porque não, para o Brasil como um todo.

9.1 – Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio institucional do SINDARMA para execução do projeto que viabilizou a execução do artigo. Também, agradecem ao INTRA pelo suporte aos membros envolvidos no desenvolvimento do artigo.

10 – Referências Bibliográficas

ANTAQ. Agencia Nacional de Transporte Aquaviário. Palestra A navegação Fluvial na Amazonia.

ANTAQ (2007). Resolução Nº 912, de 23 de novembro de 2007. Norma para Outorga de Autorização para Prestação de Serviço de Transporte de Passageiros e de Serviço de Transporte Misto na Navegação Interior de Percurso Longitudinal Interestadual e Internacional. Brasília: Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ.

BANDIN, Neiva Terezinha. Avaliação da Produtividade de Supermercados e seu Benchmarking. Florianópolis, Outubro de 1995. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina. Tese de Mestrado

COUTO, M. A. F.; MOITA, M. H. V.; MACHADO, V.W.; KAWAHARA, N. (2009). Modelo não paramétrico aplicado à análise de eficiência do Transporte Aquaviário de Passageiros na Região Amazônica. In: XXIII ANPET - Congresso de pesquisa e Ensino em Transportes, Vitória.

COUTO, M. A. F. (2008). Proposição de indicadores de desempenho aplicado ao transporte de passageiros na região amazônica, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção Manaus/AM.

DUARTE, R. C. D. S.; Kuwahara, N.; Alencar, L. A. (2009). Perspectiva Ergonômica para Embarcações do Estado do Amazonas. In: XXIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes XXIII ANPET, 2009, Vitória.

FARRELL, M.J. (1957) "The Measurement of Productive Efficiency," Journal of the Royal Statistical Society vol. 120, pp. 253–281.

FITZSIMMONS, James A.; FITZSIMMONS, Mona J. A Administração de Serviços. 2º edição. Porto Alegre: Bookman, 2000.

FROTA, C. D. (2008). Gestão da Qualidade Aplicada às Empresas Prestadoras do Serviço de Transporte Hidroviário de Passageiros na Amazônia Ocidental: Uma Proposta Prática. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes.

JAMASB, T. e POLLIT, M (2000). Benchmarking and Regulation of Electricity transmission and Distribution Utilities: Lessons from International Experience.

LINS, Marcos Pereira Estellita; MOREIRA, Maria Cristina Bessa. Implementação com Seleção de Variáveis em Modelos de DEA. In: LINS, Marcos Pereira Estellita; MEZA, Lídia Ângulo (org.). Análise Envoltória de Dados e Perspectivas de Integração no Ambiente de Apoio à Decisão. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000. Cap. III, p.38 – 52.

MERENGE. F. (2011). Indicadores da Navegação Hidroviária Mista na Região Amazônica. In: 7 SOBENA - Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior, 2011, Porto Alegre/RG. 7 SOBENA.

PEREIRA, Marcelo Farid. Mensuramento de Eficiência Multidimensional utilizando Análise de Envelopamento de Dados: Revisão da Teoria e Aplicações. Florianópolis, Fevereiro de 1995. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Santa Catarina. Tese de Doutorado.

PLAGNET, M. A. 2006. Use of Benchmarking Methods in Europe in the Electricity Distribution Sector.

SANTOS, J. T.A. N.; CARDOSO, P.; KUWAHARA,N.; MACHADO,W. V. Índice de serviço adequado para as empresas de navegação fluvial de passageiros do Amazonas, Blucher Engineering Proceedings, v.1, n.1, p. 649 - 659, 2014, DOI 10.5151/marine - spolm2014 - 126549 .

SANTOS, J. T.A. N.; MEDEIROS, R. L.; KUWAHARA,N.; NETO, J. C.L, MACHADO,W. V. Apoio Multicritério à Decisão para Identificar Benchmarks de Projetos de Embarcações Regionais da Amazônia, ScientiaAmazonia, v. 4, n.1, XX-XX, 2015

SILVA TELES,R.Design ergonômico de embarcações de pesca:experiência de ação participativa no desenvolvimento de projeto de produto.Revista Ação Ergonômica , v. 7, n. 1, p. 45 – 54,2012.

SINDARMA - Sindicato das Empresas de Navegação do Estado do Amazonas.

ZANINI, Alexandre. Regulação Econômica no Setor elétrico brasileiro: Uma metodologia Para definição de fronteiras de eficiência e cálculo do fator X para empresas distribuidoras de energia elétrica. Rio de Janeiro, Agosto de 2004. Departamento de Engenharia Elétrica - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado.

BANKER, R. D., CHARNES, A., COOPER, W. W., 1984. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science, 30(9), 1078-1092.

CHARNES, A., COOPER, W. W., 1962. Programming with Linear Fractional Functionals. Naval Research Logistics Quarterly, v. 15, pp. 517-522.

CHARNES, A., COOPER, W. W., RHODES, E., 1978.Measuring the Efficiency of Decision Making Units. European Journal of Operational Research, 2(6), 429-444.

MEZA, L.A.; BIONDI NETO, L; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES.E.G.; COELHO, P.H.G. 2003.SIAD – Sistema Integrado de Apoio Decisão: uma implementação computacional de modelos de análise de envoltória de dados. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL DA MARINHA, 6, Rio de Janeiro, 2003. Anais- Rio de Janeiro, CASNAV, CD.

LOVELL, C.A.K.; SCHMIDT, S.S. (eds.), The measurement of productive efficiency. New York, Oxford University, 1993.

CASADO, F. L.; SOUZA, A. M. Análise Envoltória de Dados: Conceitos, Metodologia e Estudo da Arte na Educação Superior. Revista do Centro de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Federal de Santa Maria Cessou em 1983), v. 1, p. 1- 154, 2007

BARNUM, D. T., TANDOR, S., & Authority, C. T. (2008).Comparing the Performance of Urban Transit Bus Routes after Adjusting for the Environment, Using Data Envelopment Analysis. Great Cities Institute Working Paper.

PASCOE Sean, COGLAN Louisa, MARDLE Simon. Physical versus harvest-based measures of capacity: the case of the United Kingdom vessel capacity unit system ICES J. Mar. Sci. (2001) 58 (6): 1243-1252 doi:10.1006/jmsc.2001.1093

RENCK, Emanuelle. Comparação entre as embarcações pesqueiras que praticam o método de cerco construídas no Vale do Itajaí e Peru. Dissertação apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Naval da UFSC Joinville/SC. 2014

VESTERGAARD, N., D. SQUIRES and J.E. KIRKLEY (2000). "Measuring Capacity and Capacity Utilization in Fisheries: The Case of the Danish Gill-net Fleet". IIFET 2000 Proceedings, Oregon State University, Revised December 2001.

GUYADER, Olivier; DAURES, Fabienne. Capacity and scale inefficiency: application of data envelopment analysis in the case of the French Seaweed fleet. Marine Resource Economics, p. 347-365, 2005.

SAVOLAINEN, Ville-Veikko et al. Relative technical efficiency of European transportation systems.2007.

LIN, Lie-Chien; TSENG, Lih-An. Application of DEA and SFA on the measurement of operating efficiencies for 27 international container ports. In: Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. 2005. p. 592-607.

SHETH, Chintan H. The Measurement and Evaluation of Performance of Urban Transit Systems: The Case of Bus Routes. 2003. Tese de Doutorado. Virginia Polytechnic Institute and State University.

TANDON, Sonali. Performance measurement of bus routes using data envelopment analysis. 2006. Tese de Doutorado. University of Illinois at Chicago.

HAWAS Y. E, KHAN B., BASU N. "Evaluating and enhancing the operational performance of public bus systems using GIS-based data envelopment analysis", Journal of Public Transportation 15(2), 19-44, 2012

HUSAIN, N., Abdullah, M., & Kuman, S. (2000).Evaluating public sector efficiency with data envelopment analysis (DEA): a case study in Road Transport Department, Selangor, Malaysia. Total Quality Management, 11(4-6), 830-836.

DE BORGER, B., K. KERSTENS, and A. COSTA. 2002. Public transit performance. What does one learn from frontier studies? *Transport Review* 22(1): 1–38.

KARLAFTIS, M. G. 2004. A DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems. European Journal of Operational Research 152:154–164.

KARLAFTIS, M.G., J. S. WASSON, and E. S. STEADHAM. 1997. Impacts of privatization on the Performance of urban transit Systems. Transportation Quarterly 51(3):67–79.

LAO, Y., and L. LIU. 2009. Performance evaluation of bus lines with data envelopment analysis and geographical information systems. Computers, Environment and Urban Systems 33: 247–255.

CHU, X., G. J. FIELDING, and B. W. LAMAR. 1992. Measuring transit performance using data envelopment analysis. Transportation Research A 3: 223–230.

MA, Fong-yuan. Analysis Of Energy Efficiency Operational Indicator Of Bulk Carrier Operational Data Using Grey Relation Method. In: Journal of Oceanography and Marine Science. 2014. p. 30-36.

WONG, Hsien-Lun; HSIEH, Shang-Hsing; WANG, Chi-Chen. Optimizing Containership Size and Speed: Model Formulation and Implementation. In: Wseas Transactions on Business and Economics. v. 4, is 7, 2007.

AZEVEDO, G.H.I.; ROBOREDO, M.C.; AIZEMBERG, L.; SILVEIRA, J.Q.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B. Uso de análise envoltória de dados para mensurar eficiência temporal de rodovias federais concessionadas. Journal of Transport Literature, v. 6, p. 37-56, 2012.

GOMES, E.G.; MANGABEIRA, J.A.C.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B. Análise de envoltória de dados para avaliação de eficiência e caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 43, n.4, p. 607-631, 2005.

GOMES, E.G.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; BIONDI NETO, L.; ANGULO MEZA, L. Gestão de auto-estradas: Análise de eficiência das auto-estradas brasileiras com portagens. Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão, v. 11, p. 55-62, 2012.

Geração de energia elétrica em embarcações com o trocador de calor através do efeito Seebeck

Dayana Oliveira Magalhães
dayana-magalhaes@hotmail.com
Aluno de Ciências Náuticas com ênfase em máquinas na EFOMM-CIABA

Edelson da Cruz Luz
edelson_81@hotmail.com
Doutor em Geofísica pela UFPA
Professor da EFOMM-CIABA

Resumo

É inerente ao momento atual da sociedade a constante busca por fontes alternativas de energia, este trabalho vem permitir a geração desta por meio de uma diferença de temperatura num trocador de calor do tipo shell and tube, sem prejudicar o processo original, propiciando, assim, um caminho alternativo para produção de energia elétrica.

Os grandes motores de bordo utilizam, em seu arrefecimento, uma porção de água doce que circula dentro de câmaras de resfriamento existentes no cabeçote e no bloco desses motores. Esta, ao sair do motor, passa por um trocador de calor, que utiliza água do mar para resfriar essa água doce. Uma grande parte dessa energia, que passa pelo trocador, é perdida e este trabalho mostra uma nova utilização para esta, a qual será transformada em uma ddp pelo Efeito de Seebeck. Este consiste na produção de uma diferença de potencial quando duas junções de materiais diferentes (condutores ou semicondutores) estão a diferentes temperaturas. Essa diferença de temperatura provoca a movimentação das cargas livres da região mais quente para a região mais fria.

Foi realizada a modelagem numérica na plataforma COMSOL Multiphysics para comprovação do efeito de Seebeck, essa foi ratificada em laboratório, e, posteriormente, foi aplicada em um trocador de calor. A estrutura mecânica utilizada na modelagem foi criada na própria plataforma COMSOL Multiphysics. Esta consiste de um trocador de calor do tipo shell and tube, onde seus tubos interiores são revestidos com um cilindro que transforma essa diferença de temperatura

em uma diferença de potencial. A parte inferior do cilindro fica em contato com o tubo interior do trocador de calor por onde passa um fluido quente, e a parte superior fica em contato com o fluido frio que passa através da casca do shell and tube. Essa diferença de temperatura produz uma diferença de potencial, a qual pode ser maximizada pelo efeito em série das células Seebeck.

O modelo foi construído em geometria 3D, com elementos de contorno nos quais se permite a visualização das diferentes temperaturas ao longo da estrutura, bem como, também, a diferença de potencial gerada. Os experimentos realizados ratificam os resultados obtidos por meio do software COMSOL Multiphysics.

1-Introdução

O emprego de trocadore de calor é de fundamental importância para os processos industriais de resfriação e de aquecimento dos fluidos.

A utilização do mesmo em grandes setores da economia juntamente com a necessidade crescente de se produzir energia renovável, na sociedade atual, gerou o interesse de aproveitar o processo de troca térmica ao máximo, tentando, assim, utilizar parte do gradiente de temperatura que seria desperdiçado para o meio ambiente para produzir energia elétrica por meio de células peltier.

Estas, também, conhecidas como "Módulo Peltier", são pequenas pastilhas que utilizam o efeito termoelétrico na forma de matéria condensada para operarem como bomba de calor. Uma típica pastilha de Peltier conterá uma série de elementos semicondutores do tipo-p e tipo-n, agrupados como pares (Figura 1 e Figura 2), que agirão como condutores dissimilares. Essas células são formadas por um sanduíche de placas de cerâmicas recheadas com pequenas unidades formadas de cobre (ou qualquer outro material metálico) unido em duas junções a outro metal ou semicondutor. Neste trabalho foi usado cobre e Bi_2Te_3(telureto de bismuto).

O efeito termoelétrico é a conversão direta da diferença de temperatura em uma voltagem e vice-versa. Quando é aplicado um gradiente de temperatura na interface de dois metais ou semicondutores, soldados em suas extremidades, devido à movimentação das cargas elétricas, cria-se uma diferença de potencial nos terminais ou quando aplica-se uma corrente elétrica em um de seus terminais surge-se uma diferença de temperatura entre os lados da pastilhas. A ddp gerada é aumentada quando coloca-se as células, de acordo com a figura 1, em série, tornando assim a ddp total uma soma dos potencias gerados em todas elas. Essa série de elementos é soldada entre duas placas de cerâmicas em paralelo, o que ajuda a minimizar as percas de calor para o ambiente e, assim, aumenta o efeito produzido.

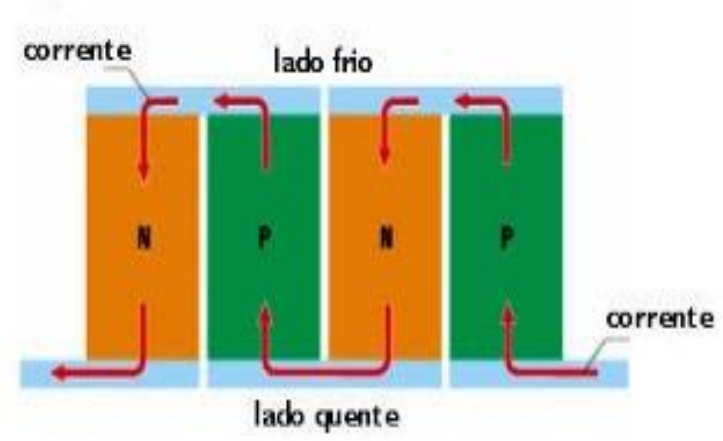


Figura 1: Esquema de uma Célula Peltier em série

Fonte: http://www.peltier.com.br/

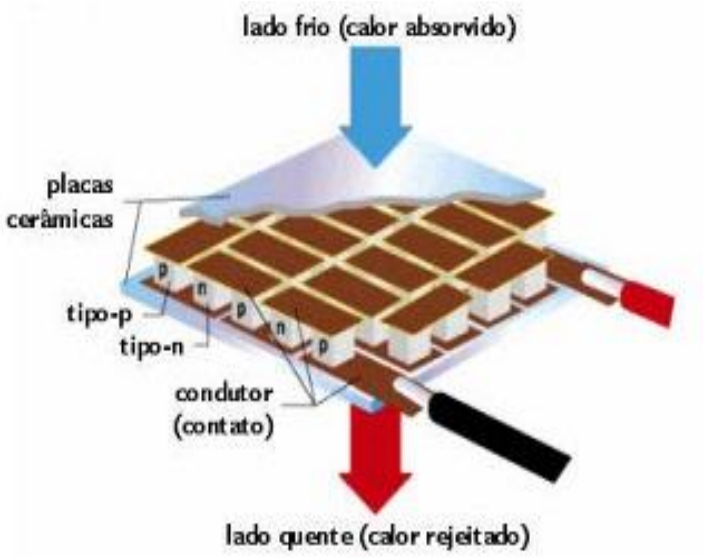


Figura 2: A produção do gradiente de temperatura quando se aplica uma ddp na célula.

Fonte: http://www.peltier.com.br/

Existem três efeitos relacionados à termoeletricidade: efeito seebeck, efeito peltier e efeito thomsom. Neste trabalho estará em foco o Efeito Seebeck, onde ao introduzir-se o gradiente de temperatura na célula peltier obtém-se uma diferença de potencial, essa diferença de temperatura virá da troca térmica realizada pelos fluidos no trocador de calor escolhido para modelagem, o trocador de calor do tipo shell and tube.

A maior desvantagem da utilização da geração de energia termelétrica direta, é a baixa potência. Isto leva a construção de uma estrutura em série destas células, visando maximizar esse efeito e produzir uma maior ddp.

A densidade de corrente produzida nos condutores é dada por:

$$J = \sigma(-\nabla V + E_{emf}) \qquad \textbf{(}V\text{= tensão e } \sigma \text{ = condutividade elétrica)}$$

De maneira geral o efeito de seebeck é descrito pela criação de um campo elétrico ou força eletromotriz dado por:

$$E_{emf} = -S\nabla T$$

(S = coeficiente de seebeck [depende das características do material] e ∇T= gradiente térmico de T)

De acordo com o professor Victor Ciro Solano Reynoso, responsável pelo laboratório de física da Unesp, "o coeficiente Seebeck geralmente varia de acordo com a temperatura e fortemente com a composição do condutor. Para os materiais comuns a temperatura ambiente, o coeficiente Seebeck fica no intervalo de -100 μV/K a +1000 μV/K."

2 - Modelo matemático

A modelagem computacional aplica modelos matemáticos e técnicas da computação no estudo de fenômenos e problemas complexos. Na elaboração deste trabalho realizou-se análises de resultados obtidos com elementos finitos, ou seja, uma análise matemática que consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos, mantendo as mesmas propriedades do meio original, por meio da plataforma COMSOL Multiphysics. Para ratificar o modelo matemático realizou-se, também, experimentos em laboratório. Comprovando assim o efeito de seebeck e o aumento da ddp gerada quando as células peltier são colocadas em série.

O COMSOL Multiphysics fornece um ambiente de modelagem, onde são feitas simulações de cálculos de elementos finitos por meio de equações diferenciais parciais. Essas equações

estacionárias ou dependentes do tempo podem ser resolvidas por várias físicas acopladas ao modelo.

2.1 - Condições de contorno

Foram levadas em conta as seguintes condições:

- Escoamentos dos fluidos com temperaturas variando ao longo do comprimento do trocador de calor;
- Escoamento no estado estacionário;
- Há troca de calor no sistema;
- Cálculo realizado considerando a célula base peltier com as medidas mostradas na figura 15;
-Trocador de calor do tipo shell and tube construído no formato da figura 12;
- Temperatura de entrada da água doce de 80ºC;
-Temperatura de entrada da água salgada de 25ºC;
- Célula peltier construída com cobre e Bi_2Te_3 ,(material semicondutor), revestida por duas placas cerâmicas;

2.2 Use of COMSOL Multiphysics

As equações que gerem o estudo do efeito de Seebeck e Peltier no COMSOL são:

Saldo Elétrico: $-\nabla.(\sigma.\nabla.V) = 0$

Balanço de energia e calor: $\rho.C_p.\frac{\partial T}{\partial t} + \nabla.q = Q$ e $\mathbf{q} = -k.\mu\nabla T + P\boldsymbol{J}$

Relação de Thomson's: P= -S.T

Weak form implementation : $\int_\Omega \rho.C_p.\frac{\partial T}{\partial t}T_{test}d\Omega + \int_\Omega(\nabla)\,T_{test}d\Omega = \int_\Omega Q.T_{test}d\Omega$

Aplicação do vetor identidade: $\nabla.(T_{test}\boldsymbol{q}) = q.\nabla\,T_{test} + T_{test}.\nabla\mathbf{q}$

Essas equações são resolvidas pelo *solver* utilizando as físicas de *Heat Transfer in Solid e Eletric Currents*, sendo a ligação entre as mesmas feitas pela equação abaixo, introduzindo a contribuição de Seebeck:

$Weak_s$= - $(\sigma . S\nabla T).\nabla V_{test}$=

$Weak_s$= - S.($\sigma_{xx}\frac{\partial T}{\partial x} + \sigma_{xy}\frac{\partial T}{\partial y} + \sigma_{xz}\frac{\partial T}{\partial z}$) $\frac{\partial V_{test}}{\partial x}$ - S.($\sigma_{yy}\frac{\partial T}{\partial y} + \sigma_{yx}\frac{\partial T}{\partial x} + \sigma_{yz}\frac{\partial T}{\partial z}$) $\frac{\partial V_{test}}{\partial y}$

- S.($\sigma_{zz}\frac{\partial T}{\partial z} + \sigma_{zx}\frac{\partial T}{\partial x} + \sigma_{zy}\frac{\partial T}{\partial y}$) $\frac{\partial V_{test}}{\partial z}$

Onde:

σ: condutividade elétrica [S/m]

V: potencial elétrico [V]

ρ: densidade [kg/m^2]

C_p: capacidade calorifica [J/kg.K]

T: temperatura

q: fluxo de calor [W/m^2]

k: condutividade térmica [W/(m.K)]

P: coeficiente de Peltier

S: coeficiente de Seebeck

J: densidade de corrente [A/m^2]

Q= J.(-∇V) : Aquecimento Joule [W/m^3]

3 - Modelos computacionais e experimentais para comprovar o Efeito de Seebeck

O modelo computacional foi desenvolvido na plataforma COMSOL multiphysics utilizando as físicas Turbulent *Flow*, *Heat Transfer in Fluids and Eletric Currents*, as quais nos permite realizar o estudo do escoamento de fluidos em um trocador de calor, bem como também a produção de uma ddp, por meio de um gradiente de temperatura, numa estrutura peltier. O estudo foi baseado no regime estacionário. O modelo experimental foi realizado em laboratório.

3.1 - Modelo simples de uma célula peltier

Neste modelo, a geometria foi construída no próprio COMSOL Multiphysics, a qual consta de um cilindro de alumínio com raio de 6 mm e dois fios de cobre com raio de 0,5 mm, sendo todos com comprimento de 150 mm (Figura 3). Os fios de cobre foram anexados nas extremidades da barra de alumínio, produzindo assim duas junções de metais, nas quais quando aplicado um gradiente de temperatura aparecerá uma diferença de potencial entre as mesmas.

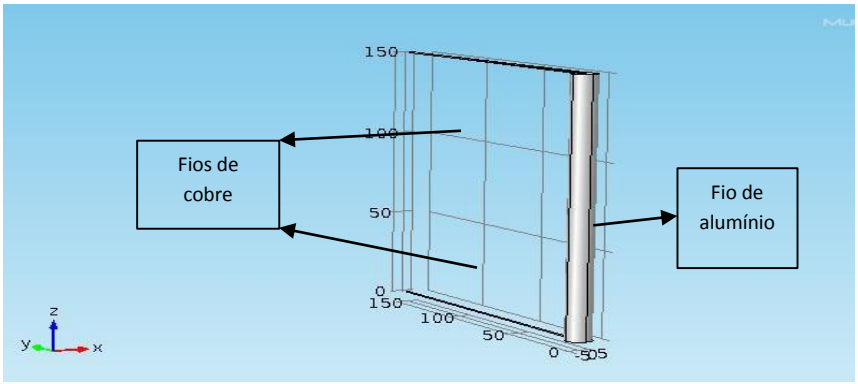


Figura 3: Modelo geométrico utilizado na modelagem

Foram estabelecidos os seguintes parâmetros iniciais:

T1	61[degC]	temperatura na junção 1
T2	37[degC]	temperatura na junção 2
Sc	6.5e-6[V/K]	coeficiente de seebeck do cobre
Sa	3.6e-6[V/K]	coeficiente de seebeck do alumínio

Após a construção da geometria, o domínio foi discretizado, ou seja, foi feito a representação do plano físico utilizado na simulação matemática. Foi criada a malha abaixo, composta de elementos tetraédricos, nos quais os nós funcionam como pontos onde o modelo computacional fará os cálculos matemáticos (Figura 4). É interessante ressaltar que a discretização do domínio independe do tipo de física utilizada.

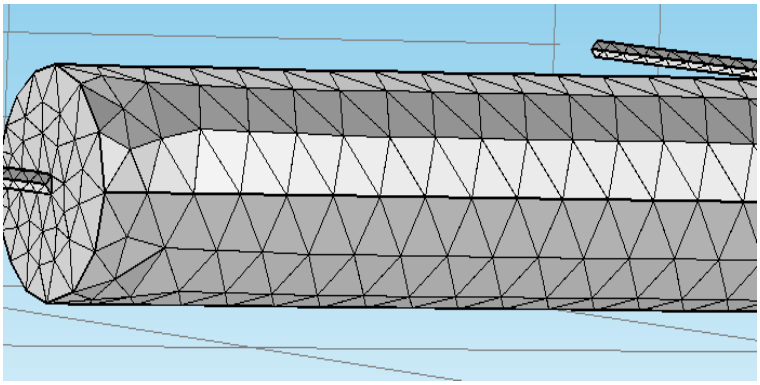


Figura 4: Malha detalhada do cilindro de alumínio

Após todas essas determinações e montagem do modelo matemático a solução mostra os resultados da ddp gerada ao longo da estrutura peltier (Figura 5) e de comportamento da temperatura ao longo da mesma (Figura 6). Os elétrons movimentam-se da extremidade mais quente, visto que possuem maior energia cinética, para a região mais fria, gerando, assim, uma diferença de potencial entre as extremidades.

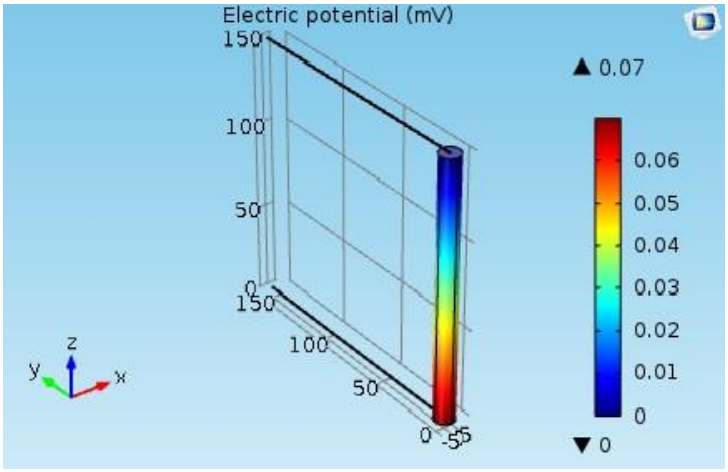


Figura 5: Diferença de potencial gerada nos cilindros devido à diferença de temperatura aplicada nas junções.

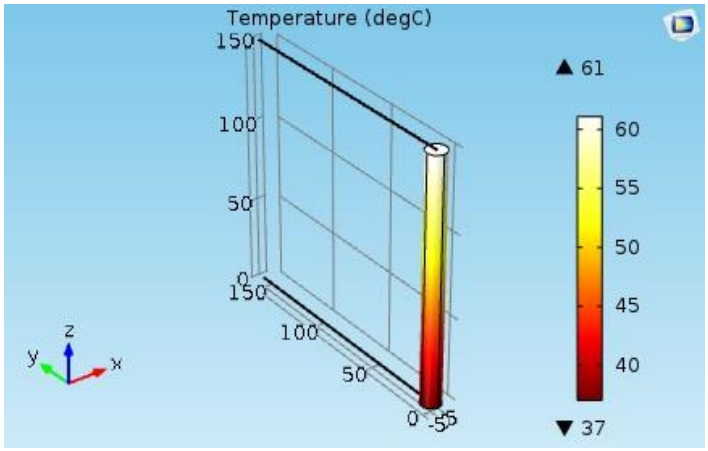


Figura 6: Campo de temperatura na superfície dos cilindros

Pode se verificar que ao aplicarmos uma diferença de temperatura de 24 º C entre as junções houve o surgimento de uma DDP de 0,07 mV (Figura 5 e Figura 6)

3.2- Modelo simples experimental de uma célula peltier

A experiência, para validar o modelo numérico do efeito de seebeck na estrutura em questão, foi gerada em um laboratório, onde foram necessários os seguintes equipamentos:

-1 cilindro de alumínio de diâmetro de 12 mm e comprimento de 150 mm.
- 2 fios de cobres de diâmetro de 1mm e comprimento de 150 mm.
- 1 Multímetro capaz de medir até diferenças de temperaturas
- 1 ferro de solda pra aquecer uma das extremidade

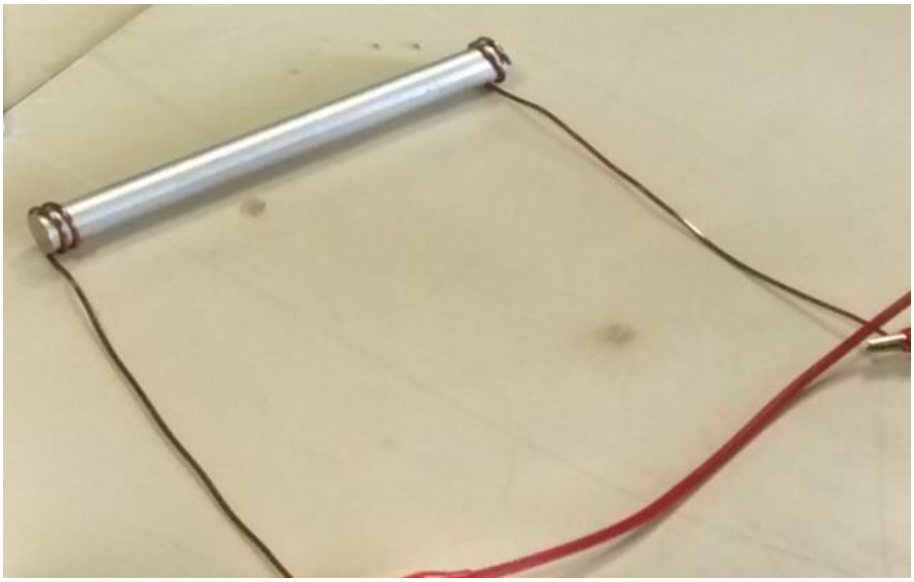


Figura 7: Modelo experimental

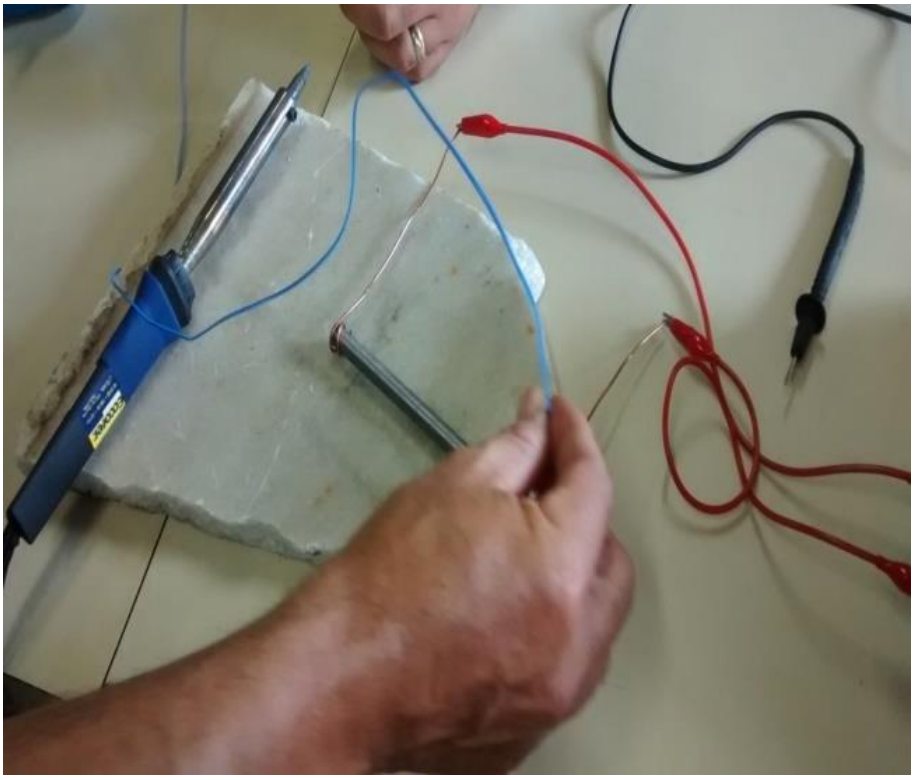


Figura 8: Medição das temperaturas

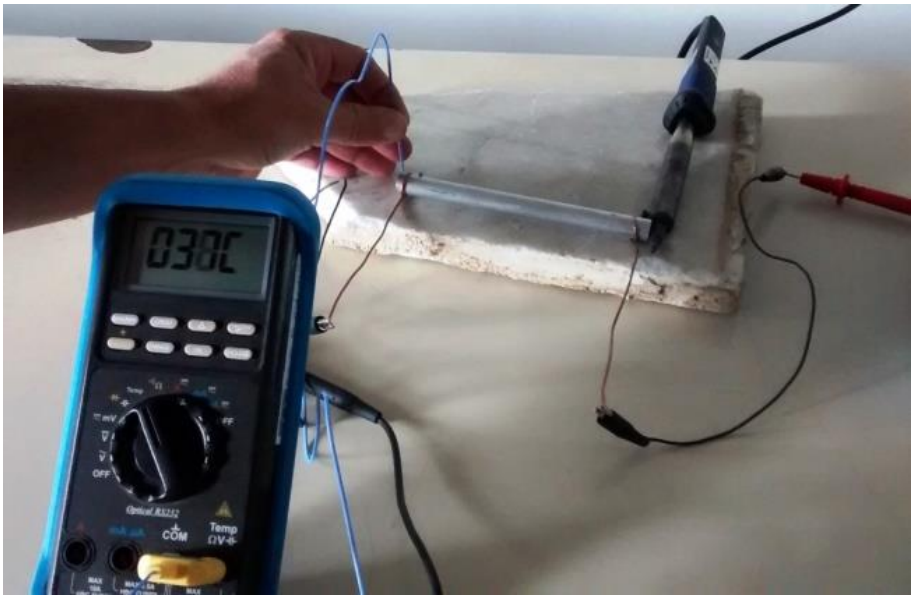


Figura 9: Medição das temperaturas T_2

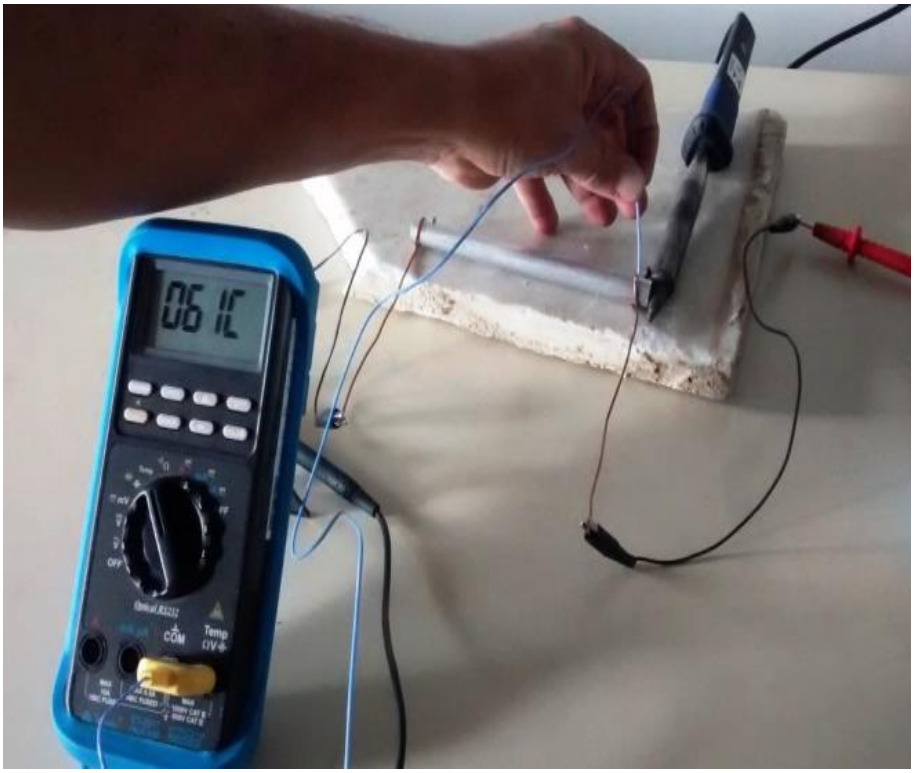


Figura 10: Medição das temperaturas T_1

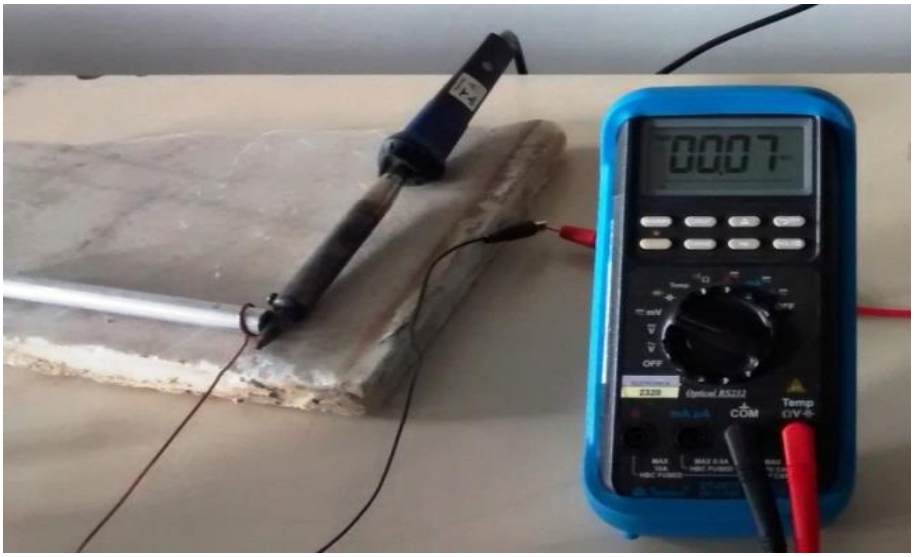


Figura 11: Medição da DDP do modelo simples

Aplicando as mesmas condições e parâmetros do modelo computacional, percebe-se que os resultados obtidos, submetendo a estrutura ao mesmo gradiente de temperatura, foram

semelhantes às análises geradas pelo modelo construído na plataforma COMSOL Multiphysics. Obtendo, assim, a mesma diferença de potencial e ratificando os resultados da modelagem.
Na figura 7 encontra-se a estrutura utilizada para realizar o experimento, na figura 8 mostra-se as aferições das temperaturas nas extremidades da peça, nas figuras 9 e 10 o multímetro está mostrando a temperatura de cada extremidade, as quais marcam 37ºC e 61ºC, as mesmas utilizadas do modelo computacional e na figura 11 mostra-se a ddp de 0,07mV gerada por essa diferença de temperatura. Este experimento ratifica a modelagem numérica deste trabalho.

3.3- Trocador de calor shell and tube e o Efeito de Seebeck

Sabino (2008) define os trocadores de calor como equipamentos não sujeitos a chamas, onde dois ou mais fluidos realizam troca de calor sem que ocorra contato direto entre eles, em condições normais de operação. O trocador de calor do tipo shell and tube são equipamentos constituídos por um feixe de tubos envolvidos por um casco, normalmente cilíndrico, circulando um dos fluidos externamente ao feixe e o outro pelo interior dos tubos. Nesta modelagem, utilizou-se um trocador de calor de correntes opostas de simples tubo no interior de outro tubo.

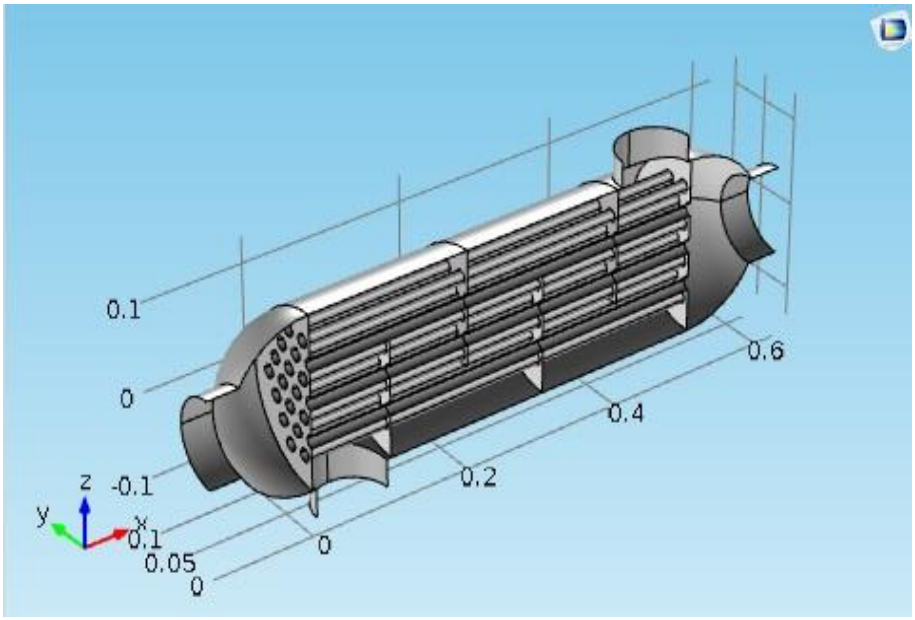


Figura 12: Estrutura geométrica do trocador de calor do tipo shell and tube

Fonte: Geometria shell and tube da model libraries do COMSOL Multiphysics

A geometria usada na modelagem foi importanda da model libraries do COMSOL Multiphysics (Figura 12). Nesta configuração tem-se os fluidos escoando em sentidos opostos, pois essa

conformação é mais eficiente, transferindo assim maior quantidade de calor para o fluido frio. Sabe-se que num shell and tube quanto maior o número de tubos em seu interior maior será a área de troca de calor, sendo assim mais eficiente a troca de térmica do sistema.

Considerando o problema permanente, desprezando a parte transiente, nessa configuração, para o trocador de calor em questão, a troca térmica é mais homogênea entre os fluidos ao longo do comprimento do trocador, o que fornece como resultado um gradiente de temperatura ao longo do mesmo aproximadamente parecido para um comprimento de tubo suficientemente grande, o que fica ratificado pelo gráfico 1, retirado de uma modelagem de um shell and tube utilizando a geometria da figura 12, na qual os fluidos de trabalho utilizados foram a água salgada e a água doce.

Neste gráfico verifica-se que o decaimento da temperatura da água salgada aumenta na mesma proporção que a temperatura da água doce diminui ao longo do trocador de calor. Tornando assim o gradiente de temperatura do mesmo, aproximadamente, constante ao longo do trocador. Esta foi a principal razão que levou este trabalho a escolher o trocador de calor do tipo shell and tube para a modelagem envolvendo o efeito de seebeck.

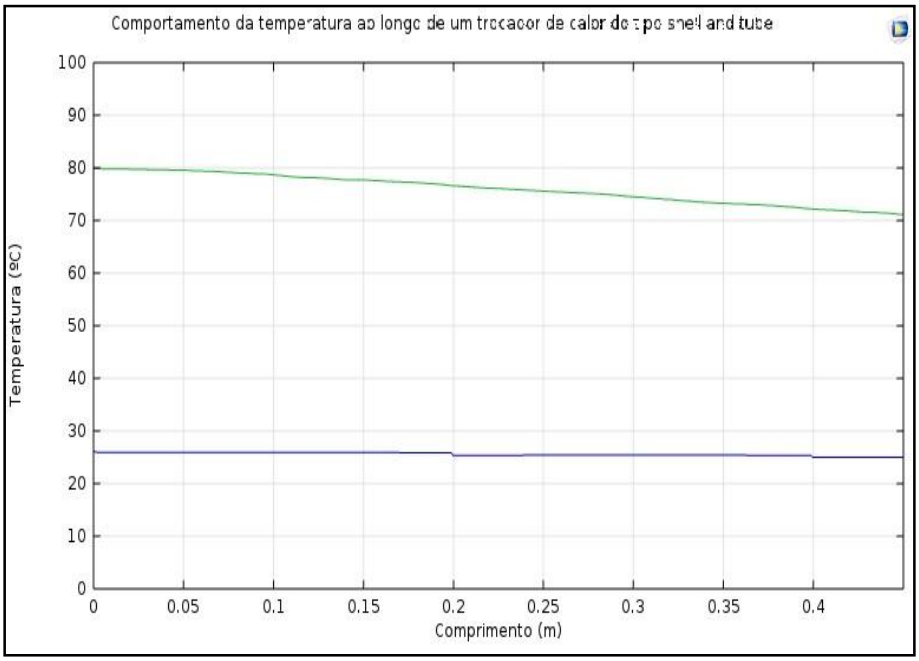


Gráfico1: Comportamento das temperaturas ao longo de um trocador de calor do tipo shell and tube (Fonte: Modelo do shell and tube da livraria do COMSOL Multiphisycs)

Depois de feita a modelagem do trocador de calor no COMSOL, sendo o fluido quente a água doce, passando pelo tubo interior, e o fluido frio a água salgada, passando pelo tubo exterior,

obtivemos os seguintes comportamentos de temperatura ao longo do comprimento do trocador de calor(Figura 13) e de velocidade de escoamento dos fluidos (Figura 14).

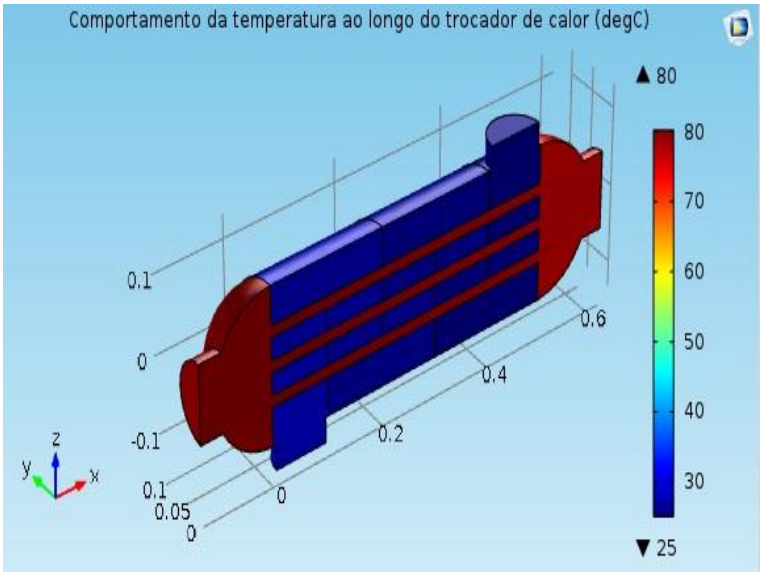


Figura 13: Comportamento 3D da temperatura no trocador de escoamento contracorrente ao longo do comprimento do tubo

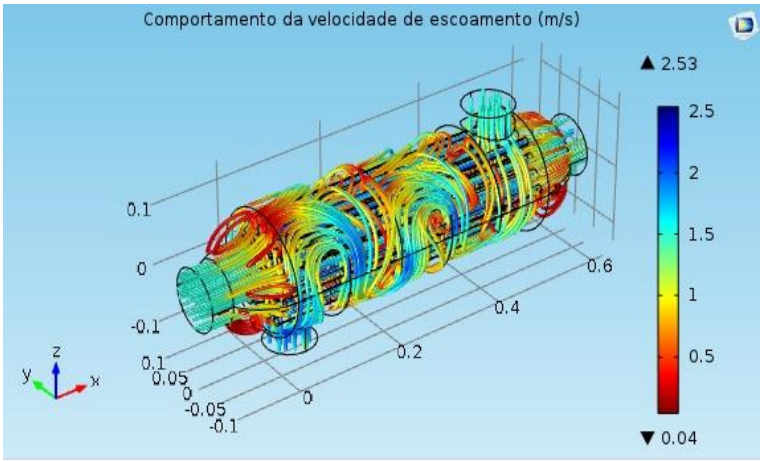


Figura 14 Comportamento 3D da velocidade dos fluidos no trocador de escoamento contracorrente ao longo do comprimento do tubo

Introduzindo-se uma pastilha de peltier revestindo os tubos internos, tem-se um gradiente de temperatura parecido ao longo do comprimento da pastilha, produzindo, assim, uma ddp aproximadamente igual ao longo de toda a pastilha. Tornando o modelo mais eficiente e produzindo uma maior ddp total no final do processo.

Desenhamos a seguinte célula unitária para a construção da pastilha peltier:

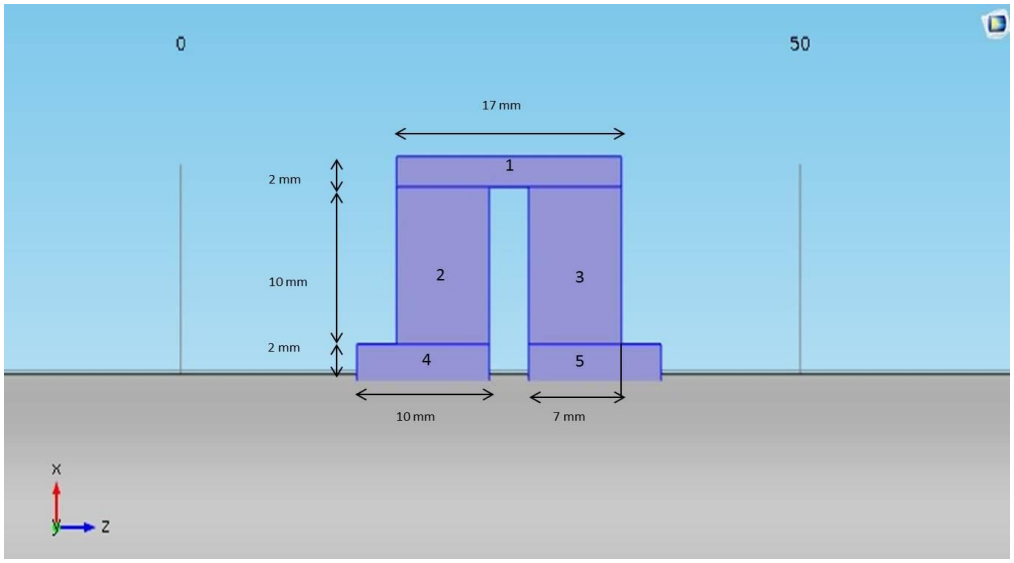


Figura 15: Célula unitária da pastilha peltier usada na modelagem

Essa célula é constituída por cinco unidades menores, sendo as partes 1, 4 e 5 feitas de cobre e as partes 2 e 3 de Bi_2Te_3 , telúrio de bismuto (material semicondutor). Nas junções das células de cobre com o Bi_2Te_3 aplica-se uma diferença de temperatura, a qual gerará uma ddp entre as extremidades. Essa conformação sendo construída em série maximiza a ddp gerada. Observa-se na figura abaixo a geometria do trocador de calor utilizado sendo introduzida a pastilha cilíndrica peltier nos tubos interiores (Figura 16).

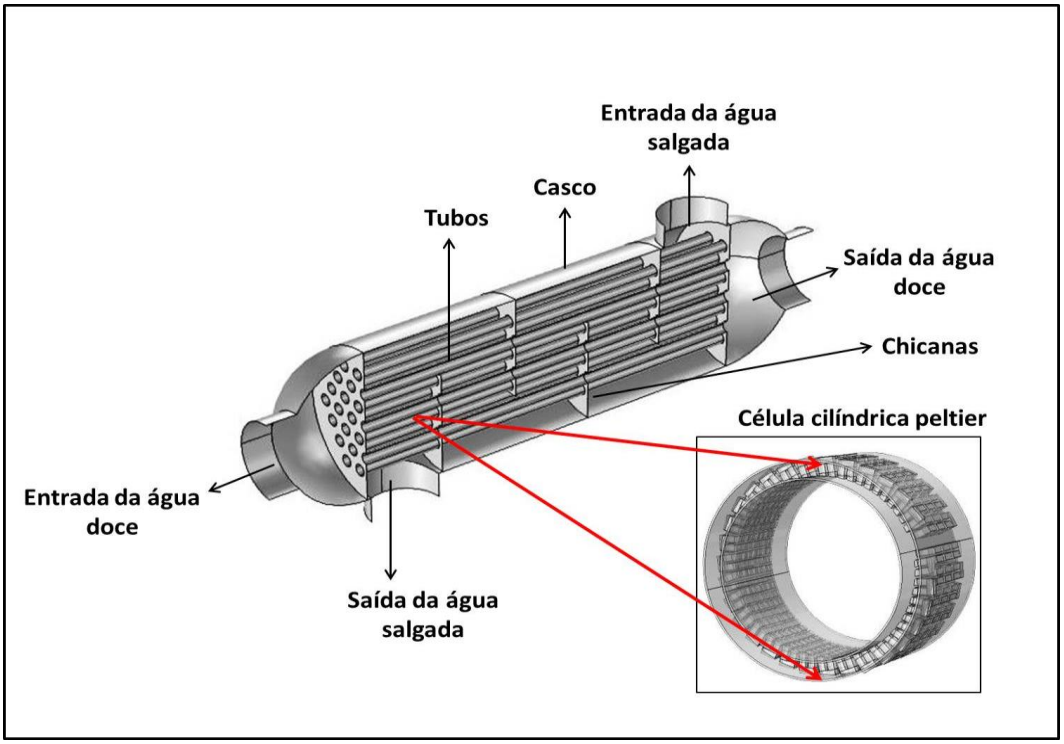


Figura 16: Geometria do shell and tube utilizado na modelagem introduzido a célula cilíndrica peltier no tubo interior

Na figura 17 mostra-se a estrutura da célula cilíndrica peltier sendo construída no COMSOL, na qual vão aumentando-se longitudinalmente fileiras de células transversais colocando-as em uma conformação em série.

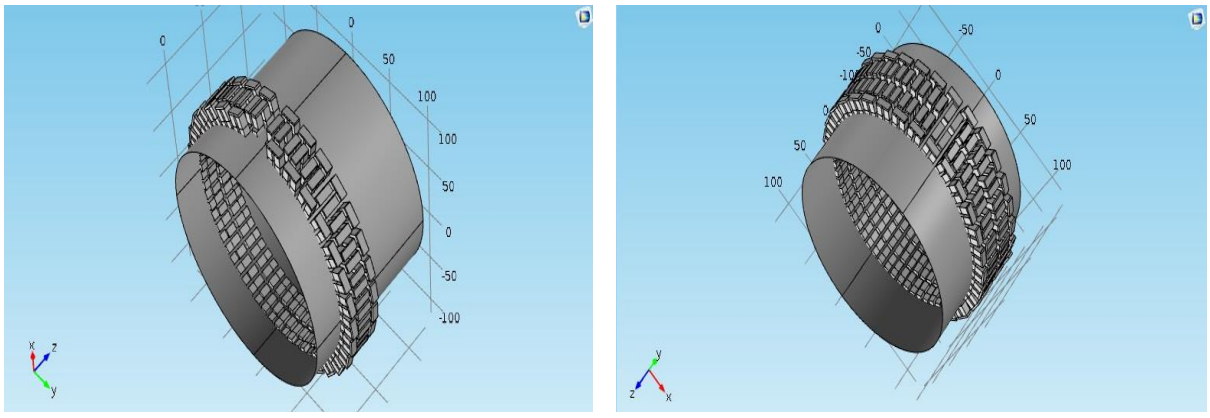


Figura 17: Células unitária colocadas em série para formar pastilha peltier usada na modelagem

Na figura 17 observa-se que as células unitárias foram colocadas em uma configuração em série, repetindo a estrutura longitudinal ao longo do tubo aumentar-se-á o efeito gerado na pastilha, maximizando, cada vez mais, a ddp gerada. Para obter-se esse resultado foi gerada uma malha (Figuras 18 e 19) na estrutura da pastilha, tendo como vista fazer a discretização do espaço para serem feitos os cálculos da modelagem. Estas malhas possuem estruturas tetraédricas, as quais geram as condições de contorno espacial para os cálculos computacionais.

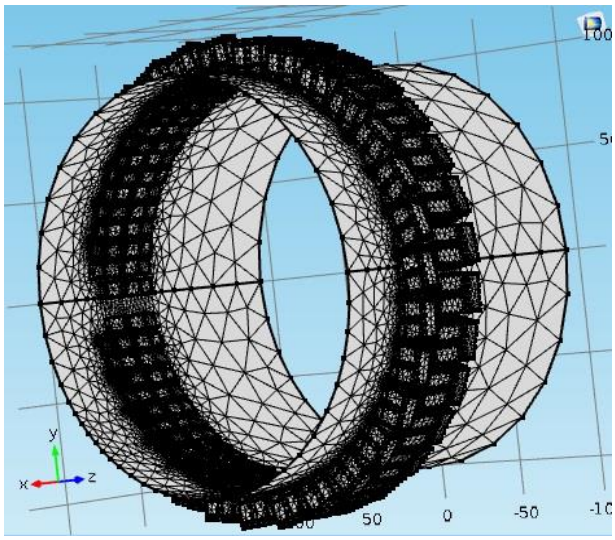


Figura 18: Pastilha com uma fileira transversal: malha com 178565, elementos de domínio, 116334 elementos de fronteira, e 24374 elementos de aresta.

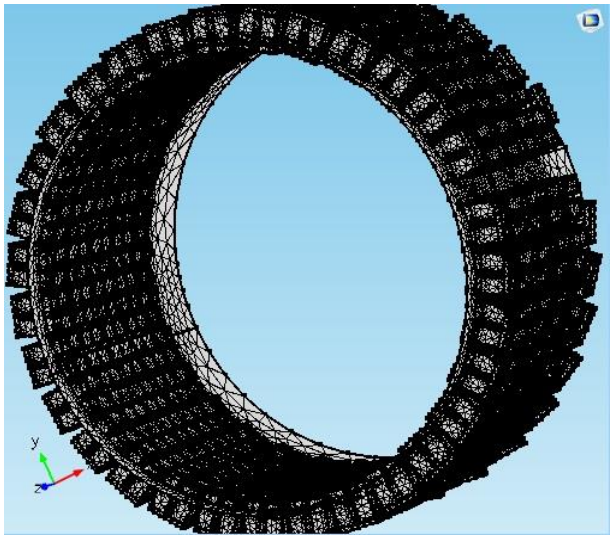


Figura 19: Pastilha com duas fileiras transversais : malha com 367325 elementos de domínio, 254807 elementos de fronteira, e 57450 elementos de aresta

A exatidão desejada para a solução depende do refinamento da malha aplicada à geometria envolvida no modelo, ou seja, quanto maior o número de elementos da malha, mais discretizada será a geometria e mais pontos no domínio serão utilizados para o *solver* realizar os cálculos. Esta medida aumenta a exatidão da solução, entretanto, eleva o esforço computacional. O formato de malha padrão utilizado nesta modelagem envolve geometrias tetraédricas (COMSOL,Multiphysics,2010). (Figuras 18 e 19).

Considerando a variação da temperatura na faixa de 25ºC a 80ºC, introduziu-se as condições de contorno nas pastilhas peltier considerando essa diferença de temperatura. Os resultados obtidos mostram o quanto a ddp aumenta com o acréscimo de linhas de células transversais ao longo do eixo longitudinal, bem como também, mostram o comportamento da temperatura ao longo das células.

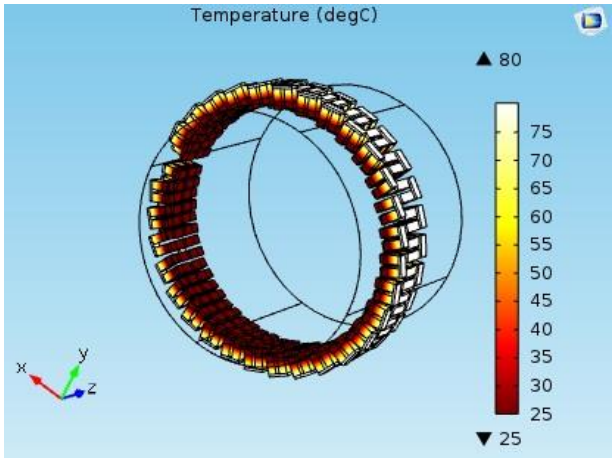


Figura 20: Comportamento da temperatura ao longo da célula com um fileira transversal

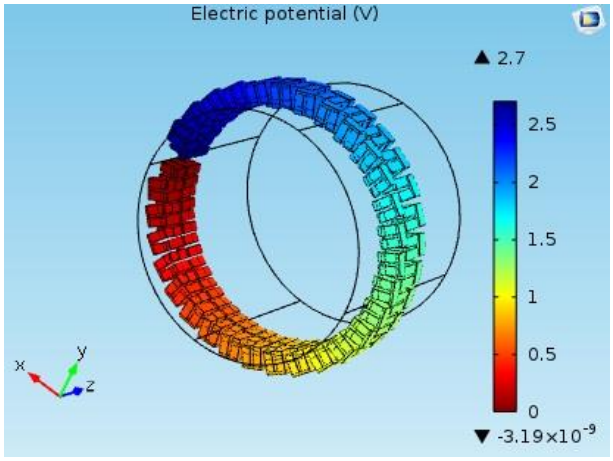


Figura 21: Comportamento e produção da ddp ao longo da célula com um fileira transversal

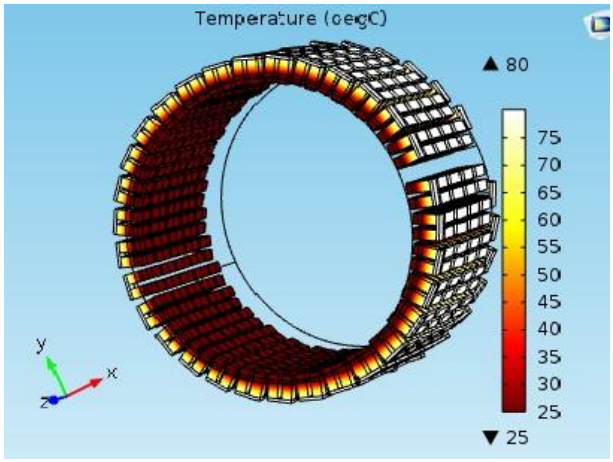


Figura 22: Comportamento da temperatura ao longo da célula com duas fileira transversal

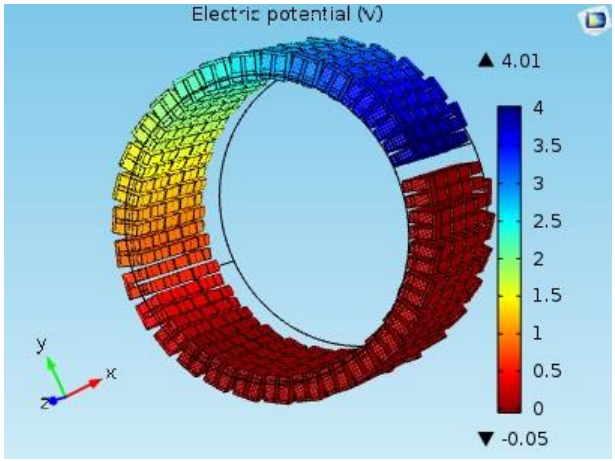


Figura 23: Comportamento e produção da ddp ao longo da célula com duas fileira transversal

As figuras 20 e 22 mostram o comportamento da temperatura ao longo da pastilha com uma e com duas fileiras de células transversais. As figuras 21 e 23 mostram o comportamento da ddp ao longo das mesmas. Verifica-se nestas modelagens o aumento da ddp de acordo com o aumento do número de células peltier acrescentadas em série.

Depois de construída a matriz com as células peltier foi introduzido duas placas de material cerâmico fazendo uma pastilha cilíndrica peltier. Essa pastilha (Figura 24), foi submetida a uma troca térmica produzindo uma ddp de 2,81 V (Figura 25). Esta pastilha possui 150 mm de comprimento e um raio de 100 mm, aproximadamente, 371 células unitárias peltier

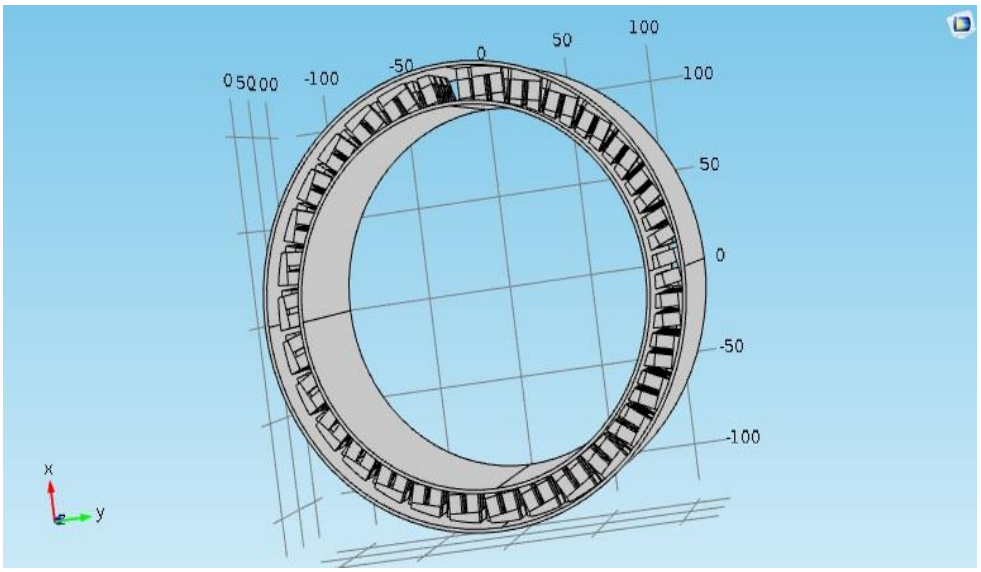


Figura 24: Estrutura da célula cilíndrica peltier construída para revestir o tubo interior do trocador de calor

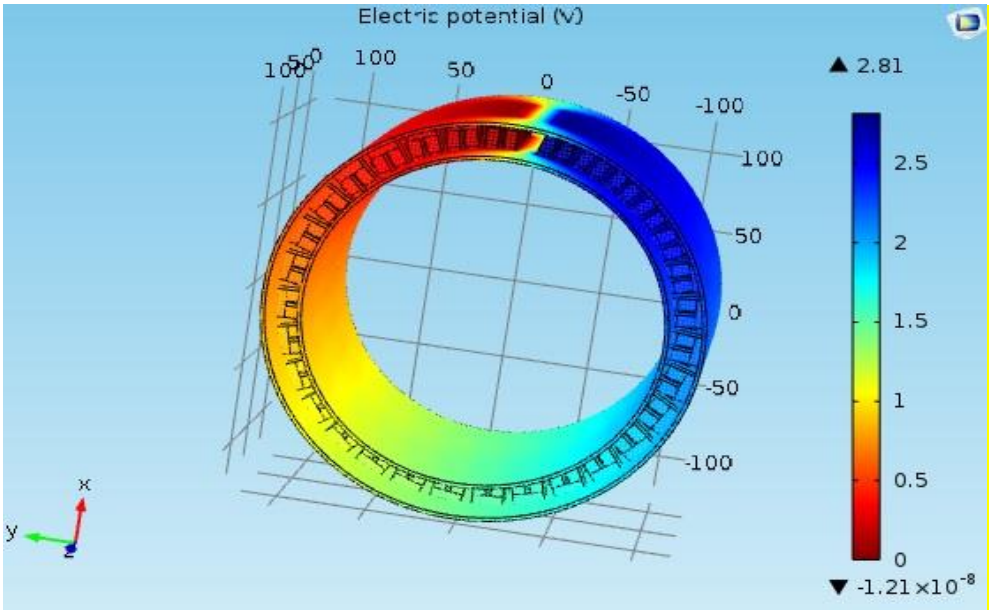


Figura 25: Comportamento da ddp gerada na célula cilíndrica peltier construída para revestir o tubo interior do trocador de calor

4- Conclusão

Este trabalho usou o programa COMSOL Multiphysics para realizar o estudo do efeito termoelétrico e o estudo do efeito da temperatura ao longo de uma troca térmica num trocador de calor do tipo shell and tube, verificando a possibilidade do aproveitamento do gradiente gerado nesta troca térmica produzir uma ddp a partir de uma célula peltier cilíndrica, a qual seria introduzida revestindo o tubo interior do trocador em questão.

Os resultados obtidos fora, comprovados por experimentos e estão de acordo com a literatura utilizada como base para pesquisa. Vale salientar que um tocador de calor do tipo shell and tube possui muitos tubos interiores, pois a troca térmica vai sendo maximizada sua eficiência aumentando a área de contato de um fluido com a superfície em contato com o outro fluido. Logo, verificou-se que se a estrutura construída neste trabalho fosse aplicada no shell and tube, em todos os tubos interiores do mesmo, ter-se-ia uma grande quantidade de energia elétrica formada, salve-se as devidas proporções dos mesmos, por meio de um energia térmica que seria perdida para o ambiente na forma de calor.

Fica comprovada a importância do estudo em questão, visto que, foi mostrada a produção de energia elétrica renovável através de um equipamento fundamental para diversos sistemas, os

quais precisam realizar trocas térmicas para não serem danificados. O COMSOL Multiphysics permitiu através de modelagem 2D e 3D que este estudo fosse comprovado.

5- Bibliografia

JAEGLE, Martin . *Multiphysics Simulation of Thermoelectric Systems - Modeling of Peltier-Cooling and Thermoelectric Generation*, trecho da revista Proceedings, da Conferência COMSOL Hannover, 2008.

FERREIRA, Antonio Carlos. *Estudo comparativo da troca térmica em trocadores de calor do tipo casco/tubos e de placas*, Joaçaba, p. 57-66, 2014.

www.comsol.com

S.P, Yushanov; L.T, Gritter; J.S. Crompton; K.C, Koppenhoefer. *Multiphysics Analysis of hermoelectric Phenomena*, trecho da revista Proceedings, da Conferência COMSOL Boston, 2011.

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLOGICA DA BAHIA. *Trocador de calor*.

SEIF,Selemani; CADIEN, Kenneth. Thickness Designs for Micro-Thermoelectric Generators using Three *Dimensional PDE Coefficient-Comsol Multiphysics 4.2a Analysis*, trecho da revista Proceedings, da Conferência COMSOL Boston, 2012.

Análisis de los efectos en las defensa marinas para buques debido a un impacto localizado

Cueva Huamalies, M.A.
migelcueva@gmail.com,

Rivera Tirado, F.
fel146@hotmail.com

Msc. Ing. Acosta Pastor, V.N.
fim@uni.edu.pe
Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Naval
Docente de la Facultad de Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Mecánica

Resumen

El presente trabajo muestra el análisis de los impactos localizados de un buque y los efectos que repercuten en las defensas con el propósito de obtener la energía de impacto y su comportamiento estructural, para ello usaremos la teoría impulsiva y la mecánica variacional como base del modelamiento.

Este trabajo pretende contribuir al desarrollo de una mejor y eficiente selección y diseño de las defensas para embarcaciones actuales en el Perú, pero la metodología aplicada en el desarrollo de este trabajo puede ser aplicada a cualquier sistema en el que se aplique cargas localizadas como las de una allision o una colisión.

En este trabajo se discuten en primer lugar los fenómenos dinámicos impulsivos, analizando los impactos que se ocurren frecuentemente en muelles y puertos, como consecuencia del atraque de buques.

A continuación se describe de forma sucinta el comportamiento de los materiales, diferenciando los efectos en el buque y en la defensa. Además de estimar la energía de atraque según lineamientos de diseño de la *Guidelines for The Designe of Fender System*.

Se ha analizado el caso típico de allision de barcazas, que prestan servicios de aprovisionamiento frecuente en puertos. Para el cálculo de la respuesta estructural, el cálculo no es posible mediante procedimientos analíticos, salvo casos triviales, y suele ser necesario emplear métodos numéricos basados en la discretización del espacio y del tiempo, por ello usamos la teoría de elementos finitos. La parte espacial se suele resolver mediante mallas de elementos finitos. Generalmente son preferibles las mallas Lagrangianas, ligadas al material, por su mejor capacidad para resolver los fenómenos de contorno como los contactos. La aplicación de la discretización espacial da lugar a un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias que debe resolverse numéricamente mediante integración directa en el tiempo, empleando procedimientos explícitos o implícitos.

Se citan adicionalmente procedimientos conservativos energía-momento que en ocasiones pueden aportar importantes ventajas al análisis. Por último, se describen y discuten los resultados obtenidos.

Palabras clave — Defensas marinas, impacto, allision, energía de atraque, respuesta estructural.

1. INTRODUCCIÓN,

Los fenómenos de impacto sobre las estructuras constituyen solicitaciones dinámicas de interés especial, ya que aunque por lo general su probabilidad es más baja que otros tipos de acciones, su efecto es potencialmente catastrófico tanto para el buque como para la estructura portuaria.

Citando a la aseguradora "TT Club", vemos un panorama preocupante en cuanto a la frecuencia con los que ocurren los impactos con estructuras portuarias, *"En este sentido, el tipo de riesgo y las causas más comunes para realizar reclamaciones a las aseguradoras siguen siendo los mismos. Los daños producidos en la interacción entre un buque y la instalación durante el atraque representan el 31% del coste total de las reclamaciones que tanto puertos como terminales han realizado durante los últimos cinco años. De hecho, el activo más valioso de cualquier terminal, la grúa, representa por sí solo el 25% de las reclamaciones."*

Estas estadísticas sirven como un recordatorio a los puertos y terminales para que consideren, en lo que a seguridad se refiere, no sólo la longitud y la profundidad de los buques, sino también cuestiones como el atraque y la capacidad de los remolcadores, amarres y bolardos.

Sin embargo, según la aseguradora, estos riesgos "pueden minimizarse" mediante un "*programa de mantenimiento, el uso adecuado de las tecnologías de seguridad y la protección adecuada contra las tormentas, independientemente del tamaño del buque que esté atracando".*

Los impactos sobre las estructuras son solicitaciones dinámicas de corta duración e intensidad elevada que, por su naturaleza, pueden producir daños importantes sobre las mismas, o alteraciones notables en su estabilidad o movimiento. Dentro de los procedimientos clásicos de la mecánica de sistemas rígidos [1], el impacto se estudia mediante la teoría de impulsiones, por la que la duración de los impactos se considera instantánea.

Las impulsiones teóricas están asociadas a fuerzas impulsivas de magnitud teóricamente infinita, mediante funciones Delta de Dirac $\delta(t-\tau)$, que cumplen $\delta(x) = 0\ \forall x\ 6= 0$ y $\lim x\rightarrow 0\ \delta(x) = \infty$.

En esta teoría se aplica la conservación de cantidad de movimiento y momento cinético,

mientras que el balance de energía se tiene en cuenta mediante el denominado "coeficiente de restitución".

Otra simplificación generalmente empleada es la de la simultaneidad de las impulsiones, ya que generalmente una impulsión activa da lugar a otras impulsiones reactivas. En definitiva, la teoría de impulsiones permite calcular un estado del movimiento después de la impulsión que deberá ser considerado como unas nuevas condiciones iniciales para la dinámica del sistema a partir de dicho instante. En ciertos casos, los fenómenos de impacto sobre las estructuras pueden estudiarse mediante este tipo de teorías. Esta sería la situación de un impacto de corta duración en el que la perdida de energía fuese pequeña y pudiera considerarse elástico (coeficiente de restitución e = 1), o bien en un fenómeno en que, existiendo una cierta pérdida energética, se conozca de manera adecuada dicho coeficiente ($0 < e < 1$).

En [2] puede encontrarse una descripción de estos procedimientos y su aplicación a diversas situaciones prácticas. Sin embargo, en la mayoría de las situaciones reales es necesario un estudio más detallado, profundizando precisamente en aquello que la teoría de impulsiones no trata: como se produce la perdida de energía, de qué manera se desarrolla la fuerza de impacto a través del contacto entre los cuerpos, así como la posible degradación y rotura de los mismos debido a las elevadas solicitaciones. Generalmente es necesario recurrir a métodos numéricos, mediante diferencias finitas o elementos finitos, que incluyan una resolución adecuada de las ecuaciones dinámicas en el tiempo. No deben perderse de vista, sin embargo, los principios básicos de la dinámica que a menudo es necesario aplicar para deducir ciertas condiciones que no son inmediatas en el planteamiento del problema.

Un ejemplo de esto es el cálculo de las fuerzas de impacto, a imponer en el modelo estructural, en situaciones en que no sea practico realizar una modelización detallada del fenómeno local en la zona de impacto. Esta modelización local detallada necesitaría un modelo preciso de los contactos entre los cuerpos que impactan, la consideración de la propagación de ondas en la zona de impacto y del material. Estos fenómenos son extraordinariamente complejos para representar, lo que obliga en ocasiones a realizar hipótesis simplificadoras sustentadas acorde en los principios básicos de la mecánica.

En nuestro caso, nuestra aproximación se basa en los métodos energéticos, siguiendo principios

de diseño establecidos en [3], con ayuda de los métodos finitos analizaremos los efectos en las defensas y en los buques debido a colisiones o impactos localizados.

2. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO,

Las situaciones en que se puede originar un impacto y en las cuales resulta necesario su estudio pueden ser muy diversas, lo que hace difícil abarcar en una lista todos estos escenarios. Empezando por los impactos a velocidades más bajas, pueden citar se los impactos de barcos, tanto sobre estructuras portuarias o pilas de puentes, como entre sí. Aunque la velocidad sea más baja que en otros casos (choques de vehículos u otros), la enorme masa que puede verse involucrada hace que la energía a disipar para mitigar el impacto o protegerse del mismo sea de una magnitud difícil de alcanzar. El termino correcto para referirse a este caso es el de "allision", mientras que para el caso de choques de 2 o más buques puede decirse abordaje.

Algunos ejemplos recientes son el colapso del puente de "As Pías" en Ferrol.En el sector portuario, chocaron recientemente las embarcaciones Tritón Swallow, atracada en el muelle de Compas y la Golden Daisy, en el muelle 14 multipropósito de la Sprbun, situación ocurrida el 13 de julio 2014. Estos casos y lo dicho por las aseguradoras revelan la frecuencia con la que ocurre dejando una serie de consideraciones que deben tomarse en cuenta como los que siguen:

- La colisión de buques debe evitarse pero las maniobras y acoderamientos pueden ser consideradas un peligro inminente, aumentando la probabilidad de choques o allisiones.

- El diseño de protecciones de pilas en ocasiones tiene como finalidad el desviar el impulso del barco, más que su detención absoluta.
- Se debe tener en cuenta para la estimación de la energía que debe dispar y la fuerza de impacto lo siguiente: el diseño del funcionamiento, las condiciones del entorno, la posición del atraque, excentricidad y factores de corrección, tipo de buques que frecuentan el puerto por mencionar algunas.

Debemos notar que, en el marco portuario del Perú solo se hace uso y selección de defensas ya existentes, evaluando el desempeño en función a la estimación de la energía de atraque de las embarcaciones que realizan carga y descarga de mercaderías y otros. No se diseña ni se realizan

estudios de mejora y comportamientos dinámicos estructurales, ni en los puertos principales menos en la selva.

No existe una cultura de diseño, uso y selección de defensas apropiadas para buques, generalmente se hace uso de llantas, verduguetes de tubos y otros materiales como medio de defensa, que simplemente no absorben la energía de impacto, simplemente reciben los impactos, ello causa daños estructurales no solo a la "defensa" también a la embarcación.

Habiéndose observado estos y otras factores afines ¿Es posible estudiar el comportamiento y la respuesta estructural de las defensa marinas, para estructuras portuarias, buques o los usados en artefactos navales bajo condiciones de allision, de acuerdo a estándares de diseño internacional?

3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

"Analizar la respuesta estructural de las defensas marinas tipo caucho, para un buque y una estructura portuaria bajo condiciones de allision, estimando la energía de absorción bajo criterios estándar de la Internacional Navigation Association, con ayuda del Ansys "

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estimar la energía de absorción de las defensas marinas bajo condiciones de allision.
2. Efectuar el modelamiento de la defensa marina y del buque y/o artefacto naval.
3. Realizar la simulación de impacto en condición de allision a partir de la estimación de la energía a absorción.

4. HIPOTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

"Es posible analizar el comportamiento estructural de una defensa marina y de buques a partir de la estimación de la energía de absorción que debe soportar una defensa marina en condición

de allision con ayuda del cálculo por elementos finitos y teorías impulsivas."

HIPÓTESIS ESPECÍFICO

"Complementariedad en el uso de los elementos finitos y teorías impulsivas para determinar respuestas estructurales en materiales tipo hiperelástico e isótropo como los de la defensa marina tipo caucho y en buques y/o artefactos navales."

5. MARCO TEÓRICO

COMPORTAMIENTO DE MATERIALES SOMETIDOS A IMPACTOS

ECUACIONES DE LA DINÁMICA DE SÓLIDOS

El comportamiento dinámico de materiales sólidos se rige por una serie de ecuaciones diferenciales básicas que expresan el balance de diversas magnitudes. El balance de cantidad de movimiento, o ecuación de Cauchy, se expresa en la configuración deformada como:

$$\nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} + \boldsymbol{b} = \rho \dot{\boldsymbol{v}}, \tag{1}$$

Donde $\nabla \cdot (\cdot)$ es el operador divergencia, σ el tensor de tensiones de Cauchy, b las fuerzas volumétricas, ρ la densidad volumétrica y v la velocidad. Por su parte, el balance de momento cinético obliga a la simetría del tensor de tensiones, $\sigma = \sigma^T$.

La conservación de la masa o ecuación de continuidad establece

$$\frac{1}{\rho}\dot{\rho} + \nabla \cdot \boldsymbol{v} = 0. \tag{2}$$

Por último, la ecuación de balance de energía (primer principio de termodinámica) se escribe

$$\rho \dot{u} = \boldsymbol{\sigma} : \boldsymbol{d} + \nabla \cdot \boldsymbol{h} + r, \tag{3}$$

Donde u es la energía interna por unidad de masa, $d = 1/2[\nabla \cdot v + (\nabla \cdot v)^T]$ el tensor velocidad de deformación, r la densidad de fuentes de calor, y h el vector de flujo calórifico.

Las ecuaciones anteriores son válidas para cualquier material. A ellas hay que agregar leyes adicionales, denominadas ecuaciones constitutivas, que expresan el comportamiento del material y varían dependiendo del mismo y del régimen a que este sometido.

Principalmente se trata de las ecuaciones constitutivas mecánicas, que expresan la tensión como función de la deformación y posiblemente otros parámetros, y las térmicas que establecen el flujo de calor. Bajo solicitaciones pequeñas, como puede corresponder a impactos a baja velocidad, la respuesta del material será elástica y lineal. Admitiendo la hipótesis de pequeñas deformaciones en un material isótropo, esto se expresa mediante la ley de Hooke generalizada,

$$\sigma = (K - 2G/3)tr(\varepsilon)1 + 2G\varepsilon \qquad (4)$$

Donde (K, G) son los módulos elásticos de compresibilidad y corte respectivamente, 1 es el tensor identidad de 2° orden y ε es el tensor de deformaciones lineal. En impactos a velocidades medias, o incluso en ciertas configuración geométricas y velocidades bajas, se producen deformaciones plásticas en el material, así como grandes desplazamientos, rotaciones y de formaciones. Estos fenómenos originan un marcado carácter no lineal, faceta trascendental en la mayoría de los cálculos de impacto. La falta de espacio impide desarrollarlos adecuadamente aquí, por lo que se aconseja al lector revisar las referencias [4,6, 7, 8].

MÉTODOS DE CÁLCULO

Salvo métodos específicos de tipo analítico o semiempírico [1, 9, 10], validos solo para escenarios particulares, el cálculo de problemas de impacto debe realizarse mediante procedimientos numéricos que requieren una discretización en el espacio, mediante el método de los elementos finitos (MEF) o diferencias finitas (DF). En [8] se puede encontrar una excelente recopilación de los distintos procedimientos de cálculo para impacto. Considerando el caso de elementos finitos, y tomando como incógnitas los desplazamientos en cada punto u(X,t), se suele adoptar una aproximación de la forma:

$$\boldsymbol{u}(\boldsymbol{X},t)=\sum_{A=1}^{N}\boldsymbol{u}_A(t)N_A(\boldsymbol{X}), \tag{5}$$

Donde $u_A(t)$ son los desplazamientos nodales, incógnitas discretas a resolver en cada incremento de tiempo, y $N_A(X)$ son las funciones de forma que definen la interpolación espacial. La expresión anterior implica que ambas aproximaciones (temporal y espacial) se realizan de forma independiente, lo que se denomina semidiscretización [5, 12, 13].

El proceso de cálculo consiste en establecer primeramente un incremento de tiempo para avanzar la solución al instante

$$t_{n+1}=t_n+\Delta t_{n+\frac{1}{2}} \tag{6}$$

La discretización en el espacio se realiza en primer lugar mediante MEF o DF, convirtiendo las ecuaciones en derivadas parciales (EDP) en un conjunto de N ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO). Estas se resuelven a continuación mediante un método directo de integración en el tiempo, bien explícito o implícito.

DISCRETIZACIÓN ESPACIAL

Mientras que para los problemas de dinámica estructural (velocidades de impacto bajas) es más común el empleo de MEF [5, 4], para los problemas de propagación de ondas de choque hidrodinámicos es más común el empleo de DF [14].

En los modelos de elementos finitos pueden emplearse elementos estructurales, tales como vigas o laminas, que incorporan hipótesis cinemáticas como la obligación de secciones planas. Este tipo de elementos solo se pueden aplicar en impactos a velocidades bajas, o bien fuera de la zona de impacto para una evaluación global de la dinámica estructural.

CÁLCULO DE ENERGÍA DE ATRAQUE Y ENERGÍA ABSORBIDA POR LAS DEFENSAS Y FUERZAS EXTERNAS

El cálculo de energía de atraque provine de los criterios de diseño y selección de defensas

marinas, método establecido en [3], en los que los criterios impulsivos, velocidad de atraque del buque punto de atraque, factores de excentricidad, factores de corrección angular, energía absorbida por las defensas, y rendimiento de las mismas son considerados. A continuación presentamos las formulas y consideraciones de la energía y fuerzas externas sobre una defensa.

DESPLAZAMIENTO

El peso del buque y/o artefacto naval es de suma importancia en la estimación de energía de atraque. El peso del buque, es decir, el desplazamiento que se toma en cuenta es el desplazamiento en condición de atraque Δ_1 (al llegar al puerto y realizar labores de estiba y desestiba), generalmente el desplazamiento a plena carga, cundo los buques atracan en lastre se considera el peso en rosca más un adicional del 0.33% por condiciones de lastrado según lo indica [3], para muelle habilitado en varadero.

EFECTOS DE AGUA CIRCUNDANTE

El agua circundante al buque actúa empujando al buque hacia el muelle de atraque. Por tanto calculamos la energía de atraque adicionado una masa de agua al actual peso del barco. Esta puede ser calculada por la fórmula de Stelson Mavils:

$$W_2 = 1/4[\rho L D^2 \pi] \quad \text{(ton)} \qquad (7)$$

Donde ρ es la densidad del agua circundante (ton /m^3), L y D la eslora y el puntal respectivamente en m. En caso de atraque por proa o popa la eslora es reemplazada por la manga del buque y/o artefacto naval, esta masa de agua se añadirá a Δ_1.

FACTOR DE MASA (C_M)

Es un coeficiente que expresa la relación de la masa del barco (desplazamiento más el adicional del agua circundante) con la masa del buque. B.F. Saurin ha determinado experimental mente en Finnart, Escocia que el valor C_M es 1,3.El peso estimado del buque seria:

$$\Delta_f = 1.3\Delta_1 \quad (8)$$

Donde Δ_f es el desplazamiento para el cálculo de energía de atraque, y Δ_1 es el desplazamiento en condición de atraque.

COEFICIENTE HIDRODINÁMICO (C_H)

De acuerdo a Vasco Costa, el coeficiente hidrodinámico C_H puede ser calculado por:

$$C_H = 1 + 2\ D/B \quad (9)$$

Donde B y D son la manga y el puntal respectivamente en m.

VELOCIDAD DE ATRAQUE

La velocidad de atraque es determinado por medición o por valores previamente obtenidos considerando tamaño y condiciones de carga del barco, ubicación y estructura para facilitar el atraque, condiciones meteorológicas y marinas, presencia de sus remolcadores y sus tamaños, etc. Generalmente la velocidad de atraque para buques pequeños es de 0.1 a 0.3 m/s; y para buques medianos es menor a 0.2 m/s. Cuando se realiza atraque con remolcadores la velocidad de atraque varia de 0.1 – 0.15 m/s, según lo indica [3].

Existe la posibilidad de que se produzca allisiones con mayores velocidades como 1.1 m/s en barcazas pertenecientes a convoy, debido a las maniobras y errores en operación, en nuestro caso de estudio tomaremos la velocidad de 1.1 m/s.

FACTOR DE EXCENTRICIDAD Y PUNTO DE ATRAQUE

Al producirse un impacto, atracando pro proa o popa, formando cierto ángulo con el muelle, el barco gira simultáneamente en el punto de contacto disipándose cierta parte de la energía original. Por esta razón, la energía cinética total del buque es consumida parcialmente en el giro; y la energía remanente E es transmitida a la defensa, siendo esta la energía disipada por la

defensa. Para obtener esta energía se introduce el factor de excentricidad.

FACTOR DE EXCENTRICIDAD (K,C_E)

Si se considera la superficie del buque como una elipse alargada o un rectángulo, el radio de giro viene a ser 1/4 de L. Además como el atraque en el llamado "punto de atraque a 1/4L" es el más frecuente, el valor de k se considera 0.5.Para puntos diferentes el valor de k se obtiene mediante tablas [3].

$$K= 1/(1+ r^2) \quad (10)$$

El factor de excentricidad C_E, se toma referencia al vector velocidad del barco y se calcula en función a la siguiente formula, o en tablas:

$$C_E = (r^2 + m^2 \, Cos^2\Phi)/ (r^2 + m^2) \quad (11)$$

Donde r es el radio de giro alrededor del eje vertical en el plano horizontal del centro de gravedad, m distancia desde el centro de gravedad al punto de atraque y Φ ángulo entre m y el vector velocidad del barco.

FACTOR DE DEFORMACIÓN DEL CASCO (C_S)

Toma en cuenta la disipación de energía mediante la deformación elástica del casco de la embarcación, representa una relación entre la rigidez del buque y la defensa, la cual a su vez representa una relación de energía absorbida por el barco y la absorbida por la defensa. Generalmente se toma 0.9, pero si se desea mayor seguridad se toma 0.95.

FACTOR DE REFLEXIÓN HIDRODINÁMICA O DE CONFIGURACIÓN (C_C)

Expresa el efecto de la masa de agua circundante al movimiento del buque que puede reflejarse

por oposición de estructura portuaria al desplazamiento de la masa de agua circundante. Si la estructura permite el paso de la masa liquida si ofrecer resistencia toda la masa se considerará en el cálculo pero si la estructura portuaria ofrece resistencia se descontara una fracción a la masa de agua. C_C varía dependiendo del tipo de muelle, 1 para muelle abierto, 0.9 para muelle semi-cerrado y 0.8 para muelle cerrado.

ENERGÍA DE ATRAQUE

Se calcula de acuerdo a los factores y coeficientes considerados anteriormente, como se muestra a continuación:

$$E = \frac{\Delta_f V^2 K}{2g} \quad (12)$$

$$E = \frac{\Delta_1 {V_n}^2 C_E C_H C_S C_C}{2g} \quad (13)$$

$$E = \frac{\Delta_1 V^2 C_M C_E C_S C_C}{2g} \quad (14)$$

Donde V es la velocidad de atraque y Vn velocidad de traslación normal al muelle en m/s.
En algunos casos, en la fórmula 14, puede despreciarse C_C.

EFECTO ANGULAR

En un acercamiento angular se debe considerar las deflexiones no uniformes y la perdida de energía del sistema.
El ángulo de aproximación del buque es el ángulo entre el casco y la estructura de atraque, y no debe ser confundida con la dirección del movimiento del buque.
De acuerdo a resultados obtenidos en levantamiento de campo (planimetría) el ángulo de atraque es menor a 3° y máximo de 6° como máximo.

Para cada deflexión se obtiene un factor de corrección angular el cual es una medida de la fuerza de Reacción R y el valor de la energía absorbida E para cierto ángulo, dividida para el valor correspondiente para dicho ángulo. Para cada tipo de defensa existe una curva de corrección para la fuerza de reacción.

RENDIMIENTO EN ATRAQUE ANGULAR

Esta es determinada por los efectos angulares, se puede expresar de la siguiente forma:

$$E < E_A = E_n \, x \, F_{ae} \tag{15}$$

Donde E es la energía de atraque; Ea energía absorbida por compresión angular; En energía absorbida por compresión normal, y Fae es el factor de corrección angular.
Además, debe cumplirse que:

$$Rma > R_n \; y \, R_a \; (R_a = R_n \, x \, F_{ar}) \tag{16}$$

Donde Rma es la fuerza de reacción máxima admisible; Rn es la fuerza para compresión normal, Ra es la fuerza de reacción angular y Far es el factor de corrección angular.

OTROS CONSIDERACIONES

Debemos mencionar que las defensas pueden ser afectadas por las condiciones naturales como: el rango de marea, la fuerza del viento y la corriente de marea. Estando la nave amarrada, esta se encuentra sometida a acción combinada de estas fuerzas propias del lugar por lo que sufrirá estos efectos periódicamente.
El rango de marea puede cambiar el parámetro m, la corriente de marea es un factor influyente si el puerto no ha sido diseñado para eliminar estos efectos, la fuerza del viento puede causar daños por sobre compresión y la acción de las corrientes tiene un efecto dinámico de presión sobre la superficie transversales a la dirección de la corriente. Todas estas fuerzas son consideradas en por efecto de sobre compresión, las formulaciones se pueden apreciar en [15], por motivos de espacio se pide revisar las referencias.

6. MATERIAL Y MÉTODOS,

CONSIDERACIONES DEL ESTUDIO

Para realizar este estudio tendremos en consideración lo siguiente:

- El buque realizara un atraque en condición de allision cuyo punto de atraque estará estimado a ¼ de L de acuerdo a [3].
- Los adicionales por condiciones de lastrado, masa de agua, factor de forma y excentricidades consideradas en [3] serán tenidas en cuenta en el análisis.
- las fuerzas estimadas en base a la energía de atraque y externas es la misma, de acuerdo a la tercera ley de newton, que afectará al buque aunque se ha considerado las aproximaciones del marco teórico.
- las superficies de contacto crecen en función al tiempo por lo que al pasar el tiempo disminuye los esfuerzos, por tanto los mayores esfuerzos se darán el inicio y en un lapso de tiempo corto, estimado de acuerdo a [3].
- Debido a la infinidad de defensas que se pueden analizar, escogeremos la defensa tipo caucho, comúnmente usada en los puertos nacionales principales como base y ejemplo para los propósitos afines de este trabajo.
- La respuesta estructural analizada está en función a mallas lagrangianas y al método por elementos finitos, obteniéndose desplazamientos y esfuerzos.

DEFENSAS MARINA Y CASO DE ESTUDIO

El tipo de defensa marina seleccionada para este estudio es el modelo SCK 1700H RS de caucho NEOPRENO similar al usado en el artefacto naval del caso de estudio DB 909. Estos fueron seleccionados a partir del cálculo de energía de atraque. Se selecciona la defensa en base a un estudio preliminar de los buques cisterna que realizan labores de estiba y desestiba en el puerto.

El análisis en “el punto ¼” para el caso de estudio se hizo a una barcaza que colisionó con una velocidad de 1.1 m/s.

La fuerza absorbida en la defensa marina se ha obtenido considerando la energía de atraque estimada en su selección. Este es un método indirecto por lo cual primero calcularemos la

energía de absorción en condición de allision o en atraque, con ello se determina las fuerzas y se realiza el análisis. Para estimar la energía de atraque, las reacciones y demás, seguimos los lineamientos descritos en el marco teórico y que se visualizan en las tablas.

ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA DE ATRAQUE Y DE LAS FUERZAS ABSORBIDAS

De acuerdo a los lineamientos se ha estimado la energía absorbida y las reacciones para las consideraciones de estudio como se muestran en las tablas

TABLA 1.1 Energía de Atraque y Reacciones Angulares Estimadas - Defensa Portuaria

Informacion Preliminar			Resultados Obtenidos				
Buque de Atraque			**Energía estimada**			**Energia Angular Absorbida**	
BUQUE CISTERNA		[m]	**Considerando un 10% adicional**				
Desplazamiento Estimado	35000	[ton]	**Formula 12**	149.27	[ton-m]	En	149.3 [ton-m]
Velocidad de Atraque	0.2	m/s	**Formula 13**	145.61	[ton-m]	**Ea**	**146.3** [ton-m]
Punto de atraque	51.13	m	**Formula 14**	99.30	[ton-m]		
Factor de masa	1.43		**Efectos Angulares**			**Fuerzas Angulares Obtenidas**	
Coef. Hidrodinámico	1.39		**Tolerancia de la Energía y Reacción**				
Factor de Excentricidad (K)	0.5		**absorbidas**	15.00	%	Rn	198.5 [ton]
Factor de Excentricidad (CE)	0.7		**Angulo de atraque**	6.00	°	**Ra**	**201.9** [ton]
Factor de Suavidad	0.95		**Fact. De Correc. Fuerza de Reaccion**	1.02		**Rmax perm.**	220 [ton]
Factor de configuración	0.9		**Fact. De Correc. Energia de**	0.98			
			Deflexion de la defensa	55.00	%		

Tabla 1.2 Cuadro de Energias y Reacciones absorbidas para diferentes grados de Caucho - Defensa Portuaria

Rendimiento Normal	**Grado de Caucho**			
	RH	RS	**RE**	
En	124.9	144.1	**162.3**	[ton-m]
Rn	167.3	193	**217.4**	[ton]
Deflexion Nominal	52.5	52.5	**52.5**	%

TABLA 2.1 Energía de Atraque y Reacciones Anguales Estimadas para el Caso de Estudio

Informacion Preliminar			Resultados Obtenidos				
Buque de Atraque			**Energía estimada**			**Energia Angular Absorbida**	
Artefacto Naval			**Considerando un 10% adicional**				
Desplazamiento Estimado	2356	[ton]	**Formula 12**	98.59	[ton-m]	En	147.6 [ton-m]
Velocidad de Atraque	1.1	m/s	**Formula 13**	147.62	[ton-m]	**Ea**	**144.3** [ton-m]
Punto de atraque	19.00	m	**Formula 14**	131.13	[ton-m]		
Factor de masa	1.23		**Efectos Angulares**			**Fuerzas Angulares Obtenidas**	
Coef. Hidrodinámico	1.39		**Tolerancia de la Energía y Reacción**				
Factor de Excentricidad (K)	0.5		**absorbidas (+/ -)**	15.00	%	Rn 192.4	[ton]
Factor de Excentricidad (CE)	0.7		**Angulo de atraque**	6.00	°	**Ra** **196.1**	[ton]
Factor de Suavidad	0.95		**Fact. De Correc. Fuerza de Reaccion**	1.02		**Rmax perm.** 220	[ton]
Factor de configuración	0.9		**Fact. De Correc. Energia de absorción**	0.98			
			Deflexion de la defensa	55.00	%		

Tabla 2.2 Cuadro de Energías y Reacciones absorbidas para diferentes grados de Caucho - Caso de estudio

Rendimiento Normal	Grado de Caucho			
	RH	**RS**	**RE**	
En	132.2	**152.5**	**162.3**	[ton-m]
Rn	177.8	**205.2**	**217.4**	[ton]
Deflexion Nominal	55	**55**	**52.5**	%

Existe una aproximación de las fuerzas de colisión que nos servirá para criterio de comparación esta expresión se muestra en la tabla 3.1

TABLA 3.1 Calculo de Fuerza de Colisión (Según AASHTO LRFD 2004)

Velocidad de Colisión	=	1.1	[m/S]
Fuerza de Colisión Frontal	=	1.2x10^5Vx(DWT)^0.5 [N]	
	=	6407.10	[kN]
	=	640.71	[ton-m]
Fuerza de Colisión Angular (6°)	=	67.00	[ton-m]

Además consideramos estimar las fuerzas para el caso de sobre compresión, como se nuestra en la tabla 3.2

TABLA 3.2. Calculo de Fuerza de Externas por Efectos De Sobrecompresión

Energía Absorbida	=	144.3	[ton-m]
Reacción Ejercida	=	196.1	[ton]
Area Expuesta	=	266.0	[m^2]
Fuerza del viento	=	3317.6	[Kg]
Empuje Dinámico	=	17074.6	[Kg]
Empuje por Rozamiento	=	160.8	[Kg]
Fuerza de la Corriente	=	17235.4	[Kg]
Fuerza externa Total	=	20553.0	[Kg]
	=	20.6	[ton]

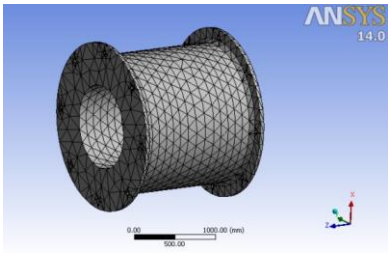
MODELO POR ELEMENTOS FINITOS

Presentamos el modelo realizado en ANSYS de la defensa marina del caso de estudio.

TABLA 4.1 Descripcion de la Defensa Marina Tipo Super cell Fender

Información de del modelo en ANSYS

TIPO DE FENDER	CELL FENDER
SUPER CELL FENDER	SCK 1700H
TIPO DE MESH	3D
TIPO DE ELEMENTO	TETAHEDRAL
N° DE NODOS	11611
N°DE ELEMENTOS	6181
MATERIAL	CAUCHO NEOPRENO



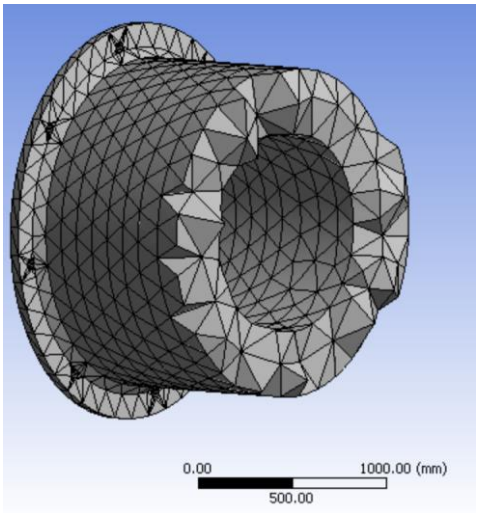


Figura 1. Malla del modelo SUC 1700 H

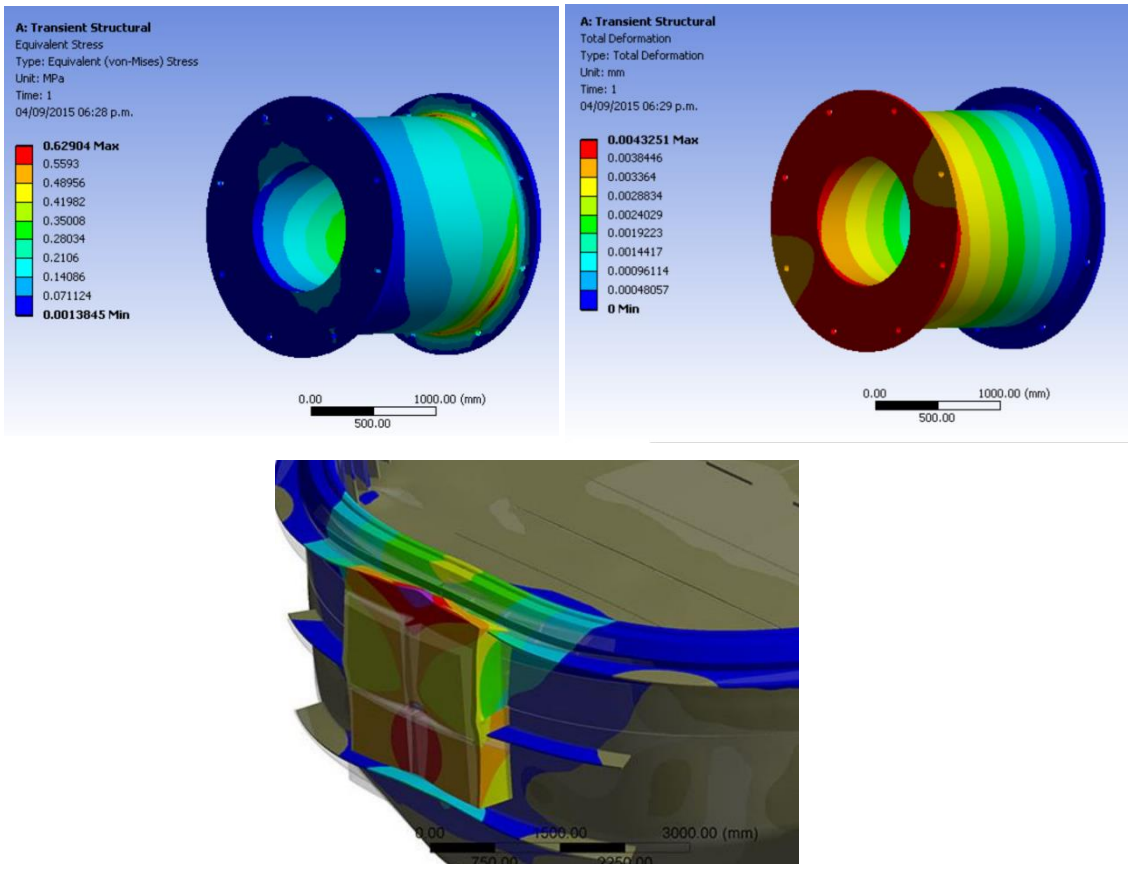


Figura 2. Deformaciones y Esfuerzos del modelo SUC 1700 H



Figura 3. Barcaza y energía Disipada en el tiempo

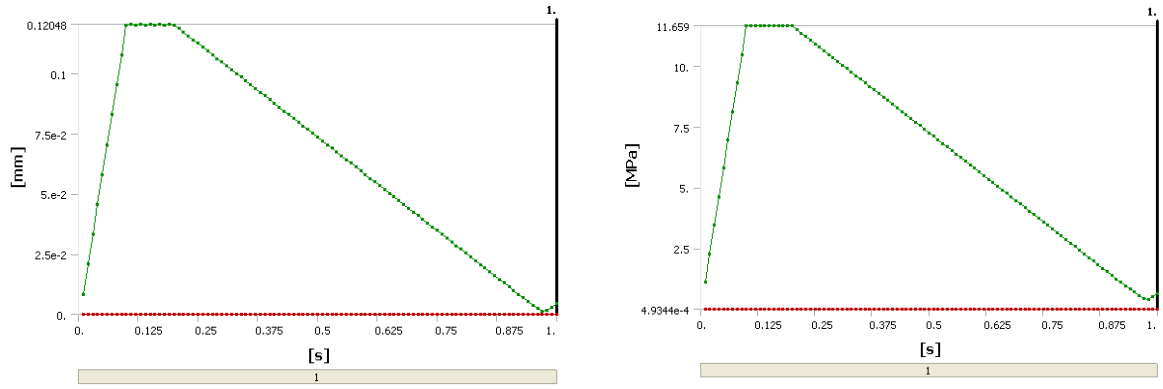


Figura 4. Diagramas de esfuerzos y deformaciones en el tiempo

7. RESULTADOS OBTENIDOS

Presentamos el resumen de los esfuerzos y deformaciones obtenidas en el caso de estudio.

Tabla 5. Resultados Obtenidos

		Fuerza Max. aplicada (kN)		
		1961	2019	6407.1
Fender Material	Esfuerzo Max. (Mpa)	0.62904	0.62904	0.62904
SUC 1700 H	Esfuerzo Min. (Mpa)	0.00138	0.00138	0.00138
Neopreno	Deformación Max. (mm)	0.0043	0.0043	0.0043
Tiempo 1 s	Deformación Min. (mm)	0	0	0

Como se puede apreciar la tabla 5 y 6 son muy parecidas debido a que se seleccionó Fender de un similar material, a pesar de que eran dos modelos distintos y de diseñados bajo consideraciones particulares.

Tabla 6. Resultados Obtenidos

		Fuerza Max. aplicada (kN)		
		1961	2019	6407.1
Barge Fender Material	Esfuerzo Max. (Mpa)	0.63	0.63	0.63
Caucho DB909	Esfuerzo Min. (Mpa)	0.0014	0.00148	0.0015
Neopreno	Deformación Max. (mm)	0.0041	0.0042	0.0043
Tiempo 1 s	Deformación Min. (mm)	0	0	0

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con este estudio podemos entender el funcionamiento y propósito de las defensas marinas tanto para las estructuras portuarias como para los buques, lo cual es fundamental para analizar los efectos de estas colisiones y allisiones en las defensas marinas, defensas diseñadas para resistir estos impactos localizados salvaguardando las estructuras portuarias y buques.
Luego de observar los casos y las simulaciones escoger un material en el diseño de la Fender es de suma importancia, la cantidad de energía absorbida depende tanto de la deflexión y delas propiedades del material.

El punto de atraque a ¼ L crea mayores esfuerzos en la base. El medio de fijación soporta estos esfuerzos, puesto que la componente angular en el atraque causa sobreesfuerzos en los medios de anclaje, lo que puede ocasionar el desprendimiento típico tanto de los buques como el de las estructuras portuarias.

Aunque no se ha analizado las deformaciones en la placa, sus esfuerzos, las presiones superficiales en la placa puesta en la defensa marina ni las sobre compresiones en el sistema de anclaje a muelle con los datos se ha podido verificar que el rango de presión superficial corresponde al propuesto estadístico que se muestra en [15] que establece que la presión para Super Cell Fender varía entre 10-50 ton/m^2.

9. CONCLUSIONES,

Mejorar y realizar un correcto diseño de un defensa implica saber cómo se comportan y cuál es su respuesta estructural, lo que permitiría optimizarla, mejorarla o reemplazarla. Por lo que un análisis estructural sería adecuado si queremos disminuir y en su medida salvaguardar de los efectos desastrosos de ocurrir un impacto de este tipo, en este estudio se ha visto diversos parámetros que nos llevan a considerar los diseños y realizar mayores estudios en un futuro.

Analizar el comportamiento de las defensas al ser sometidos a impactos es el punto focal de este trabajo por ello se ha analizado las deformaciones en el tiempo que se produce en las

defensas, la energía disipada como consecuencia de ella, la excentricidad del impacto (caso más frecuente), la variación de esfuerzos y deformaciones en los sistemas aquí presentados, revelan se debe tener en cuenta si se quisiera modelar u optimizar una mejor defensa marina o Fender, tanto la colisión frontal, el atraque angular y la sobre compresión que puedan ocurrir en los buques y estructuras portuarias.

Seleccionar una defensa de caucho para buques o una defensa marina en puertos requiere conocer las características del puerto y de los buques que realizan actividades de estiba y desestiba, así como las maniobras y peligros que devienen de estos. Los buques que no cuentan con una defensa sea de caucho u otro material están expuestos a fuerzas del orden desde hasta miles cientos de kN lo que supone deformaciones permanentes en el casco, como se ha mostrado en este trabajo.

Las colisiones de embarcaciones o artefactos navales menores, dependiendo de la velocidad, pueden ocasionar esfuerzos tan iguales o mayores que los provocados por embarcaciones de mediano y alto porte como se ha analizado en este trabajo.

Variar la forma de la defensa, el espesor, el material, el sistema de anclaje, etc., son puntos focales de atención en las defensas marinas por ello las optimizaciones en los últimos años se vienen dando en esos puntos, para el caso estudiado, se puede notar la trascendencia de la concentración los esfuerzos y las deformaciones.

Queda de manos del lector profundizar los resultados y los modelos aquí presentados para desarrollar mejores y más eficientes medios de protección, de acuerdo a los objetivos trazados y la finalidad del trabajo esperamos haber aportado nuestra cuota.

10. BIBLIOGRAFÍA & REFERENCIAS

[1] J. M. Goicolea. Mecánica. Colección Escuelas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 1995

[2] R. M. Brach. Mechanical Impact Dynamics. John Wiley, 1991.

[3] Guidelines For The Designe Of Fender System, 2002

[4] T. Belytschko y T. J. Hughes, editores. Computational Methods for Transient Analysis.

North-Holland, Amsterdam, 1983.

[5] J. Donea, editor. Advanced Structural Dynamics. Applied Science Publishers, London, 1978.

[6] J. C. Simó y T. J. Hughes. Computational Inelasticity. Springer, New York, 1998.

[7] J. M. Goicolea. Análisis termo mecánico no lineal mediante métodos explícitos de diferencias finitas y elementos finitos. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 8 (3):235–265, 1992.

[8] D. J. Benson. Computational methods in lagrangian and eulerian hydrocodes. Computer Methods in Applied mechanics and Engineering, 99(2–3):235–394, 1992.

[9] J. A. Zukas et al., editores. Impact Dynamics. John Wiley, New York, 1982.

[10] J. A. Zukas, editor. High Velocity Impact Dynamics. John Wiley, New York, 1990

[11] M. E. Backman y W. Goldsmith. The mechanics of penetration of projectiles into targets. Int. Journal of Engineering Science, 16:1–99, 1978.

[12] T. Belytschko. An overview of semidiscretization and time integration procedures. En Belytschko y Hughes [4], capítulo 1.

[13] J. M. Goicolea. Análisis termo mecánico no lineal mediante métodos explícitos de diferencias finitas y elementos finitos. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 8(3):235–265, 1992.

[14] J. A. Zukas. Survey of computer codes for impact simulation. [15] C.F. Ortiz Ingeniería Portuaria 2001.

Análise de resistência hidrodinâmica em uma embarcação utilizando dois diferentes softwares: COMSOL e ANSYS

Ricciardo S. Cei
ricciardocei@gmail.com

Gabriel O. Bemerguy
gabrielbemerguy2@gmail.com

Gabriel J. Ohana
eng.nav.ohana@gmail.com

Edelson Luz
edelson_81@hotmail.com

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE BRAZ DE AGUIAR
Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante. Curso de Náutica

RESUMO

O objetivo deste artigo é quantificar e analisar as resistências hidrodinâmicas que atuam sobre o casco de uma embarcação, utilizando dois diferentes softwares: COMSOL e ANSYS, comparando seus resultados. Para tal, torna-se indispensável compreender conceitos da Física e Hidrodinâmica aplicada a navios, que explica a perda de diversas parcelas de energia inicial gerada no motor de combustão principal da embarcação, até chegarmos à propulsão propriamente dita. Vale ressaltar também que cada tipo e projeto de navio possui características específicas, tais como o formato do casco, a quantidade de carga que o navio está transportando, sua necessidade de ser veloz ou não, as especificidades das regiões onde a embarcação navegará, entre tantas outras peculiaridades. Apesar de tudo isto, os princípios físicos e hidrodinâmicos atuam de forma extremamente semelhante sobre a embarcação. Quantificando a forma como eles ocorrem, é possível entender e criar, de forma objetiva, alternativas para as perdas de energia devido a atuação das forças hidrodinâmicas. Paralelamente, comparando os resultados dos dois softwares empregados, verificaremos a eficiência dos cálculos acima descritos.

Palavras – chave: Resistências, hidrodinâmica, energia.

1- INTRODUÇÃO

O uso de métodos computacionais para o cálculo de resistências nos cascos de navios se tornou bastante comum a partir da evolução de softwares que permitem tais análises. Os chamados métodos CFD (Computational Fluid Dynamics) permitiram o avanço de teses nesse campo de pesquisa, assim como a abertura de um leque de possibilidades e aspectos a serem observados.

Com uma proximidade incrível do que acontece na realidade, a simulação de multifísica em computadores, iniciada com as primeiras análises digitais por volta da década de 1960, com o avanço dos primeiros supercomputadores, passou a crescer com a necessidade do homem de entender melhor o comportamento de fluidos em torno de superfícies; neste caso, aplicado a navios.

Como uma alternativa a testes em tanques de prova, por oferecer resultados satisfatórios em uma menor quantidade de custo/tempo, os métodos CFD também se mostram eficientes por sua versatilidade, permitindo alterações de formas e condições de casco e fluido de acordo com o que se deseja alcançar.

Neste estudo, foram utilizados dois *softwares* capazes de simular dados extremamente próximos da realidade, sendo um deles, atualmente, referência para os estudos da área naval, uma vez que a veracidade dos métodos CFD é conhecida. Esta comparação visa mostrar os resultados do escoamento de fluido ao redor do casco de dada embarcação, ressaltando as semelhanças e diferenças de método e as peculiaridades de cada *software*.

2- OBJETIVOS

Este trabalho visa comparar os resultados da análise de escoamento de fluidos através do casco do *Super Iatch Lady Priscilla*, utilizando os dados obtidos no software ANSYS 11, em trabalho desenvolvido anteriormente, com os resultados mostrados pelo *software* COMSOL 5.0, utilizando, em ambos os casos, a mesma geometria do casco e do fluido, com as mesmas condições físicas e utilizando o mesmo modelo de turbulência.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

3.1- Softwares utilizados

Para a realização deste trabalho, foram utilizados os *softwares* COMSOL 5.0, com condições e dados tão semelhantes quanto possíveis aos aplicadas no *software* ANSYS 11, visando

comparar seus resultados com o máximo de veracidade. Para tal, utilizou-se como ferramenta o CFD (*Computacional Fluid* Dinamics), desenvolvido e aprimorado nas últimas décadas, permitindo a obtenção de resultados extremamente fiéis à realidade. Um caso de sucesso desta ferramenta é relatada por VOXALKIS, 2012:

"In the late 1970s supercomputers were used to solve aerodynamic problems. HiMAT (Highly Maneuverable Aircraft Technology) was an experimental NASA aircraft designed to test concepts of high maneuverability for the next generation of fighter planes. Wind tunnel tests of a preliminary design for HiMAT showed that it would have unacceptable drag at speeds around the speed of sound. Redesigning and retesting it would have cost $150,000 and delayed the project unacceptably. The wing was redesigned by a computer at a $6,000 cost" (VOXALKIS, 2012).

Outro fator relevante acerca do CFD é a resolução de cálculos complexos em velocidade muito maior do que se fossem analiticamente, gerando economia de esforço físico, mental e de tempo.

3.2- Métodos Numéricos nos softwares COMSOL 5.0 e ANSYS 11

Ao trabalhar com dois softwares distintos para a resolução de problemas, deparou-se também com dois métodos numéricos diferentes chamados de Métodos de Discretização. Ao falar de COMSOL e ANSYS, é preciso entender um pouco da forma que ambos utilizam pra solucionar problemas. O ANSYS trabalha com o Método de Volumes Finitos (MVF), que dentre as técnicas de CFD, é a melhor estabelecida, segundo Luiz F. (2007). O MVF nada mais é do que a redução do campo de estudo em subdomínios para que fique mais viável a descoberta de soluções para ele. Após a redução nesses subdomínios, é feita a aplicação de equações diferenciais por meio da integração em cada volume. Essa redução a subdomínios exige uma técnica para poder aproximar os campos de suas variáveis, é nesse detalhe que o MVF se destaca com uma boa precisão

Por outro lado, o COMSOL utiliza o Método de Elementos Finitos (MEF). Esse método, diferentemente do MVF, utiliza equações simples para o cálculo de variáveis dentro de cada elemento. Ao ser retirada do elemento do qual faz parte, essa função será nula. Após fazerem as aproximações para as variáveis, se essas equações forem introduzidas nas equações de transporte, elas passam a apresentar erros, os quais podem ser utilizados para se medir a margem de erro da solução ao fazer as aproximações.

3.3- Equações Hidrodinâmicas Utilizadas

Os cálculos em CFD baseiam-se nas equações de Navier-Stokes que, segundo ZIGMANTAS e PORFÍRIO, são equações diferenciais utilizadas para descrever o comportamento de fluidos empregando um conjunto de equações diferenciais parciais de forma a determinar os campos de velocidade e de pressão dentro do seu escoamento. São elas:

3.3.1- Equação da Continuidade (Massa)

Essa equação é utilizada para representar a conservação de toda a massa de fluido, nesse caso a água, que entra e sai do sistema. Uma forma geral de expressar esse fenômeno é dada pela equação:

$$\frac{\partial}{\partial t}\rho + \boldsymbol{u}\nabla\rho + \rho\nabla\cdot\boldsymbol{u} \equiv \frac{D\rho}{Dt} + \rho\nabla\cdot\boldsymbol{u} = 0$$

Sabendo que a massa se conserva, pode-se calcular as mudanças de velocidade sofridas pelo fluido em questão. Pelo fato de a água ser um fluido incompressível, ou seja, a relação entre o volume ocupado e sua massa é sempre constante, conforme MELO e NETO (1991), expressa-se a conservação da massa pela condição de o divergente do campo de velocidades ser nulo. Assim, a equação de continuidade passa a ter o seguinte aspecto:

$$\nabla\cdot\boldsymbol{u} = 0$$

Vale ressaltar que esse é um caso particular para fluidos nos quais a densidade se mantém constante.

3.3.2- Equação da Quantidade de movimento

De uma maneira geral, a quantidade de movimento de um fluido é dada pela resultante de todas as forças que atuam sobre este fluido. Utilizando-se da Segunda Lei de Newton na mecânica clássica, obtém-se uma avaliação para a variação ao longo do tempo da quantidade de movimento dentro do volume de controle e uma outra avaliação para a quantidade de movimento na entrada e saída da superfície de controle:

$\rho\frac{D\boldsymbol{u}}{Dt} = \rho\vec{g} - \vec{\nabla}\mathrm{p} + \mu[\nabla^2\boldsymbol{u} + \frac{1}{3}\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\boldsymbol{u})]$, para fluidos compressíveis.

Esta é a equação na forma vetorial para fluidos incompressíveis (μ=cte.), onde $\boldsymbol{u}$ é a velocidade, ρ a densidade e p a pressão no ponto de análise.

Quando o fluido é incompressível, temos: $\vec{\nabla} \cdot \boldsymbol{u} = 0$, resultando em:

$$\rho \frac{D\boldsymbol{u}}{Dt} = \rho \vec{g} - \vec{\nabla} \mathrm{p} + \mu \nabla^2 \boldsymbol{u}$$

Chegando-se a conclusão que, se o sistema é isolado e suas forças internas não são dissipativas, então ele terá sua quantidade de movimento conservada.

Analisando a presença da água na interação, pelo fato da mesma ser incompressível, com viscosidade constante, ocorre o surgimento de alguns fatores de extrema importância para entender o comportamento do fluido. São eles: força atuante sobre o líquido (gravitacional, na maioria das vezes), a pressão local e, por último, a viscosidade local à superfície.

3.4- Modelo de turbulência K-ε

A análise do escoamento do fluido foi calculada utilizando-se o modelo K-ε em ambos os casos. Esta é uma das formas de se resolver as Equações de Navier Stokes, requerendo uma discretização numérica da Equação de Conservação de Movimento (VOXALKIS 2003), inserindo um termo de viscosidade turbulenta na equação. Assim, o modelo K-ε soluciona a equação para duas variáveis: K, sendo a energia cinética turbulenta e ε, a taxa de dissipação da energia cinética do fluido, sendo este modelo eficiente na resolução de problemas de escoamento de fluidos ao redor de geometrias complexas (FREI, 2013).

3.5- Geometria Utilizada

Neste trabalho, foi utilizado a geometria do casco do *Super Iatch Lady Priscilla*, que possui 50,2 metros de comprimento, 9 metros de boca moldada e 2,51m de calado quando em condição de carga plena, dimensão utilizada nesta geometria, ao invés do pontal. Importou-se o modelo previamente gerado através do *software* Rhinoceros, sendo exatamente o mesmo arquivo utilizado na análise de escoamento de fluidos no casco desta embarcação em trabalho anterior (OHANA, 2010), que utilizou o *software* ANSYS 11. Este mesmo arquivo também dimensiona as medidas do fluido, sendo, neste caso, água doce. Assim, sendo "L" o comprimento da

embarcação, tem-se L à vante da embarcação, L sendo a profundidade do fluido, 4L sua largura e 4L à ré da embarcação conforme mostra a **figura 1:**

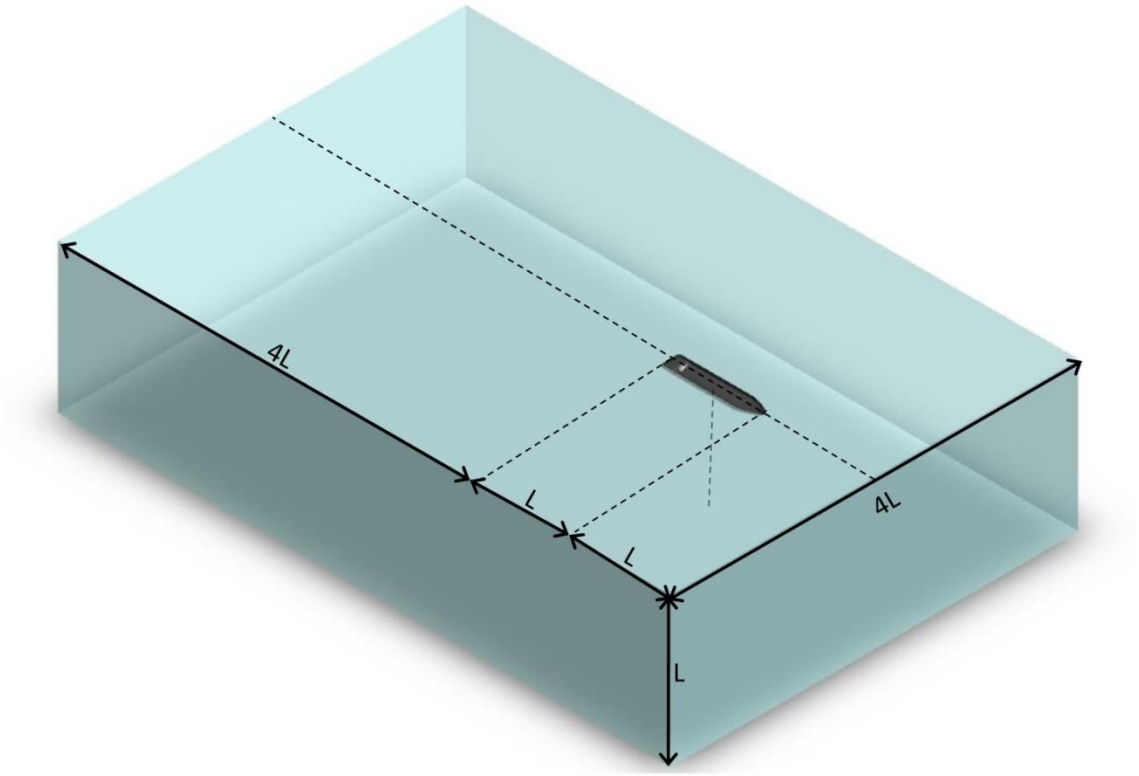


Figura 1

Estas dimensões foram utilizadas visando a simulação do escoamento livre em um fluido de grandes dimensões, evitando problemas relativos a turbulência que surgiriam caso as dimensões do fluido fossem pequenas.

3.6- Condições de Contorno e Fenômeno Estudado

Para efetuar uma análise empregando-se o CFD, é necessário estabelecer condições de contorno, simplificando e estabelecendo os limites para os cálculos computacionais. Resultados idênticos são obtidos se consideramos o fluido parado e o casco da embarcação movendo-se para frente ou se o casco estiver sempre na mesma posição enquanto o fluido escoa para no sentido proa-popa, desde que em ambos os casos, adotemos a mesma velocidade no movimento dos corpos envolvidos. O segundo caso caracteriza o Princípio da Inversão de Movimento, adotado neste trabalho. As condições de contorno aplicadas correspondem à **tabela 1**:

Face	Propriedades de Contorno	Observações
Casco	Parede	Sem deslizamento (provoca atrito)
Face Anterior	Entrada de fluido	Velocidade de 8,231 m/s (equivalente a 16 nós)
Face Posterior	Saída de fluido	Velocidade de 8,231 m/s (equivalente a 16 nós)
Superfície do Fluido	Parede	Escoamento livre
Fundo do Fluido	Parede	Escoamento livre
Face de Bombordo	Parede	Escoamento livre
Face de Boreste	Parede	Escoamento livre

Tabela 1

O fenômeno avaliado neste trabalho é a análise de comportamento do escoamento de fluido através do casco da embarcação *Super Iatch Lady Priscilla*, fundamental para determinar as forças de resistência ao avanço e variações de velocidade e pressão do fluido, à medida em que interage com o casco, fatores de grande importância na determinação do sistema propulsivo, definindo a quantidade de propulsores, sua posição e outras características. No caso desta embarcação, o projeto elaborado determinou a utilização de propulsão Hidro-jato como sendo a mais eficiente.

3.7- Malha

A criação e refinamento de malha sobre os domínios e faces da geometria visam dividi-la em partes menores, discretizando os domínios estudados em determinado número de elementos, variável em função do grau de refinamento de malha, da geometria escolhida para moldá-la e do poder de processamento do computador utilizado. Usualmente, em CFD, é utilizada a geometria de malha tetraédrica, pelo fato de possuir flexibilidade em se ajustar a domínios complicados e a facilidade em refinar ou de se reduzir o refinamento da malha (BERN, PLASSMAN, 1997), facilitando a geração de uma malha adequada para a simulação da física empregada.

Em trabalho anterior, utilizando-se o *software* ANSYS 11, foi criada uma malha tetraédrica em todo o domínio (casco e fluido). Após os devidos ajustes e o refinamento da malha, obtiveram-se 217198 elementos.

Quando aplicado ao COMSOL 5.0, gerou-se uma malha tetraédrica em todo o domínio, exceto em nas laterais superiores do casco, onde se criou uma malha triangular visando a redução do tempo computacional. A combinação destes dois tipos de malha resultou em e 60107 elementos. Na área da malha gerada sobre a superfície total do casco, constatou-se uma pequena diferença entre os *softwares*: no ANSYS 11, o valor calculado é de 549,07 m², enquanto que no COMSOL 5.0 o valor obtido foi de 548 m².

Abaixo, nas figuras 2 e 3, as malhas utilizadas em cada *software*:

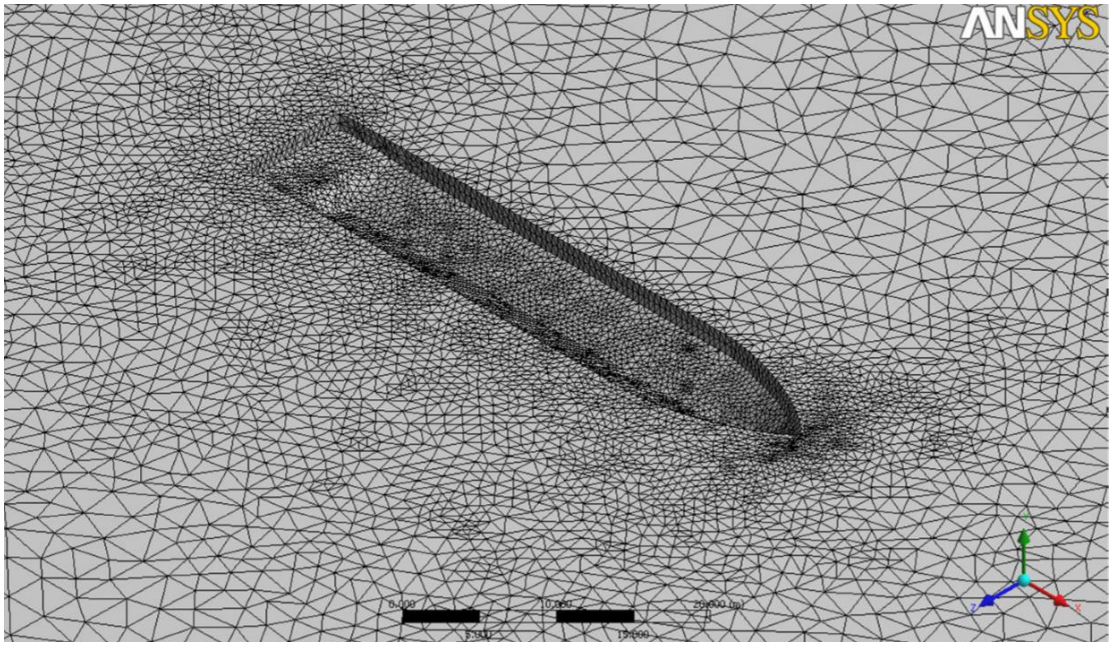


Figura 2: Malha obtida no ANSYS

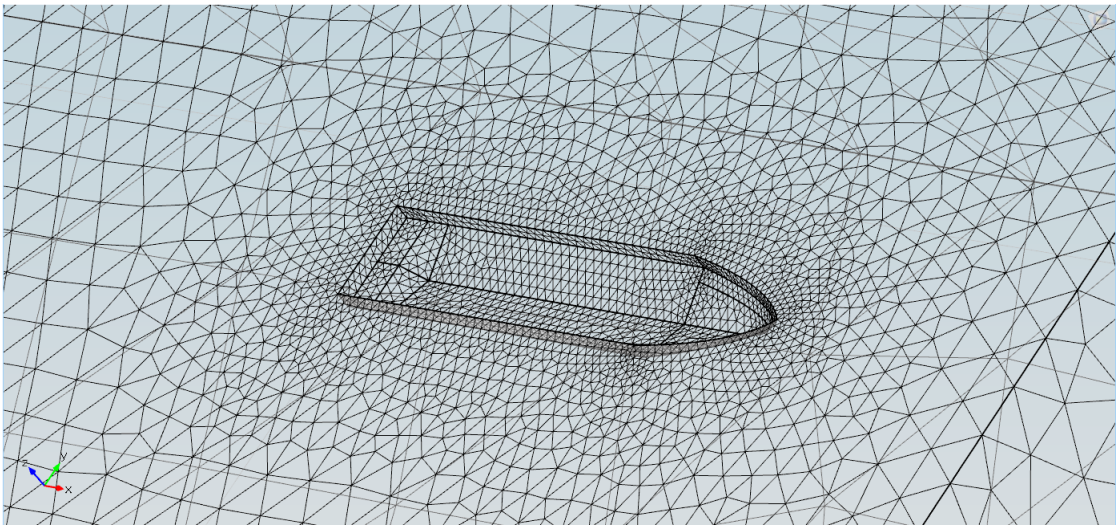


Figura 3: Malha obtida no COMSOL

Também, em ambos os casos, o fluido em questão é água doce, à 25ºC.

4- RESULTADOS

Os resultados obtidos na comparação entre os *softwares* COMSOL 5.0 e ANSYS 11 foram bem próximos, apesar da diferença de método aplicado para a resolução das equações hidrodinâmicas, tendo em vista que o primeiro trabalha com o Método dos Elementos Finitos, enquanto que o segundo emprega o Método dos Volumes Finitos.

Na análise 3D da velocidade de escoamento do fluido ao redor do casco, pode-se observar uma pequena diferença no valor máximo plotado: 9,25 m/s no COMSOL e 9,383 m/s no ANSYS (diferença de 1,42%). Na proa da embarcação, em ambos os *softwares*, observamos uma redução de velocidade do fluido, consequência do aumento de pressão gerado nesta região. No costado do casco, em decorrência de seu atrito com o fluido, notamos a redução de velocidade de escoamento. Na popa, a velocidade do fluido é nula em determinados pontos, aumentando gradualmente à medida em que se afasta do casco, em decorrência de sua interação com o restante da massa fluida. Nos dois *softwares* pudemos observar o aumento de velocidade nas bochechas da embarcação, fato evidenciado com ênfase no ANSYS. Neste mesmo software, na região de interseção das alhetas com a popa, observamos uma pequena região que sofre aumento de velocidade, fato não mostrado pelo COMSOL. Abaixo, nas figuras 4 e 5, a comparação de velocidade de escoamento na íntegra, com resultados plotados em 3D:

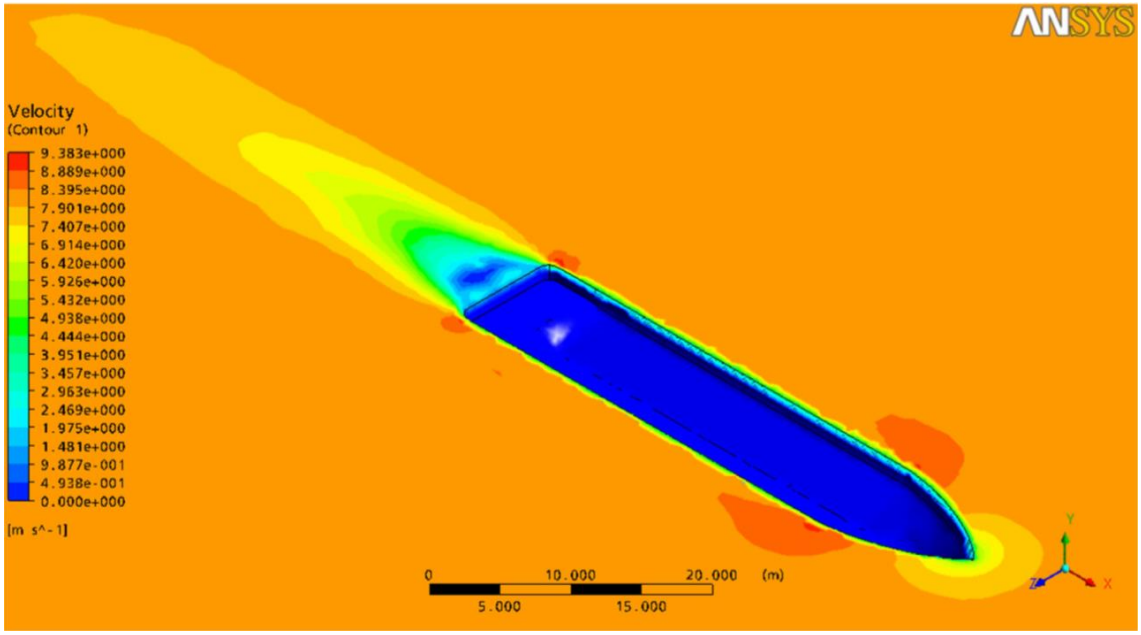


Figura 4 – Velocidade do Fluido (ANSYS)

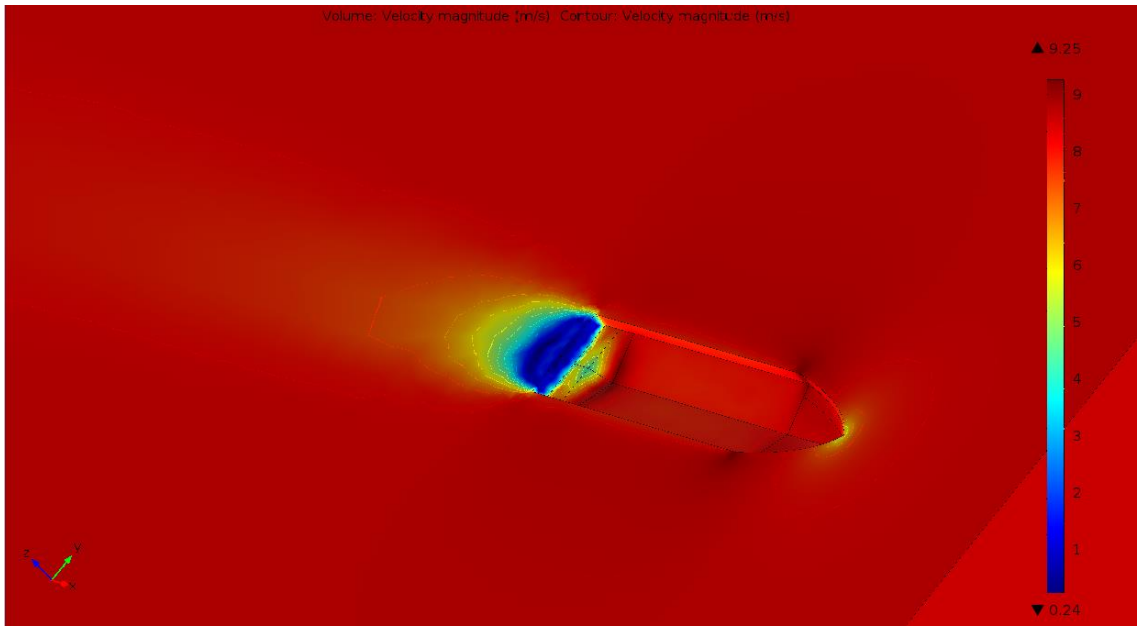


Figura 5 – Velocidade do Fluido (COMSOL)

Na análise de pressão ao redor do casco, se obteve um pico de 2,557 x 10^4 no ANSYS e 2,61 x 10^4 no COMSOL (diferença de 2,03%) e valores mínimos de -2,697 x 10^4 e -2,2 x 10^4, respectivamente (diferença de 18,43%), sendo esta pressão negativa decorrente do referencial de pressão adotado no escoamento do fluido, sendo 0 para a velocidade de 16 nós. Os valores negativos, portanto, não são absolutos, mas relativos.

Os campos de pressão apresentam formatos similares quando comparados entre os *softwares* em questão, sendo na popa da embarcação, melhor discretizado pelo COMSOL. Na parte inferior do casco, na região da proa, se observa uma variação de pressão mais uniforme e gradual neste mesmo *software*. Abaixo, nas figuras 6 e 7, a comparação de pressão do fluido decorrente de seu escoamento, com resultados plotados em 3D:

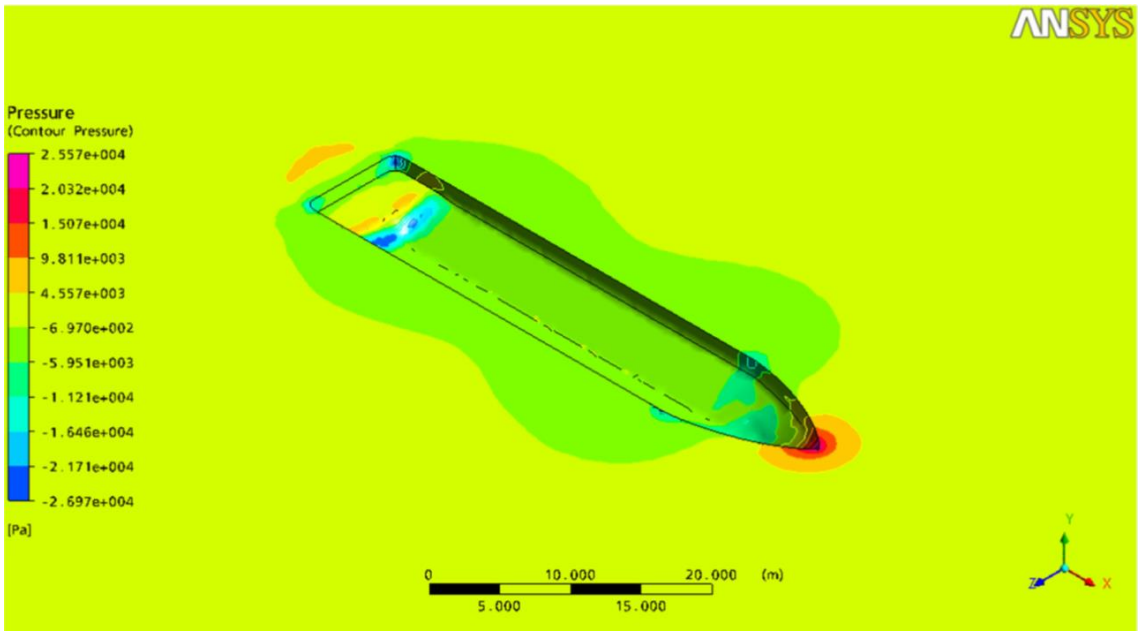


Figura 6 – Pressão do Fluido (ANSYS)

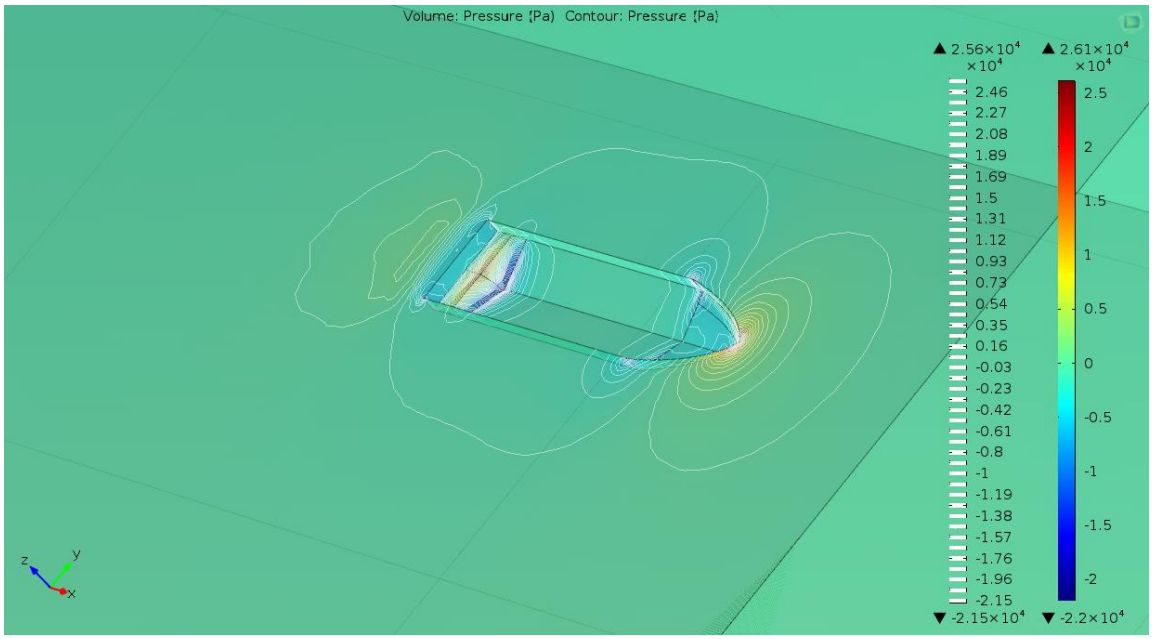


Figura 7 – Pressão do Fluido (COMSOL)

5- CONCLUSÃO

Os softwares COMSOL e ANSYS, apesar de utilizarem métodos numéricos diferentes (Método dos Elementos Finitos e Método dos Volumes Finitos, respectivamente), simulam o escoamento turbulento de fluidos ao redor de um casco apresentando resultados bem semelhantes: há uma leve diferença no pico dos valores de velocidade e de pressão entre os *softwares*. Apesar disso, os valores em muitos pontos ao redor do casco são parecidos, bem como os gradientes de velocidade e de pressão, em ambos os casos. Porém, no *software* ANSYS, nas laterais da popa da embarcação, é possível notar pontos de aumento da velocidade de escoamento, fato não perceptível no COMSOL.

Apesar da diferença notável do número de elementos gerados, os resultados continuam parecidos, tendo em vista que na análise feita com o *software* COMSOL, refinou-se apenas as regiões mais relevantes neste estudo, reduzindo o tempo computacional.

Em trabalhos futuros, é interessante fazer a comparação do escoamento turbulento de fluidos ao redor do casco de embarcações utilizando a técnica do CFD, comparando seus resultados com os de modelos de cascos previamente testados em tanque de provas, permitindo a análise de outros parâmetros, tal como a resistência ao avanço, entre diferentes *softwares*.

6- REFERÊNCIAS

VOXALKIS, Petros. Massachusetts Institute of Technology. SHIP HULL RESISTANCE CALCULATIONS USING CFD METHODS, 2012.

JACHOWSKI, Jacek. Gdańsk University of Technology. ASSESSMENT OF SHIP SQUAT IN SHALLOW WATER USING CFD, 2008.

BERN, Marshall; PLASSMANN, Paul. MESH GENERATION.

OHANA, Gabriel. Universidade Federal do Pará. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE UMA EMBARCAÇÃO DO TIPO IATE E APLICAÇÃO DO MÉTODO DE VOLUMES FINITOS PARA PREDIZER A RESISTÊNCIA AO AVANÇO. 2010.

ZIENKIEWICZ, O.C.; TAYLOR, R.L. THE FINITE ELEMENT METHOD VOLUME 3: FLUID DYNAMICS, 2000.

FREI, Walter. COMSOL Blog. WHICH TURBULENCE MODEL SHOULD I CHOOSE FOR MY CFD APPLICATION? Disponível em: <http://www.comsol.com/blogs/which-turbulence-model-should-choose-cfd-application/>, 2013.

F, Luiz. Notas em CFD. COMEÇANDO A ENTENDER O MÉTODO DOS VOLUMES FINITOS. Disponível em <http://www.notasemcfd.com/2008/01/comeando-entender-o-mtodo-dos-volumes.html>, 2008.

F, Luiz. Notas em CFD. O CORAÇÃO DE CFD.

Disponível em <http://www.notasemcfd.com/2007/07/o-corao-de-cfd.html>, 2007.

ZIGMANTAS, Paulo V; PORFÍRIO, Rogilson. Marinha do Brasil - Diretoria dos Portos e Costas. HIDRODINÂMICA DO NAVIO. 2010.

DÁVILA, Mendoza; RODRIGUEZ, Mestanza; CHIA, José; JOSÉ CARLOS, Villagómez. CALCULO DE RESISTENCIA AL AVANCE DE EMBARCACIONESUTILIZANDO HERRMAMIENTAS DE DINAMICA DE FLUIDO COMPUTACIONAL (CFD) EN EL CEHIDUNI, 2011.

EFUNDA. NAVIER STOKES EQUATIONS.

Disponível em: <http://www.efunda.com/formulae/fluids/navier_stokes.cfm>.

MELO, Severino Toscano; NETO, Francisco Moura. Instituto de Matemática Pura e Aplicada – 18º Colóquio Brasileiro de Matemática. MECÂNICA DOS FLUIDOS E EQUAÇÕES DIFERENCIAIS, 1991.

Problema de alocação de berços em terminais hidroviários

Paulo Vinícius Silva Brilhante
pvsbrilhante96@gmail.com
UEA-Universidade do Estado do Amazonas

Matheus Monteiro Campos
matheus.monteiro3@hotmail.com
UEA- Universidade do Estado do Amazonas

Marcelo Henrique Dibo Paes
marcelodibo@hotmail.com
UEA – Universidade do Estado do Amazonas

Eduardo R. Barreda del Campo
eduardoserapio@yahoo.com.br
UEA-Universidade do Estado do Amazonas

José Teixeira de A. Neto Santos
Teixeira.santos@intra.org.br
Intra – Instituto de Pesquisa em Transportes

Resumo

A busca por uma logística para alocar e minimizar o tempo de espera e de atendimento de navios conduziu a um obstáculo denominado Problema de Alocação de Berços – PAB (*Berth Allocation Problem – BAP).*

A alocação e a programação de berços geram impactos na eficiência das operações portuárias, pois estão diretamente relacionadas com o tempo de espera e de atendimento de navios.

O problema consiste em atribuir às embarcações uma posição de atracação ao longo de um cais/píer e/ou um determinado tempo, de acordo com a disponibilidade de cada berço. Importantíssimo para o transporte fluvial de cargas e passageiros no Estado do Amazonas, o Porto Público de Manaus é responsável por conectar a capital amazonense aos demais municípios do Estado e da região, e isso faz com que o porto deva atender a uma grande demanda, sendo comum encontrar nas proximidades do porto embarcações aguardando atracação.

Dado um conjunto de navios e determinados tempos de processamento, o problema do Porto Público consiste em definir as posições de atracação que minimize o maior tempo de completude dentre todos os navios, referido *Makespan.*

O presente trabalho busca apresentar uma estratégia para realizar a alocação de berços de forma mais eficiente e associar o PAB como um problema de escalonamento em Máquinas Paralelas de Propósito Geral, especificamente com o PMPM.

1 – Introdução

O terminal é a parte do sistema de transporte onde se realiza a interface entre dois ou mais modos de transporte ou entre duas diferentes rotas do mesmo modo (ANTAQ, 2013).

Para Mauri et al. (2011), os avanços do setor naval em paralelo com novas tecnologias na construção naval e a expansão comercial entre países oferece novas oportunidades no crescimento econômico, aumentando a frequência de transportes entre portos e como consequência, o aumento da importância dos portos na economia de um país.

Oliveira et al. (2002) afirma que, devido a grande movimentação de embarcações e cargas nos portos, estes são induzidos a fazer investimentos para manter uma boa acomodação das embarcações, com o objetivo de reduzir tempo de atendimento.

O principal problema no gerenciamento de um porto é a pouca flexibilidade dos proprietários das embarcações, que exigem serviços rápidos, e o uso econômico dos recursos disponíveis, Dragovic et al. (2005).

Devido à grande complexidade por uma logística de alocação de espaço e de redução do tempo de espera e atendimento nas embarcações, surgiu o Problema de Alocação de Berços (PAB).

O PAB consiste em utilizar o maior espaço possível do porto, posicionando as embarcações e reduzindo o espaço entre elas, minimizando o tempo de serviço e maximizando a operacionalidade.

O Problema de Alocação de Berços (PAB) busca a melhor maneira de extrair os recursos disponíveis nos portos, aumentando o fluxo de embarcações e cargas e proporcionando decisões para os recursos de custos mais importantes nos gerenciamentos dos portos de cargas.

Imai et al. (2003) afirma que se obtendo uma alocação ótima dos navios aos berços, aumentará a produtividade do porto, garantindo a operacionalidade e elevando o grau de satisfação dos proprietários dos navios.

Na Região Norte, as atividades nos portos fluviais são de grande intensidade, com ênfase nas

capitais Manaus e Pará, pois o modal mais importante para a região é o hidroviário, que conecta os interiores do estado com as capitais.

Neste trabalho, o PAB busca apresentar um modelo de alocação de berços para portos de transporte misto e foi considerado como discreto/estático abordado como um problema de escalonamento em Máquinas Paralelas de Propósito Geral, especificamente, o problema PMPM||Cmax.

O resultado obtido mostra que o método proposto é extremamente eficiente, Além disso, observa-se que a melhorias no Makespan podem ser alcançadas através do re-sequenciamento dos navios.

2 – Transporte Hidroviário

O estado do Amazonas, por possuir grande número de vias navegáveis, apresenta um grande potencial no transporte de cargas e passageiros pelo modal aquaviário. Nestas hidrovias, existe um grande número de terminais portuários alocados nas margens, principalmente dos rios Solimões, Negro, Amazonas e Purus. Portos organizados, terminais de uso privativo (TUP) e estação de transbordo de cargas (ETC) movimentam um grande volume de cargas através de embarcações de pequeno porte, grandes comboios de empurrador-barcaça de navegação interior e embarcações marítimas de cabotagem e longo curso (ANTAQ, 2011).

A região atrai uma grande movimentação de cargas devido ao pólo industrial de Manaus (PIM). O município está instalado na área de Zona Franca ou Zona de Livre Comércio – ZFM, onde estão instaladas aproximadamente 500 empresas que utilizam o transporte hidroviário para receber matéria-prima e escoar a produção, (SUFRAMA, 2008).

Estas empresas instaladas em Manaus caracterizam a região com um perfil importador e exportador. É importador porque a maior parte das empresas adquire de outros países seus componentes e suas matérias-primas. Já o perfil exportador ocorre porque o pólo industrial envia produtos acabados para o interior do País. Por esse motivo, existe uma forte demanda para os serviços de transporte de longo curso e cabotagem. A característica do transporte de longo curso é de alimentar o Pólo Industrial com insumos. A cabotagem, em sua grande maioria, leva os produtos acabados do PIM para o Sul do país e outros países, utilizando os portos da

costa brasileira para a distribuição (Silva, 2008).

De acordo com ANTAQ (2013), a oferta do serviço de transporte longitudinal de cargas autorizadas pela agência de transportes aquaviários cresceu 7,6%, passando para 1.319 embarcações. A maior parte delas com características próprias da navegação interior, do tipo empurrador/rebocador e barcaça. As vias navegáveis amazônicas permitem, não só a navegação de grandes comboios de empurrador-barcaça de navegação interior, embarcações marítimas de cabotagem e longo curso, como também, o transporte de passageiros e de pequenas quantidades de cargas em embarcações de pequeno porte.

Nesse sentido, as embarcações que realizam o transporte de passageiros na região amazônica têm um importante papel econômico e social. Embora a quantidade de embarcações autorizadas pela ANTAQ tenha diminuído de 93 para 87 em 2013, a capacidade de passageiros transportados aumentou, passando de 19.861 para 20.447 passageiros. Aumento esse, que representou um crescimento de 3%, foi resultante da substituição de embarcações de pequeno porte por outras maiores.

O transporte de travessia de passageiros, veículos e cargas também é presente na região. São sete as linhas que estão sob a jurisdição da Agência e são operadas por 15 empresas com uma frota de 34 embarcações (ANTAQ, 2013).

3 – Portos

O porto é um terminal multimodal e intermodal. O transporte multimodal é a articulação entre vários modos de transporte, enquanto o intermodal é aquele que requer transbordo entre duas ou mais modalidades de transporte. Uma das principais funções do porto é conectar o modo aquaviário (fluvial e marítimo) aos demais modos.

Há quatro possibilidades de combinações de serviços intermodais relacionados com o aquaviário: (1) ferroviário e aquaviário; (2) rodoviário e aquaviário; (3) aquaviário e dutoviário; (4) aquaviário e aéreo;

A operação do terminal depende diretamente das cargas e das mercadorias nele movimentadas.

Sua função básica é carregar e descarregar mercadorias. O terminal de contêiner consiste de uma instalação portuária, destinada à movimentação de mercadorias em contêineres, transportando-os do pátio para a embarcação e vice-versa. O terminal de granel sólido é uma instalação portuária destinada à movimentação de mercadorias a granel, como os agroalimentos e os minérios. O terminal de granel líquido tem o objetivo de movimentar mercadorias a granel, como produtos petrolíferos, químicos, óleos alimentares, entre outros.

Os terminais hidroviários existentes na Região realizam o embarque e desembarque de passageiros nos mesmos terminais destinados à movimentação de cargas, (BNDES, 1997).

4 – Panoramas dos Terminais

As operações portuárias em Manaus são bastante particulares pelo fato de que a cidade não possui ligações terrestres com outros estados do país, com exceção de Roraima, sendo, portanto, altamente dependente do transporte hidroviário para transporte de cargas e passageiros (LABTRANS, 2013).

Por essa razão, as operações portuárias nos terminais Manaus Moderna e Porto Público são de extrema importância para capital e cidades ribeirinhas, sendo objeto de estudo a capacidade de atracação de embarcações nestes terminais.

Arruda & Bastos (2001) propõem mostrar como os portos são um potente instrumento para acelerar o processo de desenvolvimento regional. O sistema portuário deve ser utilizado como subsistema de apoio ao sistema econômico. Para tanto, deve-se analisar com o objetivo de integrar os diversos modais de transporte, não apenas no que diz respeito à sua parte fluvial.

As ruas de acesso aos terminais de estudo não apresentam condições adequadas para atender o fluxo de caminhões de carga oriundos dos centros produtivos que chegam para abastecer as embarcações. São ruas estreitas, com condições ruins do pavimento por falta de manutenção e presença forte do comércio atraindo camelôs, pessoas, carros e ônibus para o local (LABTRANS, 2013).

As condições ruins de atracação juntamente com ausência de estacionamento adequado para movimentar as mercadorias dos caminhões para os barcos são fatores que aumentam o tempo de operação portuária, tornando o serviço de transporte mais caro e com baixa qualidade.

Campos et al. (2013), realizaram estudos sobre padrão de atendimento em terminais fluviais na Amazônia e constataram que os estados com piores desempenhos são Amazonas e Pará, nestes casos, os terminais não atendem os critérios mínimos de operação e a área de atracação foi considerada como o pior fator analisado.

As deficiências de projeto e a não integração do sistema hidroviário com os demais modos de transporte, na maioria dos terminais hidroviários de passageiros existentes na Amazônia, são responsáveis por grande parte dos problemas operacionais ocorridos e pela não confiabilidade dos usuários do sistema hidroviário. É necessário, portanto, que um terminal hidroviário apresente um layout operacional bem elaborado para atender às necessidades dos usuários e para minimizar os problemas de operação. (ANTAQ, 2013),

5 – Problemas de Alocação de Berços

O principal problema no gerenciamento de um porto é a otimização do equilíbrio entre os proprietários dos navios, que exigem serviços rápidos, e o uso econômico dos recursos disponíveis nos portos.

Segundo Moorthy (2006) as questões operacionais relacionadas como o gerenciamento de um porto são descritas em uma série de problemas de planejamento operacional. Dentre estes, o autor destaca a alocação de berços, pois tem grande influência sobre a eficiência portuária (Figura 1).

No modelo (Figura 1 (a)) os navios com características semelhantes estão próximos. Neste caso, a carga movimentada por um grupo pode ser armazenada na mesma área, minimizando o custo das operações. No modelo (Figura 1(b)) as aberturas “buffers” entre o tempo de processamento programando de cada navio é maior. Neste caso, o modelo é mais robusto para atrasos inesperados.

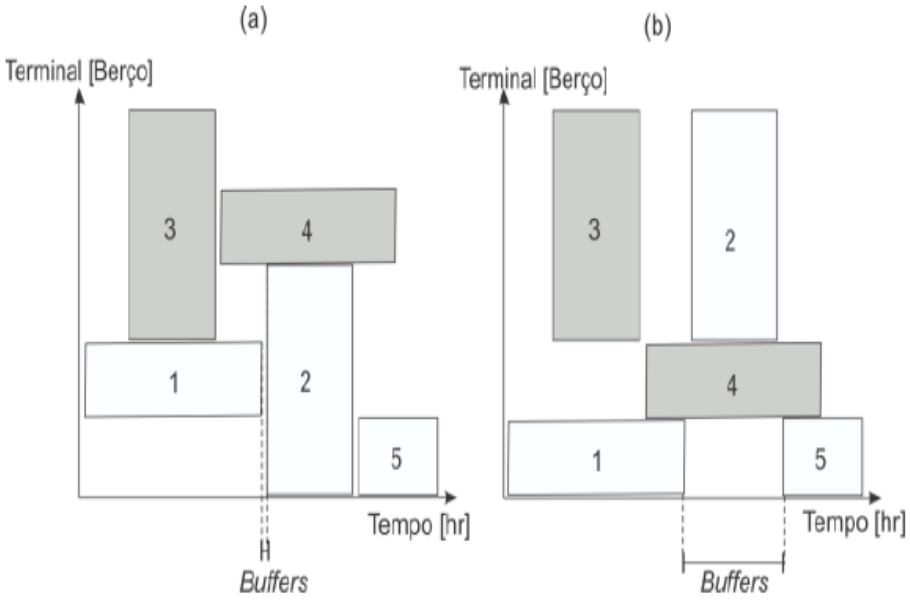


Figura 1: Apresentação de dois exemplos de solução para a alocação de berços.

Fonte: Moorthy (2006).

Este problema consiste em atribuir aos navios uma posição e/ou um tempo de atracação ao longo de um cais/píer (berços) de acordo com os instantes disponíveis em cada berço, de modo que uma determinada função objetivo seja otimizada (Imai, 2005) (Bierwirth, 2010).

O objetivo do PAB é, geralmente, alocar os navios nas posições de atração de forma que a utilização do cais seja maximizada e/ou o tempo de serviço minimizado, (Mauri et al. 2011).

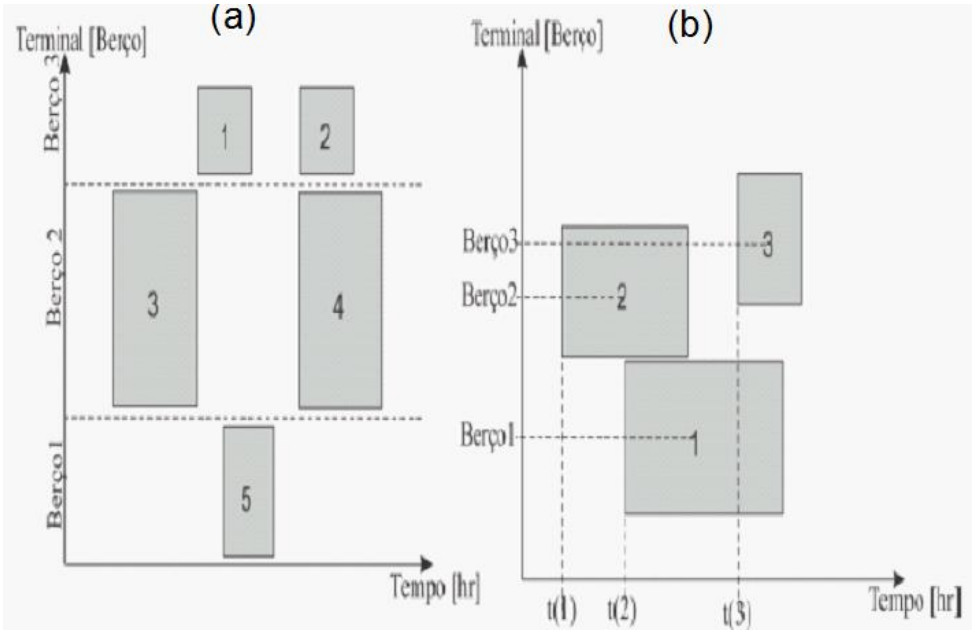


Figura 2: Apresentação do PAB discreto e contínuo.

Fonte: Moorthy (2006).

O PAB pode ser classificado em duas classes: discreto e contínuo.

- ➔ PAB discreto (Figura 2 (a)), o cais é visto como um conjunto finito de berços que atende apenas uma embarcação de cada vez, independente do seu tamanho;

- ➔ PAB contínuo (Figura 2 (b)), permite que os navios atraquem em qualquer lugar ao longo do cais.

5.1 – Estudos Comparativos

O primeiro modelo de resolução para o problema de alocação de berços foi proposto por Thurman (1989). Após o lançamento sobre a ideia do PAB, Brown et al. (1994) propuseram um novo planejamento para o problema, voltado para berços a submarinos, otimizando este modelo e reduzindo os entraves entre as embarcações alocadas.

Baseados na busca tabu, Cordeau et al. (2005) formularam duas heurísticas e duas equações para o PAB. Cheong et al. (2008) obtiveram novos resultados para o PAB com o método Multiobjective Evolutionary Algorithm. Giallombardo et al. (2010) empregaram novos resultados através dos métodos de programação quadrática, programação linear, uma Busca Tabu e uma ferramenta de formulação matemática, fazendo aplicações do PAB e obtendo resultados expressivos.

Mauri et al. (2008a) buscou propuseram uma nova ferramenta, fundamentado na realização do Simulated Annealing trazendo as primeiras pesquisas sobre PAB no Brasil, e com ela novos resultados, através de uma resolução do caso discreto do PAB. Os autores tratam o problema como um Problema de Roteamento de Veículos com Múltiplas Garagens e Janelas de Tempo. Por fim, Mauri et al. (2008b) tratam o PAB com um método híbrido chamado ATP/PL, que utiliza o Algoritmo de Treinamento Populacional em conjunto com um modelo de Programação Linear por meio da técnica de Geração de Colunas. Os resultados obtidos superam os apresentados em Mauri et al. (2008a).

5.2 - Fundamentos da pesquisa

A abordagem do problema do Porto Público de Manaus é motivada pela ausência de estudos teóricos e compatíveis com as características do transporte fluvial regional e pelas condições ruins de atracação tornando o serviço de transporte mais caro e com baixa qualidade, temos um problema de alocação de berço. Como determinar as alocações ótimas das embarcações mistas em terminais fluviais?

6 – Metodologia

A metodologia proposta é estruturada em:

1° Passo: Definir o problema de alocação de berço em portos fluviais.

2° Passo: Identificar um problema de escalonamento compatível com as características PAB, descrita no item anterior.

3°: Passo: Propor um modelo de programação linear para resolver o problema de alocação de berços, através de problemas de escalonamento.

4°: Passo: Através de experimentos computacionais, levantar uma instância com as características do PAB em portos fluviais mistos.

7 – PAB no Porto Fluvial

No transporte fluvial misto da Região Norte, o Porto Público de Manaus pode ser considerado como o mais importante, pois é responsável pelas operações que ligam Manaus aos demais municípios do Estado e da Região.

Este fator contribui com o aumento da demanda e torna comum encontrar no porto navios aguardando lugar para atracação e altas taxas de ocupação, (Figura 3).

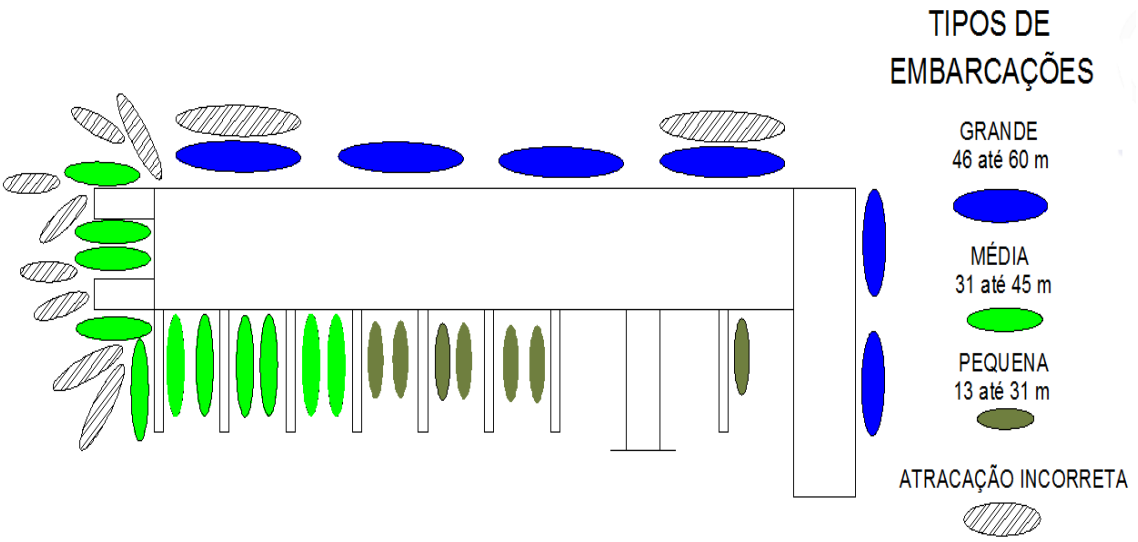


Figura 3: Ilustração da alocação de berços e das restrições do Porto Público de Manaus.

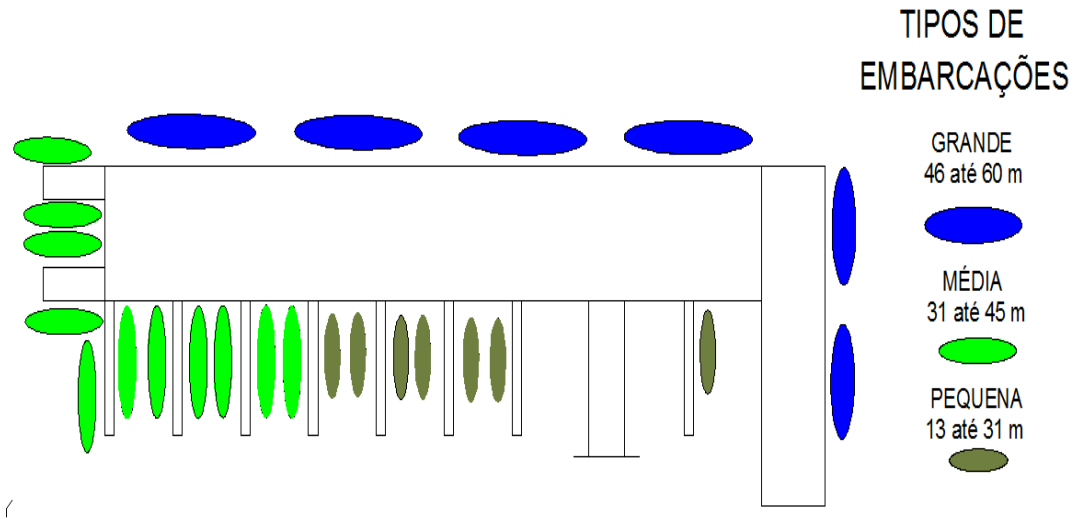


Figura 4: Ilustração da alocação correta dos berços no Porto Público de Manaus.

No Porto Público de Manaus (Figura 3), quando os navios não encontram berços disponíveis, estes realizam atrações "incorretas", ou seja, atracam ao lado de outros navios para iniciarem o processamento.

Dado um conjunto de navios e os tempos de processamento, o problema do Porto Público consiste em determinar as posições de atração que minimize o maior tempo de completude dentre todos os navios, referido Makespan.

Neste problema, a disponibilidade dos berços está sujeita a restrição operacional de layout do píer, ou seja, este é dividido em um conjunto finito de berços e os navios só podem ser processados em um subconjunto específico (Figura 4). No porto há 24 berços disponíveis, onde, 7 permitem operações de navios pequenos, 11 permitem operações de navios pequenos, médios e grandes e 6 permitem operações de navios médios e grandes.

8 - Problemas de Escalonamento

O escalonamento envolve a alocação de máquinas a tarefas em função do tempo, onde n tarefas devem ser executadas apenas uma vez e em apenas uma máquina m. Os Problemas de Escalonamento consistem em encontrar uma alocação que atenda determinadas restrições com intuito de alcançar um objetivo (Brucker, 2007).

Os problemas de escalonamento em máquinas paralelas são classificados em idênticas (P), uniformes (Q) e não relacionadas (R).

As máquinas paralelas são idênticas (P), quando existe um conjunto único que contêm os tempos de execução das tarefas e esses tempos de execução permanecem constantes não importando para qual máquina a tarefa é alocada (Brucker, 2007).

No problema de escalonamento em máquinas paralelas idênticas P||Cmax, são dadas n tarefas, com tempo de processamento pj, m máquinas e queremos encontrar uma alocação de tarefas a máquinas tal que o maior prazo de completude dentre todas as tarefas (Cmax) seja minimizado (Brucker, 2007).

No problema de escalonamento do tipo Multi-Purpose Machines – MPM, existe um conjunto M de máquinas (com m elementos) e cada tarefa j só pode ser executada em um subconjunto mj de máquinas, onde $\mu j \subseteq M$ (Brucker, 2007).

Os problemas MPM podem ser classificados quanto ao tipo de máquina utilizado, sendo elas:

➔ PMPM: Máquinas Paralelas de Propósito Geral Idênticas.

➔ QMPM: Máquinas Paralelas de Propósito Geral Uniformes.

➔ RMP: Máquinas Paralelas de Proposito Geral Não relacionadas (equivale ao ambiente R, pois cada máquina i na qual uma tarefa j não pode ser executada, tem-se pij = ∞).

Os problemas de escalonamento com Máquinas Paralelas de Propósito Geral - PMPM, são uma generalização dos problemas clássicos de Máquinas Paralelas Idênticas - P (Figura 5).

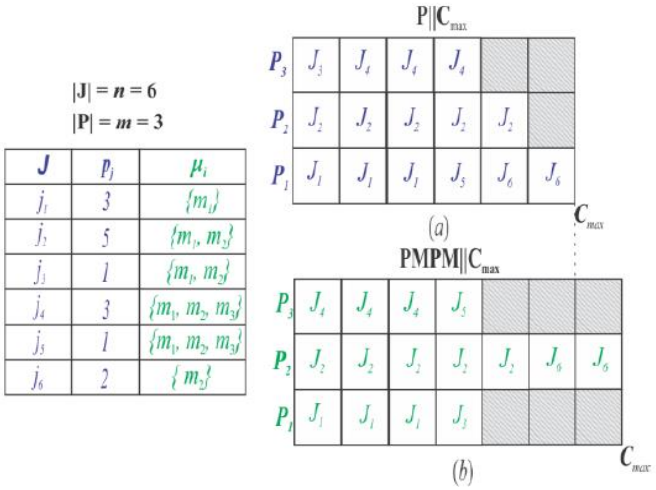


Figura 5: (a) Máquinas Paralelas Idênticas (P). (b) Máquinas Paralelas de Propósito Geral (PMPM).

Examinando as soluções (Figura 5 (a)) para ambos os casos, observam-se nas sequências duas diferenças, sendo elas: trocas entre as tarefas J3 e J4 e na tarefa J6. A primeira troca não afeta o valor objetivo. Porém a segunda causa uma pequena diferença na viabilidade e no custo ótimo do Cmax (Figura 5 (b)).

No problema PMPM||Cmax, tem-se um conjunto J de n tarefas a serem executadas em um conjunto M de m máquinas. O tempo de processamento de cada tarefa é denotado por pj e cada tarefa só pode ser executada em um subconjunto μj ⊆ M de máquinas. O objetivo é a minimização do Makespan, (Brucker, 2007).

9 - Modelagem Matemática do PAB

Neste trabalho, o PAB foi considerado como discreto/estático e abordado como um problema de escalonamento em Máquinas Paralelas de Propósito Geral, especificamente, o problema PMPM||Cmax.

O problema trata de alocar n navios (tarefas) independentes nos m berços (máquinas) paralelos e idênticos, sendo que cada navio tem um tempo de processamento pj, esta associado a subconjunto $\mu j \subset M$ de berços a qual pode ser executado e o objetivo é minimizar o tempo de execução das tarefas mais carregada, Makespan.

A formulação do PAB pode ser visualizada das equações (1) a (4).

$$\text{Minimiza } Z = C_{max} \qquad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i \in m_j} x_{ij} = 1 \qquad \forall_j \in J \qquad (2)$$

$$\sum_{\substack{i \in j \\ i \in m_j}} p_j x_{ij} \leq C_{max} \; \forall_i \in m_j \qquad (3)$$

$$x_{ij} = \{0,1\} \quad \forall_i = 1, \ldots, n \; ; \; \forall_j = 1, \ldots, m \qquad (4)$$

A função objetivo (1) minimiza Z o maior tempo de completude dentre todas as tarefas, Cmax. A restrição (2) garante que cada navio é atendido por apenas um berço. Nessa restrição são considerados os subconjuntos mj válidos para cada navio j, ou seja, alguns navios não podem ser processados em determinados berços, pois o berço pode não ser apropriado para o processamento. A restrição (3) garante que o valor do Cmax seja no mínimo o maior tempo completitude. E por fim, a restrição (4) garante que as variáveis de decisão sejam binárias, onde xij = 1 caso o j-ésima navio seja designado para o berço i-ésima, e xij = 0 caso contrário. Para transformar o PMPM||Cmax em P||Cmax a restrição (3) deve ser substituída por (5):

$$\sum_{i \in j} p_j x_{ij} \leq C_{max} \; \forall_i \in m_j \qquad (5)$$

Neste caso, a restrição operacional de layout do píer é ignorada, ou seja, existe um conjunto único de berços que contêm os tempos de execução dos navios e este tempo de execução permanecem constantes não importando para qual berço o navio é alocado.

10 - Resultados

As implementações dos modelos PMPM||Cmax e P||Cmax foram realizadas na ferramenta CPLEX, utilizando a linguagem OPL - Optmization Programming Language. Neste trabalho, o estudo é baseado em um método exploratório, ou seja, visa prover o pesquisador de um maior conhecimento sobre a pesquisa em perspectiva.

Para validação dos modelos, foi realizado um teste com dados reais coletados no Porto Público de Manaus. Na instância a seguir, é descrito o problema de alocação de berços proposto.

```
Instância

Navios = 59;
Navios_p = 14;
Navios_m = 33;
Navios_g = 12;

Berços = 24;
Berços_p = 7;
Berços_m = 11;
Berços_g = 6;

Tempo de processamento = {48,48,24,72,120,72,192,96,72,192,
96,72,72,24,72,120,312,48,48,72,48,96,48,48,168,48,72,48,48,48
,48,96,120,48,72,24,24,24,48,48,48,192,
```

```
48,168,24,1,48,48,72,192,24,192,48,24,168,120,48,168,24,48,192
,168};
```

Neste caso, são 59 navios, divididos em três classes (pequeno, médio e grande) e 24 berços de proposito geral, onde, 7 permitem operações de navios pequenos, 11 pequenos, médios e grandes e 6 permitem operações de médios e grandes. O conjunto de navios é definido por N, o conjunto de Berços B e os tempos de processamento dos navios são definidos em P.

10.1 - Experimentos Computacionais

As soluções obtidas pelos experimentos são todas ótimas e podem ser visualizadas na Figura 6.

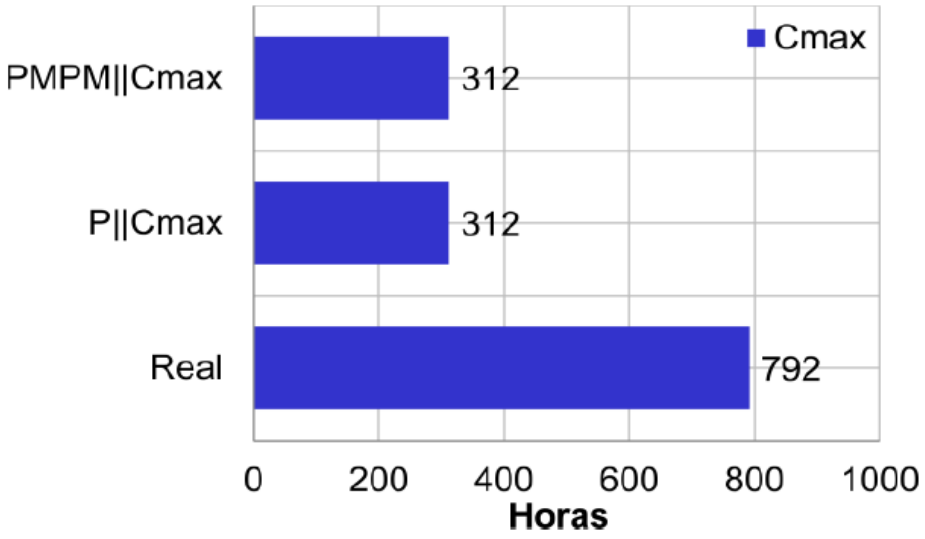


Figura 6: Comparação entre a solução ótima e a real.

Na Figura 6, pode-se notar que o valor da solução ótima é o mesmo nos dois modelos, sendo resolvido tanto através do PMPM||Cmax quanto do P||Cmax.

No geral, a alocação proposta pelos modelos apresentam melhorias significativas quando comparadas com o cenário real. Neste caso, os resultados reduz o Makespan em 61%.

Em relação ao tempo para obtenção das soluções o CPLEX precisou de 1.45 segundos para o PMPM||Cmax e 1.29 segundos para P||Cmax.

Entretanto, examinando a solução ótima para ambos os modelos observa-se sequências diferentes para os navios.

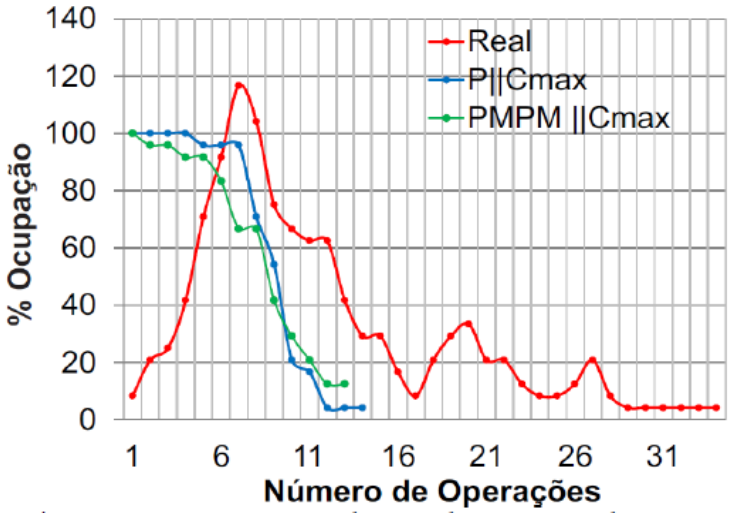


Figura 7: Apresentação da taxa de ocupação do porto.

Em relação à taxa de utilização do porto, os modelos geraram uma alocação uniforme, ou seja, o numero de navios no porto não ultrapassou a capacidade de berços disponíveis, conforme ilustra a Figura 7.

Neste trabalho, foi utilizado um modelo matemático baseado em problemas de escalonamento com Máquinas Paralelas de Propósito Geral - PMPM para representar o PAB. O resultado obtido mostra que o método proposto é extremamente eficiente, pois como podem ser observadas nas figuras 5 e 6, as soluções foram inferiores à obtida no real. Além disso, observa-se que a melhorias no Makespan podem ser alcançadas através do re-sequenciamento das embarcações.

11 - Considerações Finais

Motivado pela execução ineficiente das atribuições navio-píer nos portos fluviais de operações mistas do Amazonas, o presente trabalho buscou apresentar um estratégia para realizar a alocação de berços de forma mais eficiente.

Para resolver o PAB de portos fluviais, foi proposta uma associação com o problema de escalonamento em Máquinas Paralelas de Propósito Geral – PMPM e estudado o caso do Porto Público de Manaus/AM.

Sendo assim, as contribuições deste estudo incluem na definição do Problema de Alocação de Berços – PAB em portos fluviais de operação mista, considerando restrições de layout do píer e tempo de processamento; na Modelagem do PAB para a obtenção das atribuições ótimas navio-píer e geração do plano de atracação discreto/estático; na modelagem do PAB, obtiveram-se soluções ótimas que permitem apoiar a tomada de decisão e o planejamento da atracação dos navios.

Os resultados mostram claramente o potencial da abordagem apresentada. Assim, a continuação deste trabalho será voltada para o tratamento do problema com novas restrições, tais como: instantes de disponibilidade (release dates) e prazos de término, além de usar máquinas de diferentes velocidades (QMPM, R).

11 - Referências:

ANTAQ. Transporte de Cargas em Vias Interiores. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. 2011.

ANTAQ. Caracterização da Oferta e da Demanda do Transporte Fluvial de Passageiros na Região Amazônica. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. 2013.

ARRUDA, João B.; BASTOS, Marta M. Portos. Instrumento estratégico para o desenvolvimento regional. Revista econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 32, n. 4 p. 1010-1027, out-dez. 2011.

BIERWIRTH, C, MEISEL, F. "A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals," European Journal of Operational Research, pp. 615–627. 2010.

BNDES. Navegação De Cabotagem No Brasil. Informe De Infra-Estrutura Nº 10. Área De Infra-Estrutura/Gerência De Estudos Setoriais 3, Maio. 1997.

BROWN, G.G., LAWPHONGPANICH, S. & THURMAN, K.P. Optimizing ship berthing. Naval Research Logistics, 41, 1-15. 1994.

BROWN, G.G., CORMICAN, K.J., LAWPHONGPANICH, S. & Widdis, D.B. Optimizing submarine berthing with a persistence incentive. Naval Research Logistics, 44, p. 301-318. 1997.

BUHRKAL, K., ZUGLIAN, S., ROPKE, S., LARSEN, J., e LUSBY, R. Models for the discrete berth allocation problem: a computational comparison. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, v. 47, p. 461–473. 2011.

CAMPOS, J., CARDOSO P, SILVEIRA J., SANTOS J. Indicador Para Determinar O "Padrão De Atendimento" Dos Terminais Fluviais De Passageiros Da Amazônia. XXVII Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. 2013.

CHEONG, C. Y., TAN, K. C., LIU, D. K. e LIN, C. J. Multi-objective and prioritized berth allocation in container ports. Annals of Operations Research, in press. 2008.

CORDEAU, J. F., LAPORTE, G., LEGATO, P., e MOCCIA, L. Models and tabu search heuristics for the berth allocation problem. Transportation Science, 39:526–538. 2005.

DRAGOVIC B; PARK, N. K.; RADMILOVIC, Z. Simulation Modelling of Ship-Berth Link With Priority Service. Maritime Economics & Logistics, 7, 316-335, 2005.

GIALLOMBARDO, G., MOCCIA, L., SALANI, M. & VACCA, I. Modeling and solving the tactical berth allocation problem. Transportation Research Part B, 44, 2010.

IMAI, A.; NISHIMURA, E.; PAPADIMITRIOU, S. Berth.allocation with service priority. Transportation Research, 37B, 437-457. 2003.

IMAI, A., SUN , X., NISHIMURA, E. e PAPADIMITRIOU, S. , Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach. Transportation Research Part *B*, v. 39, n. 3, p. 199-221. 2005.

LABTRANS. Laboratório de Transportes e logística –. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Plano Mestre: Porto de Manaus. Florianópolis – SC. 2013.

MAURI, G. R., OLIVEIRA, A. C. M. e LORENA, L. A. N. Heurística baseada no simulated annealing aplicada ao problema de alocação de berços, GEPROS - Gestão da Produção, Operações e Sistemas, 1(1), 113-127. 2008a.

MAURI, G. R., OLIVEIRA, A. C. M. e LORENA, L. A. N. A hybrid column generation approach for the berth allocation problem, Lecture Notes in Computer Science, 4972, 110-122. 2008b.

MAURI, G.R., ANDRADE, L.N., LORENA, L.A.N. A memetic algorithm for a continuous case of the berth allocation problem. ECTA 2011 – International Conferenceon Evolutionary Computation Theory and Applications, Paris – França, 24 a 26 de outubro. 2011.

MOORTHY R. TEO C.P. Berth Management in Container Terminal: The Template Design Problem. OR Spectrum. Vol. 28(4), pp. 495–518. 2006.

OLIVEIRA, A.C.M. & LORENA, L.A.N. 2-opt population training for minimization of open stack problem. In: Advances in Artificial Intelligence, Springer Lecture Notes in Artificial Intelligence Series, 2507, 313-323. 2002.

BRUCKER. P. "Scheduling algorithhms," Springer, vol. Fhifth, pp. 2–10. 2007.

SILVA, H. A. C. Diagnostico da Logística da Movimentação de Carga do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal do Amazonas Manaus. 2008.

SUFRAMA. Disponível em: <*http://www.suframa.gov.br*/>. Acesso em: 16 de Junho 2015. 2008.

THURMAN, K. P – Optimal ship berthing plans. Dissertação (Masters of Science in Operations Research – Naval Postgraduate School, Monterey, California - EUA, 1989.

Internal mechanics analysis on ship collisions

Rodrigo Michels; Hazim Ali Al-Qureshi

rodrigo.michels@grad.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina – Brazil

Abstract

In the present paper analytical expressions are developed for different ship collisions scenarios. The external dynamics are based on the theory of Pedersen and Zhang (1998), which considers a 2D collision between two ships or a ship with a rigid wall. The external dynamics are related with the internal mechanics of the collision by the theory of plastic deformation developed by Al-Qureshi (1997). A model is developed to be used on the analysis of bulbous bow collision or objects with similar profile. It takes into account the energy of the collision to calculate the deformation on the hull shell. The model is used to compare with experimental data found in literature. A good agreement is found in several collision scenarios.

1. Introduction

Ship collisions are the cause of many structural damages and ship losses. However, the mathematical and physical complexity of such events complicates the prevention and reduction of damage. The collision scenarios are unlimited due to different ship structures, ocean and weather conditions, ship positions and motions, etc. Many assumptions must be done to analyze each case.

Although the scenarios are unlimited, the analyses procedure for each can be divided into external dynamics and internal mechanics. The external dynamics deals with the energy released by dissipation and the impact impulse of the collision. The internal mechanics analyzes the structure response and the damaged caused by the energy released. These two tasks in most cases can be treated independently.

The present paper reviews two theories and proposes one by the combination of both. The first theory takes into account the external dynamics of a ship collision. The second takes into account the internal mechanics of a plate during a projectile impact. The final objective is to obtain an expression for the deformation on the ship hull in an impact with a rigid wall. The rigid wall is assumed to have and semi-spherical profile.

In the following section a review the collision model from Pedersen and Zhang (1998) is presented. It is an analytical method for the energy loss that covers ship collisions with rigid walls, ship-ship collision and ships colliding with offshore structures.

In section three a review of the theory from Ishikura and Al-Qureshi (1997) is presented. It treats about the deformation in metallic plates by the impact of a projectile. It considers the shoot of a projectile in a metallic plate causing plastic deformation, without perforation. The analysis is developed until a critic state of deformation.

The proposed model for the deformation on the ship hull is presented in section four. In the last section, examples are presented using the theory of plastic deformation on plates and the model developed in the present paper.

2. External dynamics of ship collision

Figure 1 shows a schematic of two colliding ships. Three different coordinate systems are established to derive the equations of motion. The *XYZ* and *X'Y'Z'* coordinate systems are defined as global coordinate systems for ship A and ship B, respectively.

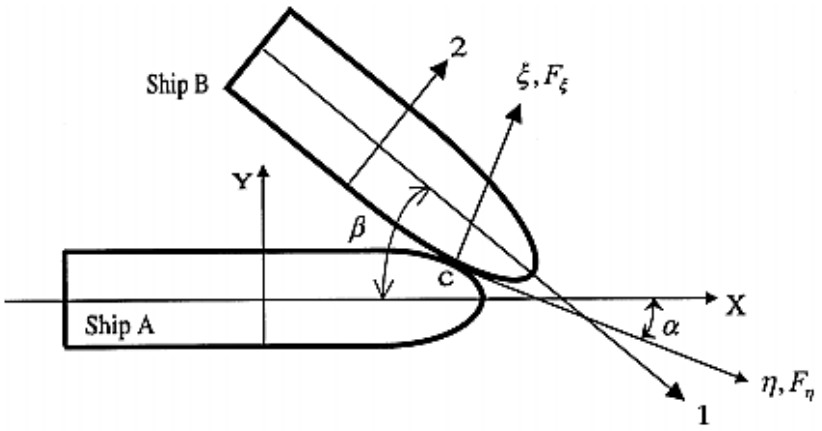


Figure 1 - Schematic of two colliding ships. Zhang (1999).

The *XYZ* coordinate system for ship A is fixed to the sea bed. The *Z*-axis is oriented out of water. The *X*-axis lies in the symmetry plane of the striking ship pointing towards the bow. The origin of the *XYZ*-system is placed so that the midship section is in the *YZ*-plane at the moment of contact. The *X'Y'Z*' coordinate system for ship B is established in the same way as the *XYZ* coordinate system is for ship A. The $\xi\eta$ coordinate system is located at the contact point C. The ξ-direction is normal to the impact surface. The angle between the *X*-axis and the η-axis is denoted α (the waterline angle) and the angle between the *X*-axis and the symmetry plane of the struck vessel is θ.

The procedure is based in the mechanics of rigid bodies. It is assumed that the strain energy for deformation outside the contact region is negligible. The collision can be considered instantaneous and each body is assumed to exert an impulsive force on the other at the contact point. The model includes friction between the impact surfaces. The equations of motion of ship A are given by

$$M(1+m_x)\dot{v}_x = -F_\xi \sin\alpha - F_\eta \cos\alpha \quad (1)$$

$$M(1+m_y)\dot{v}_y = -F_\xi \cos\alpha + F_\eta \sin\alpha \quad (2)$$

$$MR^2(1+j)\dot{\omega} = -F_\xi\left[y_c \sin\alpha - (x_c - x_g)\cos\alpha\right] + F_\eta\left[y_c \cos\alpha - (x_c - x_g)\sin\alpha\right] \quad (3)$$

where M is mass of the ship, m_x and m_y are the added mass, $\dot{v}_x$ and $\dot{v}_y$ are the accelerations of the ship in x and y directions, respectively. F_ξ and F_η are the impact forces in the local coordinate system. $\dot{\omega}_a$ is angular acceleration, R is the radius of the ship mass inertia and j is the added mass coefficient of moment around the center of gravity. x_g is the the coordinate of the centre of ship A on the X-axis, and x_c, y_c give the contact point C in the *XYZ* coordinate system.

In order to determine the energy to be dissipated through the crushing of the ship structures at the contact point, Pedersen and Zhang further assume that the ratio between the collision forces parallel and perpendicular to the impacting surfaces, F_ξ and F_η, are constant during the collision; that is, $F_\xi = \mu_n \cdot F_\eta$, where μ_n is the ratio of the impact impulses. If $|\mu_0| < |\mu_n|$, the two ships will slide against each other, where μ_0 is the real friction factor between the two ships. If $|\mu_0| \geq |\mu_n|$, the ships will stick together during the collision. The expressions for the dissipated energy in these two cases are finally calculated as follows:

a) Sticking case ($|\mu_0| \geq |\mu_n|$):

$$E_\xi = \int_0^{\xi_{max}} F_\xi d\xi = \frac{1}{2}\frac{1}{D_\xi + \mu D_\eta}\dot{\xi}(0)^2 \quad (4)$$

$$E_\eta = \int_0^{\eta_{max}} F_\eta d\eta = \frac{1}{2}\frac{1}{\frac{1}{\mu}K_\xi + K_\eta}\dot{\eta}(0)^2 \quad (5)$$

b) Sliding case ($|\mu_0| < |\mu_n|$):

$$E_\xi = \int_0^{\xi_{max}} F_\xi d\xi = \frac{1}{2}\frac{1}{D_\xi + \mu_o D_\eta}\dot{\xi}(0)^2\left(1-e^2\right) \tag{6}$$

$$E_\eta = \int_0^{\eta_{max}} F_\eta d\eta = \frac{1}{2}\frac{1}{\frac{1}{\mu_o}K_\xi + K_\eta}\left(\dot{\eta}(0)^2 - \dot{\eta}(T)^2\right) \tag{7}$$

where D_ξ, D_η, K_ξ, K_η are expressions derived from equation of motions. $\dot{\xi}(0)$ and $\dot{\eta}(0)$ are the initial relative velocities in the local coordinate system, $\dot{\eta}(T)$ is the final relative velocity in η-axis, and e is the coefficient of restitution. For an entirely plastic collision, e = 0, and for a perfect elastic collision, e = 1.

3. Theory of the plastic deformation without perforation

The following analytical theory assumes the shoot of a projectile to a plate causing plastic deformation, without perforation. A schematic of the plate profile deformed by the impact can be seen in Figure 2. The projectile has a semi-spherical profile. All the kinetic energy of the projectile is consumed in the deformation of the plate. The theory assumes plastic and isotropic behavior of the material and considers the hardening effect. A detailed explanation of the theory can be found in the work of Ishikura and Al-Qureshi (1997). They found good agreement between the model and experimental results on plates of brass.

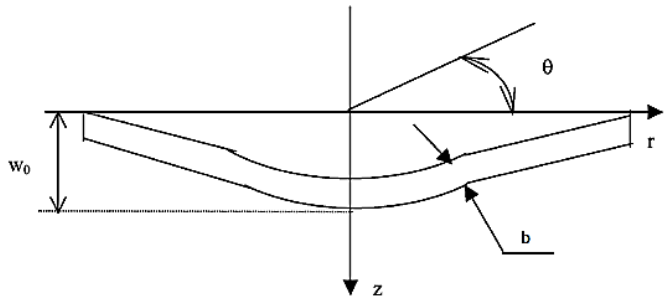


Figure 2 – Profile of the plate deformed by the impact of a projectile

Gonçalves et al. (2004)

Considering that the material satisfact the Hollomon's expression:

$$\bar{\sigma} = A(\bar{\varepsilon})^n \tag{8}$$

Where $\bar{\sigma}$ is the effective strain, $\bar{\varepsilon}$ is effective deformation A is the strength coefficient and is the hardening coefficient. The equation of the plastic deformation energy (E_p) is written as:

$$E_p = \int_V \left(\int_0^{\bar{\varepsilon}} \bar{\sigma} d\bar{\varepsilon} \right) dV \tag{9}$$

V is the volume of the plate zone which is deformed by the proctile. From the geometry of impact, the volume of the dimple is:

$$dV = 2r\pi t dr \tag{10}$$

Where t is the plate thickness. Using the expression for $\bar{\sigma}$ in equation 9:

$$E_p = \frac{A}{n+1} \int_V (\bar{\varepsilon})^{n+1} dV \tag{11}$$

From the theory of Von Mises:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sqrt{2}}{3} \left[(\varepsilon_r - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_r)^2 \right]^{1/2} \tag{12}$$

For the configuration of deformation it is assumed that $\varepsilon_r = \varepsilon_\theta$ and $\varepsilon_z = -2\varepsilon_r$. Thus, equation 12 becomes

$$\bar{\varepsilon} = 2\varepsilon_r \tag{13}$$

For big deflections and small radial displacements, the radial strain is given by

$$\varepsilon_r = \frac{1}{2} \left(\frac{dw}{dr} \right)^2 \tag{14}$$

Thus

$$\bar{\varepsilon} = \left(\frac{dw}{dr} \right)^2 \tag{15}$$

Substituting the above expression in equation 11:

$$E_p = \frac{2\pi b A}{n+1} \int_0^{\infty} \left(\frac{dw}{dr} \right)^{2n+1} r dr \tag{16}$$

For the solution of the above equation, it is necessary to determine the plate deflection profile throughout the impact process of the projectile. Ishikura and Al-Qureshi (1997) found experimentally that the deflection profile can be expressed as

$$w = w_o \exp\left(-k \frac{r}{D} \right) \tag{17}$$

Where k is a deflection profile coefficient, D is the projectile diameter and w_o is the maximum deflection. Substituting equation 17 into equation 16:

$$E_p = \frac{2\pi tA}{n+1}\left(\frac{w_o k}{D}\right)^{2(n+1)} \times \int_0^{\infty} \exp\left[-\frac{2kr}{D}(n+1)\right] r dr \tag{18}$$

The above equation can be integrated to yield the final expression for the total plastic energy absorbed by the plate and is given by

$$E_p = B w_o^{2(n+1)} \tag{19}$$

Where

$$B = \frac{\pi tA}{2(n+1)^3}\left(\frac{k}{D}\right)^{2n} \tag{20}$$

4. Deformation of the ship hull

The previous theories are used to develop analytical expressions for the hull deformation in a collision. Figure 3 shows a collision scenario, in which the following model can be used.

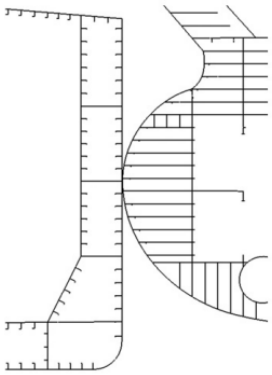


Figure 3 – Ship collision where the striking ship has a bulbous bow. (Haris, Amdahl, 2013)

As presented before, the total energy of the collision is

$$E_T = E_\xi + E_\eta \tag{21}$$

The deflection on the hull shell is obtained by using the expression for the energy of plastic deformation (equation 19) in equation 21 and isolating w_o, finally obtaining the following expression

$$w_o = \left[\frac{1}{2B} \left(\frac{1}{D_\xi + \mu D_\eta} \dot{\xi}(0)^2 + \frac{1}{\frac{1}{\mu} K_\xi + K_\eta} \dot{\eta}(0)^2 \right) \right]^{\frac{1}{2(n+1)}} \quad (22)$$

The hull side shell is usually not a bare plate, but stiffened by stringers. Therefore, to account for the stiffeners, the equivalent thickness method can be employed. The idea of this method, as defined by Hughes and Paik (2010), is to distribute the cross-sectional area of the stiffeners to the whole plate. That is

$$t_{eq} = t + \frac{A_s}{d} \quad (23)$$

Where t_{eq} is the equivalent thickness of the stiffened plate, t is the thickness of the shell plate, A_s is the sectional area of the stiffener and d is the stiffener spacing, as shown in Figure 4.

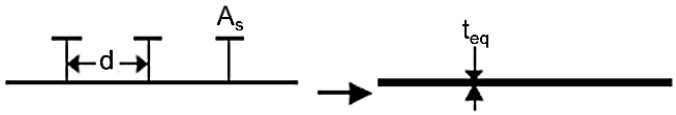


Figure 4 – Equivalent thickness of a stiffened plate.

There are other scenarios in which the plastic deformation theory and the equivalent thickness method can be used together. For example, it is possible to use in the case of an object with a semi-spherical profile colliding a stationary ship. The energy is given by the kinetic energy of the object and the following expression is obtained for the shell deformation:

$$w_o = \left(\frac{1}{2} \frac{m_o v_o^2}{B} \right)^{\frac{1}{2(n+1)}} \quad (24)$$

Where m_o is the mass of the object and v_o is the velocity of the object at the collision moment.

5. Numerical examples and discussion

First, a numerical example from the work of Pedersen and Zhang (1998) is presented. It is assumed a ship at forward speed of 2,78 m/s. The length of the ship is 157 m, the breadth is 24,6 m and the displacement is 16224 ton. The radius of inertia for yaw motion is 39 m. Figure 5 shows the ratio between the energy loss and the initial kinetic energy of the ship as function of the collision angle. It is possible to see that if the impact angle is higher than 60° and μ =

0,6, all the kinetic energy is lost in the impact. For impact angles lower than 30° just a small portion of the kinetic energy is lost.

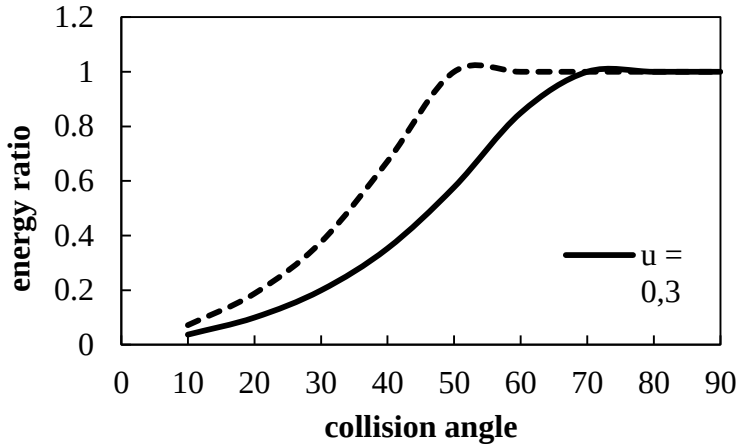


Figure 5 - Relation between the energy ratio and the impact angle

The energy ratio is given by the ratio between the crushing energy with the total kinetic energy of the ship before the collision.

The second example utilizes the theory of plastic deformation on metallic plates to calculate the maximum deflection in steel and aluminum plates using the experimental parameters and results from Wen and Jones (1992). Fully clamped circular plates are struck perpendicularly by blunt projectiles with specific mass, diameter and velocity. Material and test parameters are shown in Table 1. The value for the parameter k used is 0,5 (Ishikura and Al-Qureshi, 1997).

The results from the experimental tests and the present calculations are shown in Table 2. A good agreement is found for both materials. The maximum difference is about 12% in the first test. This indicates a good fit of the theory from Ishikura and Al-Qureshi (1997) for impacts in plates.

Table 1 – Material parameters from experiments of Wen and Jones (1992).

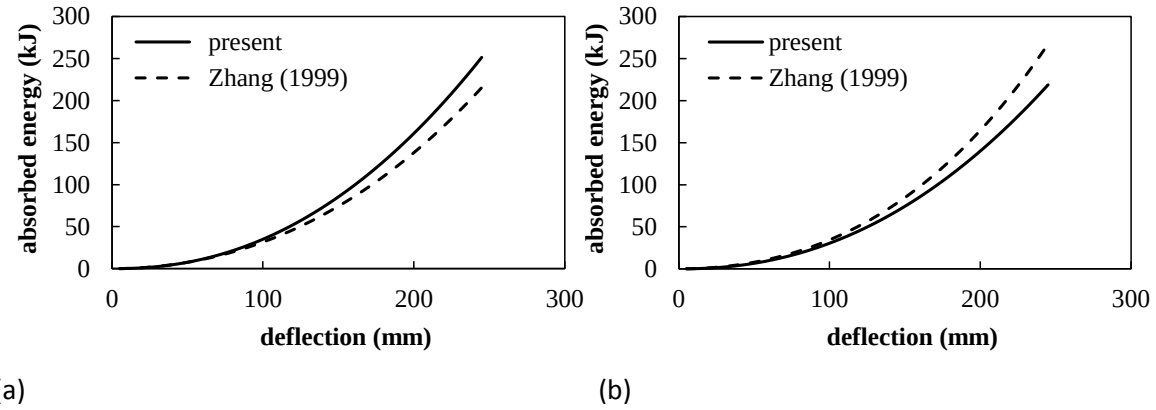
Test	Material	A (MPa)	n	Plate Thickness (mm)	Velocity (m/s)	Mass (kg)	Diameter (mm)
1	steel alloy	526,25	0,108	2	4,5	3	5,95
2	steel alloy	685,78	0,121	4	4,52	24	11,9
3	steel alloy	657,37	0,138	6	4,43	81	17,85
4	steel alloy	672,16	0,148	8	4,5	192	23,8

5	aluminum	638,27	0,066	2	3,7	2	8
6	aluminum	625,40	0,072	4,76	3,7	27	19,05
7	aluminum	590,98	0,079	6,35	3,73	64	25,4

Table 2 – Comparison between present calculations and experimental results for the maximum deflection.

	Max. deflection (mm)		
Test	**Experimental**	**Present**	**Difference (%)**
1	4,85	5,44	12,12
2	10,15	9,96	-1,89
3	15,56	15,42	-0,88
4	21,11	21,07	-0,18
5	3,19	3,20	-0,22
6	8,57	7,82	-8,77
7	10,1	10,99	8,86

An example from Zhang (1999) is used to compare the theory of plastic deformation on plates and his model for the energy-deflection relationship in a plate caused by a striking bulbous bow. The plate has a thickness of 8 mm, strain hardening exponent of 0,1 and strength coefficient of 700 MPa. The parameter k is considered 0,5. Two bulb radius are considered: 0,6 and 1,2 m. The energy-deflection relationship using the present calculations and the model of Zhang (1999) are compared in Figure 6. A good agreement was found, showing that the theory from Ishikura and Al-Qureshi (1997) can be used in the case of a striking bulbous bow.



(a) (b)

Figure 6 - Energy-deflection curves for a striking bulb with radius of (a) 0,6 m and (b) 1,2 m.

Another example of a bulbous bow striking a plate is taken from the experiment of Qvist et al. (1995). In this case, the plate is stiffened with stringer webs. The model and its parameters are shown in Figure 9. A steel ball with a mass of 2750 kg and radius of 0,5 m is dropped from a height of 5 m and collides the stringer model in the middle point. The impact energy is 137,5 kJ. The plate and stiffeners have a thickness of 8 mm. The equivalent thickness calculated with equation 47 and the model parameters is 24,7 mm. Parameter k is considered 0,5.

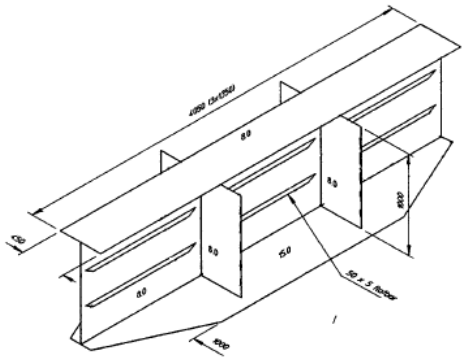


Figure 7 - The test model and parameters. (Qvist e al., 1995).

The results from tests, the method used by Zhang (1999) and the present calculations are compared in Table 3. A good agreement was achieved combining the theory of plastic deformation on metallic plates and the theory of equivalent thickness. Figure 10 shows a comparison of the energy-deflection curve using the method of Zhang (1999) and the present method. The curves present good similarity.

Table 3 – Comparison of the results for a ball striking a plate with stiffeners.

Method	Maximum deflection (mm)
Qvist, Experiment 1	190
Qvist, Experiment 2	175
Dyna3D simulation	180
Zhang	171
Present calculations	191

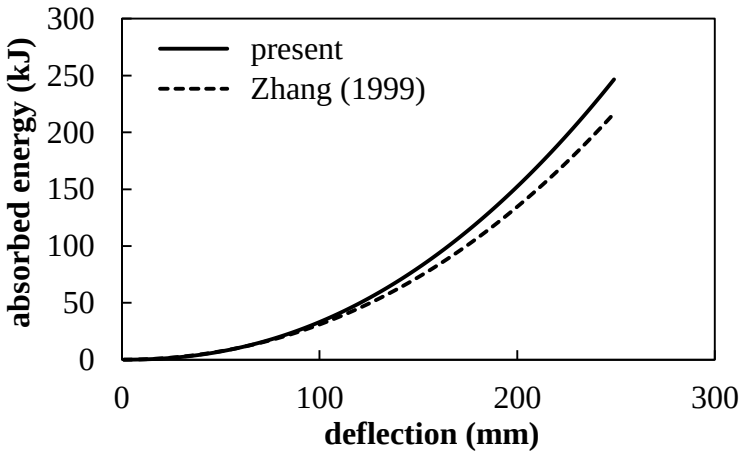


Figure 8 - Energy-deflection curves for a bulb striking a plate with stiffeners.

An example is taken from the work of Alsos and Amdahl (2009). The scenario considered is hull damage in ships subjected to grounding actions, as can be seen in Figure 9. Five test components have been fabricated. They share the same plate geometry, but have different stiffener configurations. Both flat bar (FB) stiffeners and bulb (HP) stiffeners are applied in the models. The dimensions of these are described by the height and the thickness, which are 120 mm and 6 mm, respectively. The components are found in single and paired stiffener configurations, as can be seen in Figure 10.

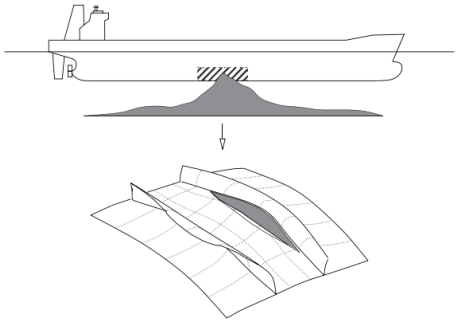


Figure 9 - Ship grounding – penetration of a bottom panel. (Alsos; Amdahl, 2009).

The panels were loaded by an indenter enforced by a hydraulic jack at constant load rate until fracture occurs. The indentation force and displacements were measured on the jack crosshead. The size the indenter is presented in Figure 10. I has a cone shape with a spherical "nose".

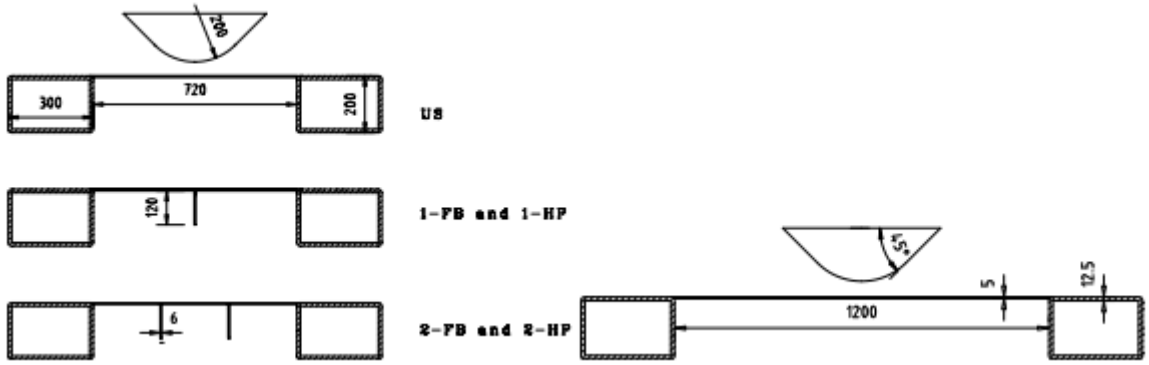


Figure 10 - Transverse and longitudinal cross section with and without stiffeners.

(Alsos; Amdahl, 2009).

The present model was used to calculate the absorbed energy as function of the deflection of the plate, which is compared with the displacement of the indenter in the experiments. The results are compared in Table 4. It is possible to see that the absorbed energy in the experiments were 6 to 22% higher than with the present calculations. This is because the influence of the frame in which the panel is welded. It has and influence on the resistance force of the structure, which implies that, for the same displacement, a higher level of energy can be absorbed.

Table 4 – Comparison of the results for the indentation of a steel panel.

Panel configuration	Displacement (mm)	Absorbed energy (kJ)		Difference (%)
		Experiments	Calculations	
US	200	128	106,64	-16,68
1 FB	170	118	104,04	-11,83
1 HB	140	90	78,85	-12,39
2 FB	130	70	65,51	-6,41
2 HB	95	40	30,84	-22,91

It is considered the same ship data from example one and equation 46 to calculate the deformation on the hull shell caused by the impact. The following properties for the hull shell are assumed: strength coefficient of 700 MPa and hardening coefficient of 0,1. The equivalent thickness is considered 20 mm. The diameter of the spherical profile, i.e. the wall profile, is assumed 1 m and the parameter k of 0,5 (Ishikura and Al-Qureshi, 1997). Figure 11 shows the obtained results for the deflection on the hull plate for different angles.

In Figures 12 and 13, the deflection on the hull plate is plotted as a function of the striking diameter wall and the thickness of the plate. The same data from the previously example is used, with a collision angle of 90º. It is interesting to note that, for this collision situation, the thickness of the plate has a higher influence on the deflection than the diameter wall. It is important to remember that the present model does not take into account perforation or crack formation.

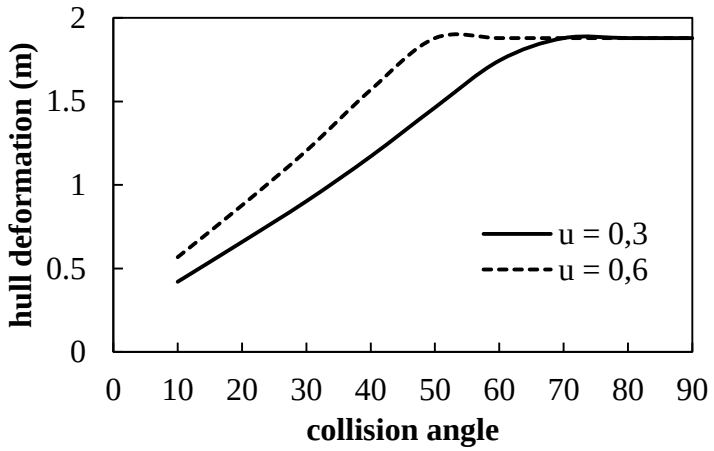


Figure 11 - Deformation of the ship hull caused by the impact with a spherical profiled wall as function of the impact angle.

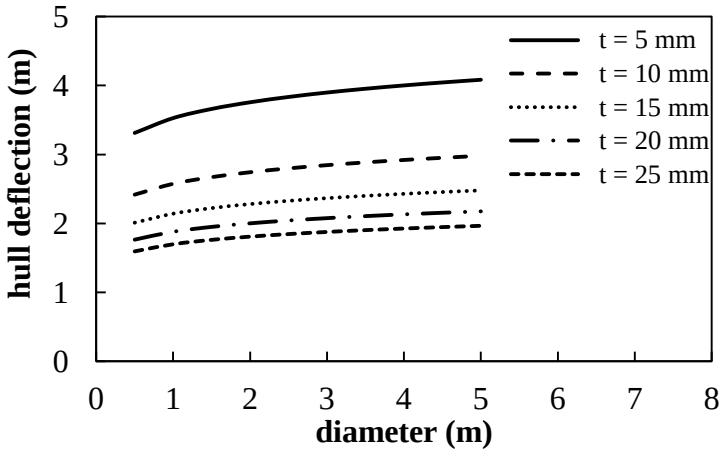


Figure 12 - Deformation of the ship hull caused by the impact with a spherical profiled wall as function of the diameter.

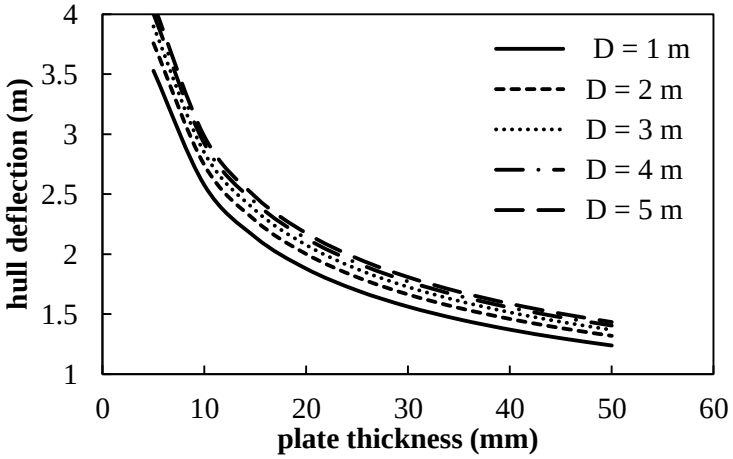


Figure 13 - Deformation of the ship hull caused by the impact with a spherical profiled wall as function of the plate thickness.

6. Conclusions

An analytical expression was developed for the deformation on the ship hull by the impact in a collision. The approach can be used for different cases, such as bulbous bows impacting the plate of a ship.

The numerical results obtained show that the theory of plastic deformation on metallic plates can be used for steel and aluminum plates, which are common materials on ship construction. The same theory can also be used for a case of a bulbous striking a plate. The theory of equivalent thickness can be used together for the case of a plate reinforced by stiffeners. A good agreement was found by using both theories

The model developed in the present paper was used to calculate the hull plate deflection in a collision with a spherical profiled wall. In order to validate the presented theory, physical experiments or simulations using Finite Element Analysis (FEA) can be done in the future.

The present theory can be used also to study the case of ship-ship collisions, where a ship with a bulbous bow strikes a second ship, and then obtaining the hull deformation on the struck ship. It can also be used to analyze the critical deflection of the hull before perforation and the maximum velocities of striking ships to avoid perforation. However, the experimental data for these kinds of examples are not easily obtained. Future work may use FEA to compare results with the analytical model proposed.

7. References

ALSONS, H.S.; AMDAHL, J. On the resistance to penetration of stiffened plates, Part 1 – Experiments. *International Journal of Impact Engineering.* Volume 36, pages 799-807, 2009.

ISHIKURA, D.; AL-QURESHI. H.A. An investigation of perforation of metallic and composite plates by projectiles. P*roc Fifth Pan American Congress of Applied Mechanics—PACAM V*. San Juan: 1997, pp. 194–197.

GONÇALVES, D.P.; DE MELO, F.C.L.; KLEIN, A.N.; AL-QURESHI, H.A.: Analysis and investigation of ballistic impact on ceramic/metal composite armour. *International Journal of Machine Tools &*. M*anufacture*, Volume 44, pages 307–316, 2004.

HARIS, S.; AMDAHL, J. Analysis of ship-ship collision damage accounting for bow and side deformation interaction. *Marine structures*. Volume 32, pages 18-48, 2013.

HUGHES, O.F.; PAIK, J.K. Ship structural analysis and design. New Jersey, USA: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2010.

PEDERSEN, P.T.; ZHANG, S. On impact mechanics in ship collisions. *Marine Structures*, Volume 11, pages 429-449, 1998.

QVIST, S.; NIELSEN, K.B.; SCHMIDT, M.H.; MADSEN, S.H. Ship Collision – Experimental and Numerical Analysis of Double Hull Models. *9th DYMAT Technical Conference*, 1995.

WEN, H.M.; JONES, N. Experimental Investigation of the Scaling Laws for Metal Plates Struck by Large Masses. *Int. Journal of Impact Engineering*, Volume 13, No. 3, 1993, pp. 485-505.

ZHANG, S. The Mechanics of Ship Collision. Department of Naval Architecture and Offshore Engineering, Technical University of Denmark. Lyngby, 1999.

Gestión de riesgo operacional en la industria marítima y portuaria

Rodrigo Andrade Rigazzi
Gerente de Desarrollo
ABS Group Chile

RESUMEN

La Gestión de Riesgo, si bien es una actividad que es intuitiva e inseparable de las decisiones humanas, usualmente se hace de manera no estructurada y con importantes sesgos en el proceso de toma de decisiones, lo que introduce errores que producen impactos en los proyectos y las operaciones y afectan los objetivos de las organizaciones. Se requiere que la Gestión de Riesgo Operacional tenga una mirada integradora que permita adoptar medidas de control efectivas para maximizar la utilización de los activos con riesgos aceptables.

El presente trabajo describe conceptos de Gestión de Riesgos Operacional y aborda una mirada de alto nivel sobre cómo las compañías debieran desarrollar sus aspectos más relevantes, definiendo una estrategia corporativa y estructurada para la toma de decisiones en que los elementos de Riesgo estén presentes en forma activa en los análisis.

1. INTRODUCCIÓN

La Gestión de Riesgo, si bien es una actividad que es intuitiva e inseparable de las decisiones humanas, usualmente se hace de manera no estructurada y con importantes sesgos en el proceso de toma de decisiones, lo que introduce errores que producen impactos en los proyectos y las operaciones y afectan los objetivos de las organizaciones. Se requiere que la Gestión de Riesgo Operacional tenga una mirada integradora que permita adoptar medidas de control efectivas para maximizar la utilización de los activos con riesgos aceptables.

El presente trabajo describe conceptos de Gestión de Riesgos Operacional y aborda una mirada de alto nivel sobre cómo las compañías debieran desarrollar sus aspectos más relevantes, definiendo una estrategia corporativa y estructurada para la toma de decisiones en que los elementos de Riesgo estén presentes en forma activa en los análisis.

2. CONCEPTOS GENERALES DE GESTIÓN DE RIESGO

2.1. RIESGO OPERACIONAL

El Riesgo es básicamente el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos de negocio que se puede definir de la siguiente manera:

- El efecto de una desviación de los resultados esperado, positivo o negativo.
- El riesgo es con visión de futuro y se refiere a acontecimientos futuros o circunstancias.
- El riesgo a menudo se caracteriza como referencia a posibles eventos, consecuencias o una combinación de éstas y cómo pueden afectar el logro de objetivos.
- Los objetivos pueden tener diferentes aspectos como el financiero, salud y seguridad y las metas ambientales y puede aplicarse en diferentes niveles como estratégica, toda la organización, proyecto, producto y proceso.

Riesgo a menudo se expresa en términos de una combinación de las consecuencias de un evento y la probabilidad asociada de ocurrencia de la consecuencia.

Sin embargo, hay riesgos que son tan relevantes para el funcionamiento de la empresa que deben ser abordados de una manera integrada y holística. Los llamados Riesgos Materiales son riesgos significativos y relevantes para el logro de los objetivos de la compañía, unidad de

negocios y proyectos de Capital, expresada a través de la utilización de la matriz de riesgo apropiada.

2.2. EL PROPÓSITO DE DESARROLLAR EL PROCESO DE GESTIÓN DE RIESGOS

El propósito de aplicar el proceso de gestión de riesgos puede definirse de la mejor manera como aquel intento por reducir las pérdidas en forma proactiva y sistemática. Por supuesto, que aquellos aspectos relacionados con los requerimientos regulatorios contribuyen a la razón lógica que fundamenta la gestión de riesgos. Sin embargo, la gestión de riesgos no fue desarrollada por los legisladores. La gestión de riesgos fue desarrollada por las industrias y compañías con el objetivo de mejorar su desempeño.

El fundamento básico por la cual la gestión de riesgo existe, sigue siendo la necesidad de mejorar el desempeño o rendimiento de una empresa. Aunque la gestión de la salud y seguridad ocupacional/prevención de riesgos ha experimentado un mejoramiento considerable en las dos últimas décadas, la ocurrencia de eventos no deseados con graves consecuencias continúa excediendo las expectativas de la comunidad y de las compañías mismas, lo que requiere una mirada y metodología que sea integradora a todos los procesos de la compañía.

Para canalizar de mejor manera la necesidad de mejorar el desempeño de una empresa, la gestión de riesgo debería concentrarse/focalizarse en el mejoramiento de la calidad de los procesos de toma de decisiones. A diario se toman cientos de decisiones en todos los niveles de una organización. Algunas de ellas pueden estar relacionadas con algunos temas importantes, como es el caso del estudio de factibilidad de un proyecto o nuevas inversiones o ampliación de capacidades, mientras que otras decisiones tienen que ver con los métodos de trabajo o cumplimiento de las tareas en terreno. Nos enfocaremos en las primeras por la relevancia estratégica que tienen para la vida de las empresas.

3. EL DISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGO OPERACIONAL.

Un sistema de gestión de riesgo operacional está conformado por un conjunto de elementos que deben trabajar en completa conjunción y complementación para desarrollar en una empresa una capacidad superior a la experimentada, de tal forma de operar con riesgos aceptables y aumentar progresiva y efectivamente su desempeño.

El primer componente para un desempeño superior corresponde a un diseño conceptual o modelo que representa la arquitectura de la respuesta de control sobre las operaciones y las amenazas.

La segunda componente está formada por los procesos de gestión con los cuales el diseño conceptual se lleva a la práctica formal y estandarizada.

La tercera componente está conformada por los procesos que caracterizan la realidad vigente o línea base y se hacen cargo del cambio en las personas y el la componente social o del conjunto de personas que conforman la organización. Esta última requiere de un proceso de cambio cultural que nos será tratado en el presente artículo, ya que requiere de un desarrollo que escapa a los tiempos y alcance presentes.

3.1. DISEÑO CONCEPTUAL DEL MODELO DE GESTIÓN DE RIESGOS

La apreciación de la situación de alto nivel sobre la amenaza a enfrentar.

La industria Marítima y Portuaria enfrenta grandes amenazas en la explotación de sus recursos y activos. Sus operaciones tienen particularidades en cuanto a las amenazas que no están en otros procesos industriales.

Por tal razón su respuesta ante estas amenazas debe ser estudiada más allá de lo que se ha practicado comúnmente como prevención de riesgos tradicional o lo que indican las normas, códigos y reglamentos en aplicación. Como las amenazas son mayores, el diseño de ingeniería debe aportar significativamente para encontrar respuestas robustas a esas amenazas de nivel superior. Las particularidades se resumen en las siguientes:

- **Grandes Energías:** En primer lugar, en los procesos de la industria marítima y portuaria están presentes energías de gran magnitud. En casi todos los procesos están presentes grandes energías y por tanto gran capacidad de hacer daño cuando se liberan.
- **Interface frecuente entre energías y activos y personas:** En segundo lugar hay frecuente y gran interface de las energías con los activos, el medio ambiente y sus efectos directos en los accidentes.
- **Variabilidad de los Procesos:** En tercer lugar los procesos tienen alta variabilidad y por tanto obligan a los operadores a estar permanentemente percibiendo, analizando y tomando decisiones de control con la consiguiente probabilidad de cometer errores de diferentes tipos.

- **Cultura organizacional, cultura de base, educación y conciencia:** Hay aspectos de la cultura tradicional de la producción, de la educación y conciencia sobre peligros riesgos y amenazas muy básicas e insuficientes para la realidad que se enfrenta y para la magnitud de las amenazas y consecuencias. Finalmente se puede señalar que los trabajadores se ven enfrentados a turnos extensos, en jornadas nocturnas y en condiciones climáticas que puede afectar su condición fisiológica y su apresto mental.

Cuando hay un escenario de altas y variadas amenazas como el descrito, el diseño del sistema de respuesta debe ser robusto y su diseño debe lograr una alta eficacia. Esta "alta eficacia" se logra mediante un diseño de barreras sucesivas y especializadas en diferentes niveles de riesgo y eficacia del tratamiento para construir dichas barreras con métodos de ingeniería y diseño integrado en un Sistema de Gestión de Riesgo Operacional.

El diseño para una gestión de riesgos operacional considera el diseño y el empleo de sucesivas barreras que se encargan cada una a su nivel de identificar y contrarrestar amenazas de manera especializada.

Este concepto sobre el cual se fundamenta, es el mismo diseño y modelo propuesto por James Reason para los errores humanos en los accidentes y que se muestra en la

Figura Nº **1**.

Esta concepción considera lo siguiente:

Entre los peligros, las amenazas, las casualidades y los accidentes relevantes se encuentran todos los actores de la Gestión de Riesgo Operacional.

Estos actores son los trabajadores, operadores, supervisores, los supervisores de gestión operacional, los directivos Gerentes y también las autoridades reguladoras que mediante leyes, reglamentos y normas imponen requisitos a las operaciones.

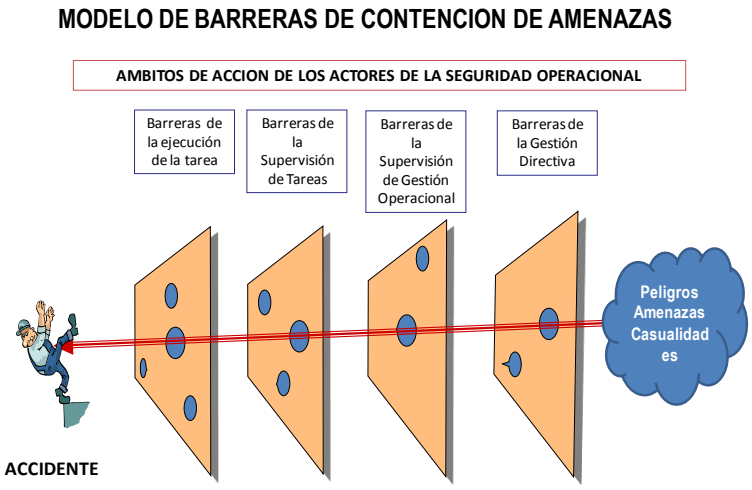


Figura Nº 1. Modelo de James Reason para la defensa en profundidad

El diseño conceptual considera que cada barrera se especializa en tipos de peligros y amenazas diferentes y sucesivas de manera que al entorno de trabajo de las personas ya se han tamizado, tratado y controlado peligros y amenazas con diferentes respuestas de ingeniería.

Este mismo concepto de barreras y controles sucesivos se considera también para la actuación del ser humano que incorpora mediante sus acciones, errores y violaciones fallas a esas barreras de contención que se han diseñado. Cada nivel diseña y pone en práctica sus propias barreras especializadas, sin embargo como son personas las que ejecutan el sistema, siempre tendrá opciones de fallas debido a la intervención de las personas. Por esta razón el diseño también considera un diseño de barreras para los errores humanos en los mismos niveles, lo que se muestra en la Figura Nº 2.

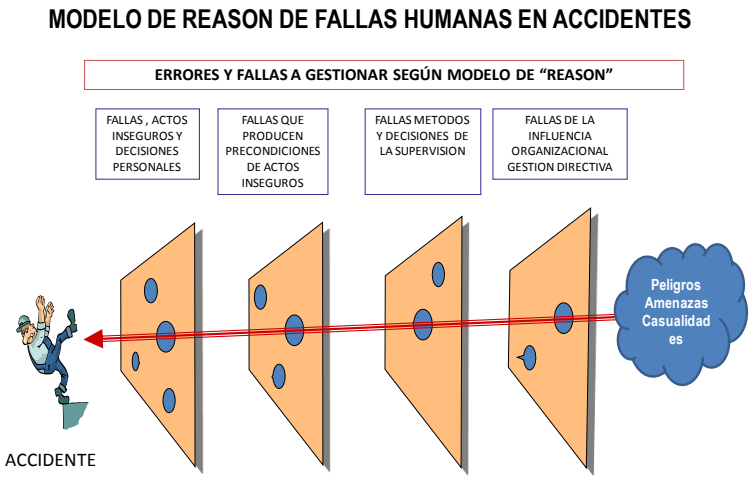


Figura Nº 2. Modelo de James Reason para errores humanos

En este caso el diseño de barreras se aplica a los errores humanos que al estar presentes en todas las operaciones podrán mediante sus acciones y omisiones producir condiciones para los errores de otros o bien liberar las amenazas y alterar las contenciones.

El diseño o la arquitectura de este modelo de respuesta ante las amenazas, sigue los lineamientos que fueron introducidos por James Reason en cuanto a diferentes contribuciones, barreras y defensas que los diferentes actores de la gestión de riesgo operacional deben incorporar y ejecutar para que sus procesos y errores inherentes sean contrarrestados por secuencias de barreras que se levantan entre los peligros y los accidentes fatales.

Los peligros energías y contenciones siempre están en una operación marítima portuaria y forman parte de la realidad y de los activos y las operaciones de explotación. Entre estos y los accidentes se ubican los actores de la gestión de riesgo operacional. Cada uno de ellos estudia y desarrolla barreras para contrarrestar las amenazas dentro de las cuales están los errores humanos. Se identifican y contrarrestan las oportunidades de propios errores y violaciones y para detectar y corregir los errores de otra capa de barreras y controles. Cada nivel mencionado trabaja sobre sus procesos y define errores y barreras para prevenir y reducir la ocurrencia.

Estos niveles de barreras o capas se abocan a las responsabilidades mencionadas en el Modelo de Reason para los diferentes tipos de errores y también se toma como referencia concreta el despliegue y descriptores que se ha efectuado para concretar este tema en aplicaciones industriales.

El diseño propuesto considera la incorporación y el despliegue de barreras para los 4 niveles identificados anteriormente, lo que se indica como niveles de gestión de riesgo operacional, que se muestra en la Figura Nº 3.

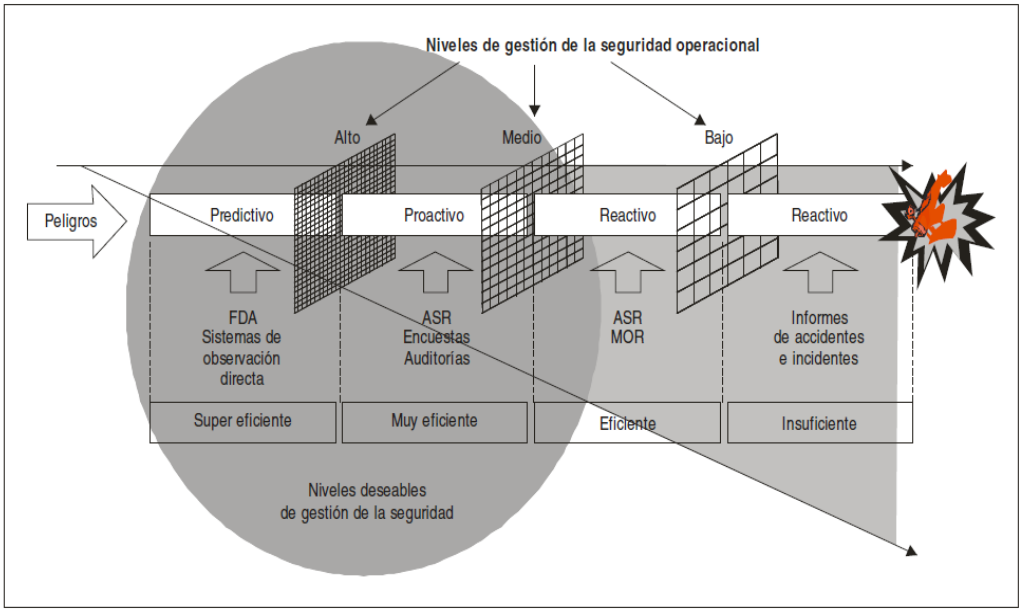


Figura Nº 3. Niveles de gestión de riesgo operacional

3.2. BASES PARA EL DISEÑO TÉCNICO DE PROCESOS Y DE GESTIÓN.

Un sistema de gestión de riesgos está formado por un conjunto de procesos que se entrelazan para concretar los procesos de gestión directiva y los procesos de gestión operacional y ambos se orientan a lograr, mantener y superar objetivos específicos declarados por la alta dirección.

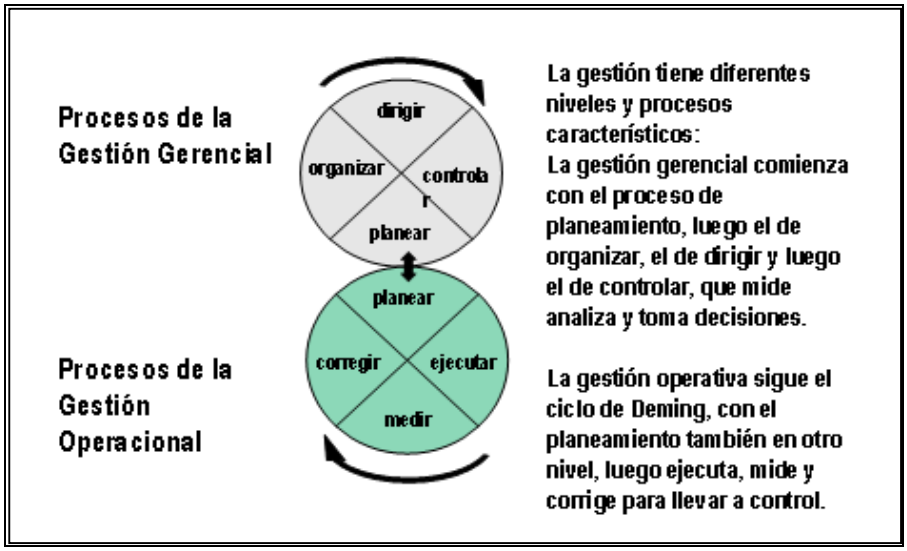
Tal como se muestra en la Figura Nº 4, el diseño considera concretar de manera formal, específica y exhaustiva los procesos de la administración científica asociados a la gestión directiva. Esto es definir con claridad los procesos de planeamiento, organización, dirección y control para los tres niveles directivos de la empresa entendiendo como tales los dos niveles de Gerentes y de los Subgerentes, Directores o cargos equivalentes.

Planeamiento de objetivos, indicadores y procesos de establecimiento de metas y compromisos. Definiciones sobre métodos de definición de estrategias gerenciales para el mejoramiento y mantenimiento del proceso de cambio, sus recursos y despliegue organizacional. En cuanto al proceso de Organización se definen los métodos superiores de la empresa, los métodos avanzados para el entrenamiento del proceso de cambio y de actividades críticas y del Núcleo Base del proceso de cambio.

En cuanto a los procesos de Dirección se considera definir formalmente los procesos, actividades y aspectos que deben formar parte este proceso directivo de Dirección entendiendo como tal las actividades que dan orientación, establecen comunidad de propósito y de acción,

renuevan el esfuerzo, que definen las adaptaciones ante los cambios y que concretan los hábitos y estándares durante el proceso de cambio. Finalmente se definen los procesos de control entendiendo como tales aquellos que definen las mediciones e indicadores, que definen procesos de tratamiento y desarrollo de información y la distribución para el análisis y la toma de decisiones de los directivos.

Se establece de manera formal los procesos de la gestión directiva con base en la administración científica considerando las mejores prácticas y la necesidad de disponer de objetivos, mediciones y estrategias adecuadas y eficaces para concretar el proceso de cambio.



- **Figura Nº 4. El proceso de Gestión gerencial y Operacional.**[31]

Ambos aspectos se incorporan y se desarrollan métodos procedimientos y guías para incorporar los temas y diseñar de forma robusta la gestión operacional. Esto produce una jerarquía de metodologías para hacer realidad estos diseños de capas, los errores humanos asociados y las guías o procedimientos para cada capa y barreras. En los siguientes capítulos se mostrará la manera de utilizarlos para el desarrollo de la Gestión de Riesgos Operacionales.

Los sistemas normalmente consideran el conjunto de los procesos que son necesarios y buenas prácticas para la gestión de una operación industrial. Estos sistemas de gestión normalmente son evaluables bajo estándares de reconocimiento internacional lo que permite una certificación o acreditación por parte de organismos externos o de tercera parte. En este caso esta estándar

[31] Adaptado del ciclo de Deming.

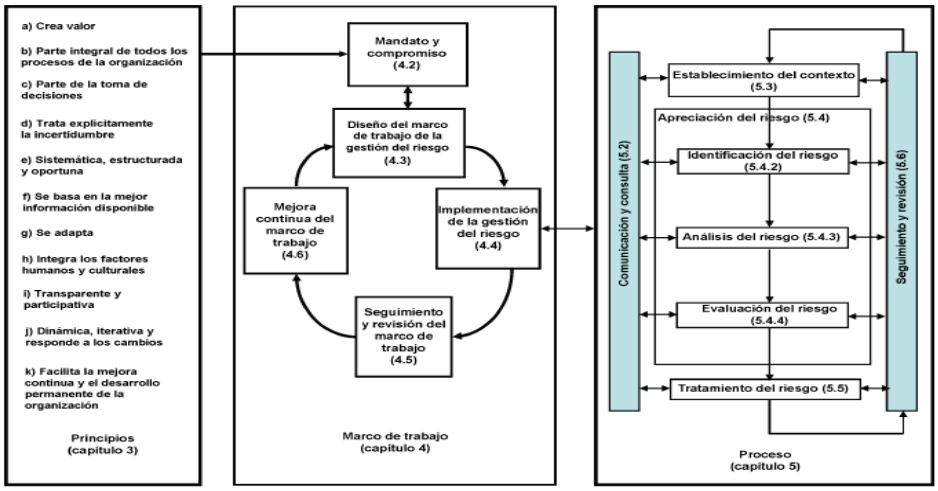
internacional como guía de desarrollo y evaluación que se propone en este caso es la Norma o Guía ISO 31.000 Gestión de Riesgos.

Estos sistemas entregan descriptores sobre los requisitos que debe contener un sistema de gestión de riesgos, el sistema es el mismo para todas las empresas. Definen requisitos, sin embargo no establecen el cómo ejecutarlos, ni métodos específicos para concretarlo. Lo más relevante es que tampoco definen nada sobre el diseño base y los contenidos de la gestión y la empresa debe definirlos en directa relación con sus realidades, necesidades, objetivos y recursos.

El diseño y contenido del sistema de gestión como tal, debe definirse en relación directa a la condición actual de la empresa tanto en el plano técnico como en el plano social. También a sus necesidades y realidades. Este diseño particular para cada empresa se sustenta y se hace operacional mediante el conjunto de procesos que están considerados en los sistemas como los descritos en la ISO 31.000.

La empresa incorpora más procesos según sus realidades y necesidades y los métodos y contenidos según su cultura. El diseño es orientado a cubrir las necesidades y expectativas de la organización y su alta dirección, sin limitarse al cumplimiento de los requisitos y de una eventual certificación. El objetivo superior de la empresa es tener un sistema de gestión adecuado y eficaz para concretar el proceso de cambio en el desempeño en forma confiable y progresiva para lograr los objetivos de mejoramiento y desempeño con riesgos aceptables.

En la Figura Nº 5 se presenta el modelo de la Norma ISO 31.000 referida y se puede visualizar el conjunto de temas o requisitos que su contenido describe.



- **Figura Nº 5. Diagrama de Evaluación de Riesgo de acuerdo a la Norma ISO 31.000**

4. EL NIVEL GERENCIAL COMO GESTORES DE LA OPERACIÓN INDUSTRIAL.

Como una manera de operativizar la implementación del desarrollo del diseño indicado en el punto anterior, es que se propone la utilización del modelo de las cuatro capas (Four Layers Model®) mostrado en la Figura Nº 6 y que está basado en el desarrollo realizado por la Universidad de Queensland y que se aplica a cualquier tipo de industria.

El modelo aborda la necesidad de que las diferentes barreras en contrarrestar las diferentes amenazas que pueden resultar en pérdidas es un punto clave en la Gestión Gerencial. Por supuesto que los accidentes pueden producirse en las labores y condiciones inmediatas en que los trabajadores ejecutan, sin embargo esta no es la única instancia de causalidad y es más la gran mayoría de las investigaciones profesionales de accidentes determinan que las causas raíces o fundamentales, las fallas latentes, se ubican en los niveles y procesos organizacionales que son previos y que están alejados de las labores ejecutadas que experimentaron el accidente.

Cada labor que se va a ejecutar proviene de un proceso de planeamiento, de programación, de preparación, de coordinación tanto del uso de los recursos como también de los trabajadores. Estos procesos determinan niveles de actividad, metas, condiciones, interacciones entre diferentes labores. Si estos procesos planeados no son metodológicos si no se hacen análisis de riesgos y se determinan los controles para los riesgos relevantes o de mayor peligro de un plan se producen precondiciones para los errores y precondiciones para los accidentes.

Si la Supervisión no hace a cabalidad sus procesos de gestión de riesgos en la planificación de procesos y labores, lo que está produciendo son debilidades y fallas de sus propias barreras y controles y creando precondiciones para los errores humanos o para la liberación de las energías producto del cual se produce una pérdida terminan accidentados, medien o no sus propios errores. Hay muchos accidentes fatales y con pérdida y daño de activos donde los trabajadores no cometieron errores ni violaciones y resultaron accidentados por errores, fallas y carencias de la planificación o de procesos técnicos o de gestión cuando los trabajos fueron definidos, planeados y preparados.

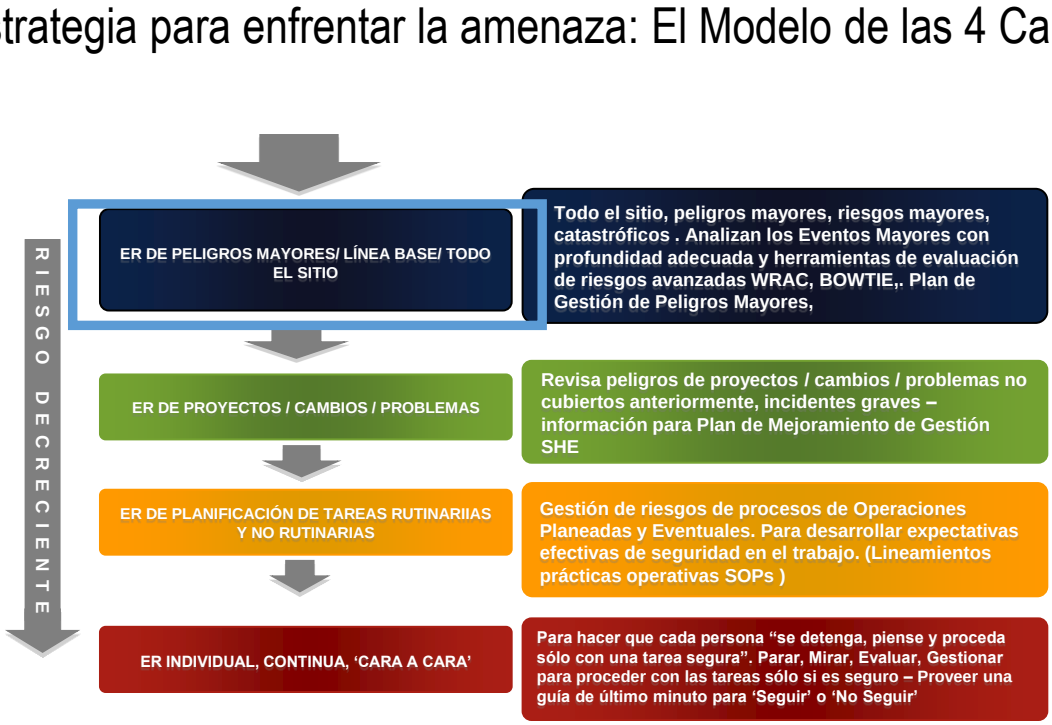


Figura Nº 6. El modelo de Gestión de Riesgos de 4 Capas.[32]

Por otra parte la faena industrial tiene configuraciones geográficas y características del territorio que independientemente de las labores unitarias, pueden experimentarse eventos catastróficos que terminan en pérdidas mayores. La pérdida de control de las naves, la colisión en alta mar, los factores climáticos, las maniobras de recalada y zarpe, las faenas de carga y descarga, las consecuencias medioambientales, la maximización del uso de los activos, el desarrollo de las actividades en forma armónica con la comunidad, explosiones y manejo de carga peligrosa, por citar algunos, constituyen eventos catastróficos que de ocurrir pueden producir fatalidades múltiples y también suspensiones o limitaciones en la licencia para operar. Obviamente esto,

[32] Modelo reproducido con la autorización de JKTech Australia.

además de las fatalidades eventuales, tiene impactos económicos y de riesgo en alcanzar los objetivos y metas de la generación de valor que es lo que nos interesa.

También las instalaciones y equipos parta la explotación operan en condiciones y con productos que pueden ser de alto poder energético, inflamable, venenosos, tal como ocurre en el caso de los materiales peligrosos.

Todos estos son peligros catastróficos de gran magnitud, peligros mayores característicos de los activos y de las instalaciones, con impactos mayores a una fatalidad y no tiene que ver con labores o intervención de trabajadores solamente. Tienen que ver con la ingeniería, con el diseño, con los procesos de control y de gestión que la empresa y sus gestores tienen en diseño y ejecución para prevenir el desarrollo de crisis fallas y catástrofes.

Estas amenazas o peligros mayores por estar relacionados con los activos y sus condiciones y ser de gran magnitud y estar regulados muchos de ellos por mandatos legales, corresponden a un área de responsabilidad de los gerentes, por ser ellos los que han recibido sus designaciones para operar los activos y producir valor para los accionistas dentro del cumplimiento de los mandatos y compromisos con los grupos de interés y representan la materialización de la Gestión de Riesgo Operacional.

A estos riesgos mayores se le conoce como los riesgos de Línea Base, ya que son los riesgos inherentes a los activos y sitio geográfico de explotación. Esta responsabilidad se ve enormemente reforzada, aumentada cuando se incorporan las otras dimensiones de riesgos operacionales, tal como medio ambiente y responsabilidad social, entre otras.

El modelo que representa los diferentes niveles de Gestión de Riesgo mostrado en la Figura Nº 6 se relaciona directamente con la Figura Nº 5 del proceso de Gestión de Riesgo, ya que para cada nivel o capa del modelo de las cuatro capas se requiere realizar el mismo proceso con diferentes herramientas, las que son parte del capítulo siguiente. De la misma manera, se puede aplicar el mismo modelo a la gestión de riesgo de las diferentes etapas de un proyecto.

5. EL PROCESO DE GESTIÓN DE RIESGO EN EL CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO.

El desarrollo de un proceso seguro y productivo que se muestra en la Figura Nº 7, parte con mayor efectividad en los comienzos el ciclo de vida de sus componentes. Visto de esta manera, el "ciclo de vida" es otro concepto importante en la aplicación de un proceso de gestión de riesgos.



Figura Nº 7. Proceso de desarrollo de Proyecto

El marco referencial o esquema de la GR describe un proceso. Por diversas razones la aplicación detallada de este marco referencial varía.

Un aspecto de cualquier proyecto que debe considerarse en la GR involucra el ciclo de vida. Cada equipo, procedimiento, método de operación etc tiene un ciclo de vida. Cada fase del ciclo involucra diferentes riesgos y a menudo, diferentes métodos de analizar y gestionar los riesgos.

El objetivo de analizar y gestionar los riesgos difiere para cada fase del ciclo de vida.

En la fase del concepto los tópicos relativos a los riesgos son el grado de aceptación de los riesgos inherentes del proyecto y la identificación de los temas más relevantes antes de proceder con el diseño.

En la fase del diseño la necesidad consiste de revisar los planos, los trazados y plantas, las especificaciones técnicas, etc. y cerciorarse que definan y consideren los riesgos más significativos.

En la fase de adquisiciones los riesgos involucran el proceso de revisar las opciones y elegir la mejor de estas alternativas después de considerar los temas relativos a los riesgos más importantes y relevantes, así como también aquellos que no lo son.

Por otro lado, es importante controlar los riesgos en la etapa de construcción a través de la revisión de los planos de construcción.

En cuanto a la fase de operación puede surgir la necesidad de establecer los detalles relativos al proceso de producción y los Procedimientos Operacionales, los cuales se pueden desarrollar mediante el empleo del proceso de análisis de riesgos.

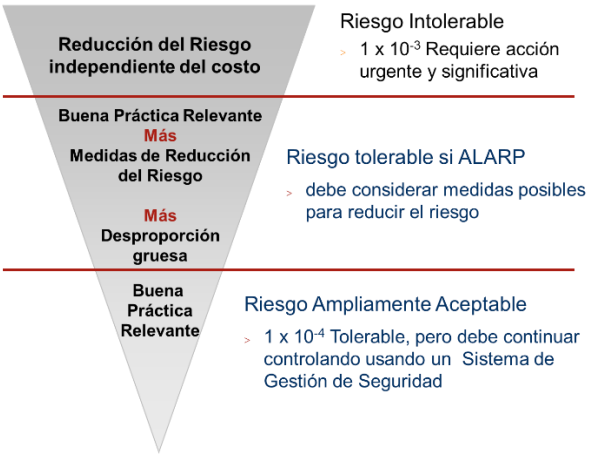
Al igual que en la fase de operación, en la de mantención, será necesario definir e implementar los Procedimientos Operacionales que sean necesarios, así como también, un plan de mantención que se pueda optimizar mediante el uso del análisis de riesgos.

Cualquier tarea de modificación de carácter significativo o cambio que pueda traducirse en la generación de un nuevo riesgo importante, deberá realizarse en la etapa de revisión del diseño mediante la aplicación del análisis de riesgos.

Finalmente, los riesgos pueden ocurrir en la fase de eliminación o después de ella, especialmente si esta actividad es susceptible de convertirse en un tema de contaminación o exposición ante la opinión pública.

6. EL NIVEL DE ACEPTACIÓN DE LOS RIESGOS

Uno de los conceptos de mayor desafío en lo que concierne al proceso de gestión de riesgos es el establecimiento del nivel de aceptación (percepción) de los mismos. No existe el concepto de cero riesgo en caso de haber un posible o evidente peligro existente en el lugar de trabajo. Los riesgos se deben manejar hasta un nivel tanto bajo como sea razonablemente posible (NTBCSRP) desde el punto de vista operacional/práctico (ALARP, por sus siglas en inglés).



La ilustración anterior[33] tiene como finalidad dar a conocer los diferentes niveles de percepción/aceptación relativos al concepto ALARP.

[33] Adaptada del documento "Guía sobre la Toma de Decisiones basadas en el concepto del "nivel de aceptación/percepción lo más bajo posible desde el punto de vista operacional/práctico (ALARP) en el Control de los Accidentes de Mayor Relevancia" (Servicio de Salud y Seguridad Ocupacional del Reino Unido, UK SHE, 1999).

El triángulo invertido de esta ilustración tiene como finalidad mostrar el grado de incremento de los riesgos desde abajo. La parte superior o el nivel de riesgo más alto se denomina "Riesgos Inaceptables".

El mencionado documento indica que si un riesgo está en ese sector del triángulo no se puede verificar el correspondiente nivel de ALARP y por tanto se deben tomar las acciones correspondientes para reducirlo sin importar los costos. El documento indica también que un riesgo inaceptable para cualquier trabajador es aquel que presenta una probabilidad de muerte de un caso entre 1 en 1000 al año.

7. CONCLUSIONES.

Las industrias marítima y portuaria conviven con peligros de gran magnitud y con un alto potencial de daño. Por lo tanto, la Gestión de Riesgos es inherente a las actividades de la industria y deben ser incorporadas en el proceso de toma de decisiones a través de un sistema robusto, estructurado y sostenible.

Se debe considerar que las compañías se componen de personas, las cuales son las responsables de todas las decisiones que tienen algún impacto sobre los riesgos. Con esta comprensión, se pueden diseñar sistemas que sean robustos en la prevención efectiva de eventos no deseados que afecten los objetivos de las empresas a través de modelos de defensa en profundidad.

La defensa en profundidad requiere que para tratar los riesgos críticos, se haga diseño que permita incorporar barreras a los procesos, incrementando considerablemente la robustez y resiliencia de los sistemas a los riesgos presentes.

La incorporación de un proceso de gestión de riesgos radicado en la ISO 31000 permite estructurar de manera sistemática una forma de evaluar riesgos y tratarlos, lo que al ser aplicado al Modelo de las Cuatro Capas permite aplicarlo a toda las actividades de la organización, incluyendo los proyectos.

Las organizaciones deben definir sus parámetros de aceptabilidad del riesgo, como también las metodologías que van a utilizar para comenzar el camino de desarrollo de las capacidades que les ayuden a lograr excelencia operacional.

8. BIBLIOGRAFÍA

a. Marine risk assessment, Health and Safety Executive

b. Guía sobre la Toma de Decisiones basadas en el concepto del "nivel de aceptación/percepción lo más bajo posible desde el punto de vista operacional/práctico (ALARP) en el Control de los Accidentes de Mayor Relevancia" (Servicio de Salud y Seguridad Ocupacional del Reino Unido, UK SHE, 1999)
c. Guidelines for Risk Based Process Safety, CCPS
d. Guidance notes on risk assessment applications for the marine and offshore oil and gas industries. American Bureau of Shipping
e. Human Error, James Reason
f. ISO 31000 - Risk management, International Organization for Standardization
g. Managing the Risks of Organizational Accidents, James Reason 1997.
h. Plan de desarrollo de competencias distintivas para profesionales y responsables directivos de la seguridad operacional, C. Bastías, ABS Group Chile.
i. Port & Harbour Risk Assessment and Safety Management Systems, Maritime Safety Authority of New Zealand.
j. Queensland Mines and Energy, Human Factors in Queensland Mining, Simstars
k. Safety and Risk Management Program, JKTech,
l. University of Queensland, Safety and Risk Management Process

Diagnóstico e proposta de modelo de avaliação operacional para automação em terminais de contêineres no brasil

Prof. Dr. Marcelo Patricio
(m.patricio@btp.com.br)

Prof. Dr. Rui Carlos Botter
(rcbotter@usp.br)

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica – USP
Av. Professor Mello Moraes, 2231 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-030

RESUMO

Esse artigo técnico apresenta um diagnóstico da questão de automação em terminais de contêineres no Brasil, assim como oferece uma proposta de um modelo que permita auxiliar a reflexão no momento da tomada de decisão na escolha da automação de equipamentos e/ou de processos que compõem as principais atividades de um terminal de contêineres.

O modelo apresentado pretende ser uma proposta de análise expandida, isto é, um conceito amplo, que não verifique apenas análises financeiras, mas outros aspectos pertinentes à gestão e planejamento de um terminal, indicados por meio de um conjunto de variáveis. A saber: Layout existente ou proposto do terminal, Investimento financeiro CAPEX e OPEX, Confiabilidade dos sistemas de automação, Integração com sistemas de Tecnologia da Informação e Inteligência de Equipamento, em especial com os Sistemas de Operações dos Terminais, mas conhecidos como "TOS" (Terminal Operating System), Organização do trabalho e alterações de procedimentos operacionais, Contribuição para a segurança e meio ambiente, Obrigatoriedade legal do uso de automação, Custo e Intensidade do uso de mão de obra.

A contextualização do setor e evolução da automação na indústria portuária; assim como um quadro atual da situação (diagnóstico) de automação dos terminais brasileiros será apresentada.

Posteriormente, a revisão bibliográfica do tema com os principais artigos nacionais e internacionais. Todo esse arcabouço busca demonstrar o hiato existente entre os estágios automatizados e não automatizados.

ABSTRACT

This technical study aims a diagnosis of automation in container terminals in Brazil, and offers a proposal of model that allows assist the reflection at the time of decision making in the choice of automation equipment and/or processes that compose the main activities of a container terminal.

The model to be presented is intended to be a proposal for expanded analysis, ie, a wide concept, which not only make financial analysis, but others relevant to the terminal management and planning, indicated by a set of variable features.

Namely: existing or proposed layout, Financial Investment CAPEX and OPEX, Reliability of automation systems, integration of Information and Intelligence hardware technology systems, in particular with the Terminal Operating System (TOS), organization of work and changes in Standards Operating Procedures, Contribution to safety and the environment, legal obligation of the use of automation, cost and intensity of use of labor.

The contextualization of the sector and the evolution of automation in the port industry; as the current situation (diagnosis) of Brazilian container terminals will be presented. Subsequently, the literature review of the topic with the main national and international articles.

All this framework seeks to demonstrate the gap between automated and non-automated stages.

1. EVOLUÇÃO DA MOVIMENTAÇÃO DE CONTÊINERES NO BRASIL

Davidson (2014) indica o tamanho da indústria de contêiner global com uma movimentação total de contêineres de aproximadamente 640 milhões de TEUs/ano, mais de 5.000 portêineres ao redor do mundo e cerca de 600 quilômetros de berços, em 700 terminais especializados em contêineres e mais outros 600 terminais *multi-purpose* e instalações para operação *Roll on Roll off* (RO-RO). A estimativa de receita é de US$ 48 bilhões e EBITDA de US$ 11 bilhões (aproximadamente 22%).

Patricio (2005) indica que a indústria marítima, em especial o mercado de transporte de cargas em contêineres, foi o que mais cresceu e continuará crescendo, principalmente em razão dos fatores: da contínua expansão da conteinerização; do aumento do comércio de mercadorias de maior valor agregado e industrializadas; a intensificação do processo de globalização e o crescimento no tamanho dos navios; do fato de diversas indústrias multinacionais estarem instaladas no país, o que obriga que o Brasil se integre às cadeias de suprimentos globais; a migração de commodities e produtos básicos para o contêiner; a diversificação de mercados e produtos; a pulverização dos pontos de entrega; o aumento de terminais especializados no manuseio de contêineres e o aumento da demanda contratada.

Na Figura 1 é apresentada a evolução da movimentação de contêineres em unidades dos portos brasileiros entre 2000 a 2013, assim como a evolução percentual de crescimento anual. Observa-se que o crescimento médio do volume de contêineres no Brasil ao ano foi de 10,1%. Contudo, a maioria dos portos brasileiros encontra-se abaixo da faixa de 500.000 mil unidades de movimentação anual; exceção apenas dos portos de Santos com 2,1 milhões e Itajaí (somado o volume de Navegantes) com 670 mil unidades. Entretanto, é emblemático o crescimento da movimentação nos diversos portos da figura 1; por exemplo: os portos de Rio Grande e Rio de Janeiro dobraram a sua movimentação; os portos de Santos, Paranaguá, Salvador, Vitória e São Francisco do Sul (adicionada à movimentação de Itapoá) tiveram as suas movimentações triplicadas

Porto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Santos	772.760	713.740	836.511	1.037.271	1.247.112	1.478.428	1.603.868	1.654.713	1.743.412	1.469.151	1.762.205	1.915.292	2.013.922	2.177.307
Itajai	103.626	142.191	192.506	268.160	318.240	364.883	472.417	390.394	396.287	346.479	565.017	594.486	616.580	670.988
Rio Grande	193.764	220.571	272.904	324.015	350.646	374.190	369.362	388.320	372.811	394.005	408.835	395.218	388.904	400.677
Paranagua	146.933	166.841	156.046	182.648	224.969	245.669	296.919	348.000	356.577	367.798	399.590	313.245	452.753	452.872
Rio de Janeiro	170.337	187.352	200.516	235.969	255.723	236.505	260.232	290.575	289.059	244.536	299.623	321.160	352.626	349.201
Itaguai	2.503	10.864	12.994	17.644	89.665	126.094	194.867	174.865	213.272	154.289	196.267	216.420	216.460	257.045
Vitoria	68.043	69.128	99.511	123.259	157.208	175.051	197.903	207.234	197.773	165.420	184.737	204.393	193.478	208.254
São Francisco do Sul	110.286	112.658	159.986	173.121	168.410	146.414	128.772	201.500	175.288	152.478	118.802	177.112	281.832	333.150
Salvador	63.031	68.005	87.446	108.012	121.788	141.267	163.834	165.715	150.497	144.263	186.283	167.286	174.487	186.415
Manuas	53.475	64.035	76.497	66.491	64.146	130.000	143.093	174.570	189.330	190.000	238.646	393.065	297.059	325.662
Suape	42.172	47.767	69.555	37.303	87.263	111.668	128.237	163.500	201.562	167.870	226.538	284.124	265.415	269.405
Pecém	0	0	12.265	37.311	46.067	57.812	70.627	77.689	60.575	88.301	111.334	120.788	103.448	93.485
Fortaleza	46.886	56.170	47.537	53.202	59.343	46.326	44.408	80.689	41.201	33.000	46.855	46.514	50.242	54.802
Belem	29.463	28.762	32.768	29.958	52.337	30.946	32.463	43.465	27.479	18.363	22.377	17.787	13.355	0
Vila do Conde	0	0	0	1.834	9.530	20.668	19.363	17.690	14.498	17.605	21.527	20.756	22.494	24.155
imbituba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.462
Outros	54.450	63.947	44.798	90.486	32.855	49.498	63.823	88.205	89.213	28.620	23.438	28.573	32.078	41.079
Brasil	**1.857.729**	**1.952.031**	**2.301.840**	**2.786.684**	**3.285.302**	**3.735.419**	**4.190.188**	**4.467.124**	**4.518.834**	**3.982.178**	**4.812.074**	**5.216.219**	**5.475.133**	**5.855.959**
	16,10%	5,08%	17,92%	21,06%	17,89%	13,70%	12,17%	6,61%	1,16%	-11,88%	20,84%	8,40%	4,96%	6,96%

Figura 1 - Evolução da movimentação de contêineres dos portos brasileiros (em unidades)

Fonte: ABRATEC

Na Figura 2 verifica-se que durante os últimos 30 anos o mercado global de contêineres cresceu em média na faixa entre 5% a 10% anuais e em 15 oportunidades esses valores ultrapassaram os 10%; exceções apenas em 4 anos, a saber: 1982 que o crescimento foi de 4,6% e em 2009, ano da crise financeira global durante a qual o mundo amargou uma queda próxima de 10%, esse foi o único número indicador negativo entre 1980 e 2013 e, a partir de 2012, quando se estabelece um novo panorama e regras globais.

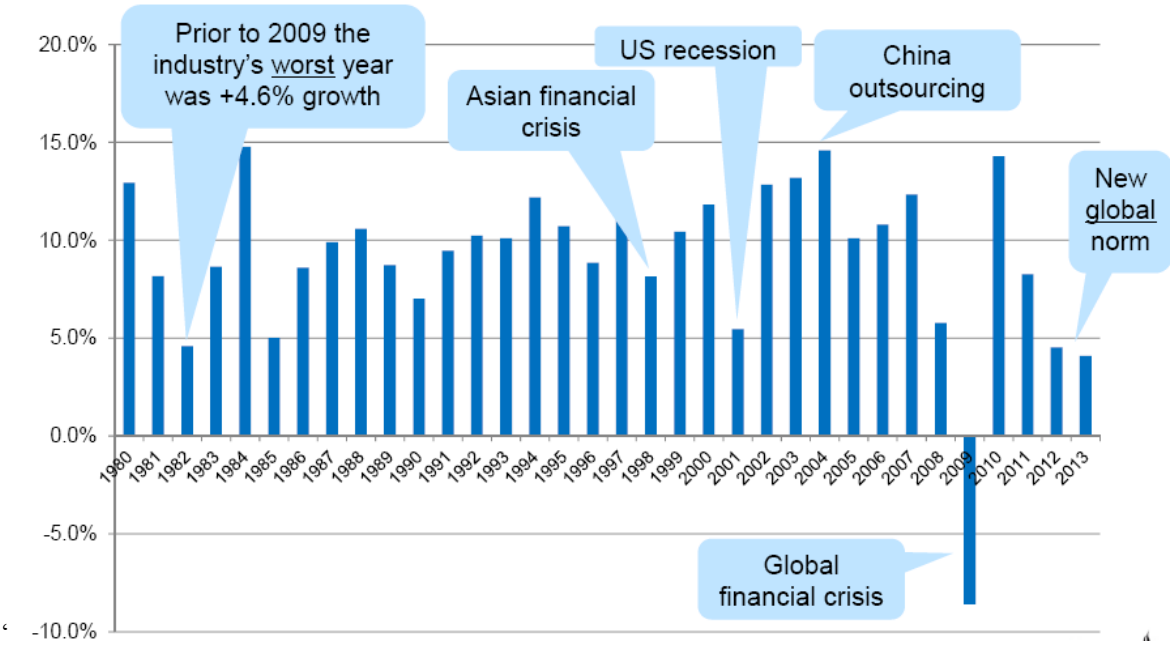


Figura 2 - Evolução histórica do crescimento mundial de movimentação de contêineres

Fonte: Drewry Maritime Advisors

As projeções média de crescimento por região até 2017 são de que o mundo continue crescendo ao ritmo de 5%, com destaque para o Leste Europeu com número próximo a 8%, seguidos do Extremo Oriente, da América Latina e África com índices de 6%. Mudando do universo de projeções para mundo de números reais de 2012, o ranking dos 120 principais portos na movimentação de contêineres; o porto de Santos, o primeiro porto brasileiro aparece na 42ª posição; o outro porto brasileiro que aparece nessa lista é o porto de Itajaí (e Navegantes) na 108° posição. Desponta nessa lista o fato de nove dos dez primeiros portos no mundo serem da região do Extremo Oriente (China, Coreia e Cingapura) como exemplo: Shanghai com 32,5 milhões de TEUS, Cingapura com 31,6 milhões de TEUS, Hong Kong com 23,1 milhões de TEUs.

Baseado no crescimento da economia, do comércio internacional e da conteinerização em um cenário de rápidas mudanças e de obsolescência, os terminais precisam de adequação; ou melhor, de readequação permanente. Thomas (2001) explica que a indústria marítima já sofreu diversas adequações quando: os armadores alteraram o transporte regular de longo curso com a formação de alianças e aquisições; quando realizou alteração na rotação de navios e portos de escala; com o crescimento dos navios; com o surgimento de novos equipamentos de movimentação e operação e, consequentemente, alteração nos terminais, nas práticas comerciais e procedimentos alfandegários, em virtude de novos sistemas de Tecnologia da Informação e Comunicação; com novos aspectos laborais e de segurança no trabalho; quesitos de meio-ambiente; de segurança da carga e cadeia segura e implantação do Código de Proteção de Embarcações e Instalações Portuárias, mas conhecido como *ISPS Code*; e completando, inserção da automação.

2. READEQUAÇÕES PERMANENTES DOS TERMINAIS

Salgado (2012) discorreu sobre a questão da "adequação permanente" dos terminais e demonstra como a atividade portuária é de capital-intensiva e que a infraestrutura e equipamentos ensejam altos custos fixos. Ele apresentou os seguintes desafios: Economias de escala, por meio das quais o custo unitário será reduzido na proporção do número de contêineres movimentados, amortizando os altos custos fixos num volume maior de contêineres movimentados; Economias de escopo, isto é, o custo de produção unitário será reduzido quando o serviço é prestado em conjunto com outro, de forma que a oferta de um mitigue o custo do outro (compensação de custos); Economias de densidade, por meio de ganhos econômicos

decorrentes da agregação de consumidores vis à vis ao fator tempo. Na atividade portuária, há um ganho crescente de produtividade verificado quanto maior for o número de berços de um mesmo terminal, pois menor será a ociosidade de cada berço e mais fácil será a distribuição, no tempo, dos navios por berço.

Atualizando, Patricio e Botter (2012) indicam que a evolução do setor de terminais de contêineres no Brasil pode ser feita com base na seguinte leitura de suas fases: Fase 0 de Contágio (antes de 1980): Não havia terminais especializados, começam as operações com contêineres no Brasil de forma bastante incipiente e precária. Fase 1 de Iniciação (1980 a 1995/1996): A operação portuária era realizada pelo governo por meio das Companhias Docas, com baixíssimo nível de serviço (8,36 movimentos por hora/navio no único terminal especializado do país com utilização de portêineres), tempo de espera para atracação de navios bastantes altos (6,16 dias de espera para atracar), altos custos operacionais, sem concorrência, e, na maioria das vezes, com a utilização dos recursos de bordo (guindastes) dos navios.

A Fase 2 de Transferência (1995/96 a 2013): Período compreendido entre dois marcos regulatórios, das leis 8.630/93 e 12.815/13, no qual ocorre a transferência das operações para iniciativa privada e os primeiros ciclos de aportes de altos investimentos dos arrendatários na aquisição de equipamentos de movimentação (exemplo: portêineres); reformas e ampliação das estruturas existente de cais e pátio; investimento em tecnologia como sistemas de gerenciamento, ferramentas de planejamento, sistemas integrados; segurança aduaneira e das instalações em atendimento ao ISPS Code; programas ambientais; treinamento e gestão e mudança organizacional e de cultura nas atividades portuárias, em especial da segurança no trabalho. Apesar de o primeiro marco regulatório ser datado de maio de 1993, considera-se novembro de 1995 como a data inicial dessa transferência, pois é a data que marca o início das operações do Terminal 37 do Grupo Libra, primeiro terminal arrendado no formato da nova lei; A Fase 3 de Adequação (a partir de 2013): Período de incerteza em face do novo marco regulatório, e de adequação em virtude da competição anunciada com entrada de novos operadores globais como DPW, APMT e TIL; alteração da composição de ternos de trabalhos nas operações de navios com composição mista entre trabalhadores avulsos (TPAs) e trabalhadores vinculados (CLTs) nas operações de estiva e capatazia;

A Fase 4 de Automação (Onda futura): Eletrificação e automação de equipamentos, revisão obrigatória dos processos, aumento significativo dos indicadores de performance e segurança, redução de OPEX e, principalmente, a questão de organização do trabalho, a qual deve ser

entendida em função de três elementos: Pessoas, Equipamentos e Materiais em Transformação. A Fase 4 intitulada de "Fase da Automação" em terminais de contêineres exigirá um novo ciclo de altos investimentos e diversas situações precisam ser cuidadosamente discutidas e preparadas, em especial a questão de revisão de processos e organização do trabalho.

Ainda sobre as adequações do setor citadas anteriormente por Thomas (2001) e indicação de instrumento para se alcançar economia de escala, tem-se o crescimento e o aumento da capacidade dos navios e adaptação dos terminais de contêineres para atingir a produtividade necessária para essas operações.

Os navios porta-contêineres evoluíram rapidamente desde a primeira viagem entre Nova Iorque e Houston do navio tanque convertido Ideal X em 1956, com 135 m de comprimento e capacidade para 500 TEUs, até a viagem inaugural do primeiro navio da série "Triple-E" da Maesk Lines, o M.V Maersk Kinney Moller em agosto de 2013, com 400 metros de comprimento (LOA) e capacidade para 18.200 TEUs. Duas implicações comuns do crescimento de navios são: o "cascateamento" global de navios nas rotas comerciais existentes e o impacto na infraestrutura e custos dos portos e dos terminais. Clarke (2014) define cascateamento de navios como duas formas de Transferência: a transferência de navios de um serviço originalmente projetado para outros serviços que utilizavam navios menores; e, a transferência de navios maiores para aumento da capacidade daquele serviço de um dado serviço para a redução de custo por TEU e uso de navios relativamente novos que sejam redundantes. E indica que os Serviços que possuem chance de sofrerem cascateamento são aqueles em que os navios estão com alta taxa de utilização; cuja previsão de crescimento foi antecipada ou possuem potência de transhipment. De acordo com dados da Drewry de setembro de 2013, os maiores navios em circulação por rota estão listados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - "Cascateamento" de navios por rotas

Rota	Maior navio na rota (em TEUs)
Ásia – Norte da Europa	18.270
Ásia - Mediterrâneo	14.000
Ásia - Costa Oeste EUA	13.100
Ásia – Costa Leste da América do Sul	9.669
Europa - Costa Leste da América do Sul	8.762
Ásia – Costa Oeste da América do Sul	9.178
Ásia – Oriente Médio	14.074
Europa – África do Sul - Ásia	12.552

Fonte: Drewry Shipping Consultancy

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE AUTOMAÇÃO NA INDÚSTRIA PORTUARIA

A categoria de problemas tratados na literatura sobre portos e terminais de contêineres é extensa, principalmente na literatura internacional. A literatura nacional possui numerosos trabalhos que tratam de assuntos e problemas relacionados a portos e terminais nos seus diversos segmentos; contudo, pode-se afirmar que há uma enorme lacuna no tema automação em terminais de contêineres, há alguns trabalhos de informatização de sistemas de gestão portuária baseados na otimização dos processos ou na integração de sistemas de controle de carga via EDI.

A Literatura internacional possui uma produção diversificada de vários temas sobre automação, com prevalência para os complexos sistemas de transporte horizontal (AGV) e dos diversos sistemas de armazenagem automatizada, tais como: ASC, OHBC ou HSS; ou automações maiores.

Saanen (2004) um framework para projeto de terminais automatizados, formado pela seguinte estrutura: Projeto Funcional, Projeto Técnico, Implantação e realização, e, Comissionamento e operações. Saanen; Meel; Verbraeck (2003) realizam uma comparação entre três sistemas de movimentação: *Automated Guide Vehicle* (AGV); *Automated Lifting Vehicle* (ALV), e, *Straddle Carriers* (SC) tripulada.

Liu; Jula e Ioannou (2002) avaliaram quatro conceitos de terminais automatizados de contêineres fundamentados em: AGV (*Automated Guided Vehicle*); LMCS (*Linear Motor Conveyance System*) ou LMTT (*Linear Motor based Transfer Technology*); GR (*Overhead Grid Rail System*) ou OHBC (*Overhead Bridge Crane*); AS/RS (*High-Rise Automated Storage and Retrieval Structure*).

Saanen (2005) realiza outra comparação entre três conceitos de sistemas automatizados de armazenamento através de simulação, esses conceitos são: Single RMG (*Rail Mounted Gantry*) - modelo ECT; Twin RMG - modelo Euromax; Cross-over RMG - modelo CTA.

Vis e Carlo (2010) preocupados com a programação (*Scheduling*) de entrega e recebimento da movimentação contêineres dos navios e dos gates nas pilhas, que trabalham com dois *Automated Stacking Cranes* (ASC), apresentaram um modelo matemático utilizando *Simulated-Annealing* para minimizar o cruzamento (*makespan*) entre esses dois equipamentos.

Pirhonen (2011) realiza uma comparação entre equipamentos manuais e automatizados indicando o número necessário de operadores para cada sistema.

Ranau (2011) compara dois diferentes sistemas de operação automatizado verificando os requisitos de área/espaço necessário, são eles: AGV e *Automated Straddle Carrier* (utilizado no Terminal de Fishermans Island in Brisbane), ambos combinados com *Automated Stacking Cranes* (ASC).

Liu e Ioannou (2002) realizam uma comparação entre quatro diferentes regras na expedição ou envio de AGVs em terminais automatizados; o resultado da simulação atribui como a melhor regra a de fila mínima no cais, como segunda opção à regra randômica, seguida da regra de menor distância e por ultimo a maior distância percorrida.

Hoshino e Ota (2008) apresentaram um modelo para projetos de sistema de transporte automatizado que considera a manutenção com base na sua confiabilidade, e da medida de desempenho de tempo médio entre falhas (MTBF). Hoshino et al (2007) avaliaram dois sistemas de transportes com AGVs, um chamado de sistema de transporte de AGV Vertical (Quadra no sistema End-loading ou perpendiculares ao cais), e, sistema de transporte de AGV Horizontal (Side-loading ou paralelas ao cais); utilizaram os resultados de teoria de filas em rede (*queuing network theory*) e um simulador de transporte para definir o número de equipamentos (AGVs) adequado para dois sistemas de transporte; os quais foram avaliados com base em critérios de eficácia de custos.

Jula et al (2000) utilizaram o *Simple Additive Weighting Method* (SAWM) do método de *Multiple Attribute Decision Making* (MADM) para definir o número ótimo de transportadores (Shuttles) no pátio utilizando a tecnologia LMTT, assim como discutem as questões de conflitos e bloqueios (*deadlocks*) quando dois ou mais equipamentos solicitam o mesmo recurso.

Shinoda, Fukushi e Tachibana (2000) apresentaram uma simulação para avaliar a eficiência dos sistemas *Quay Stack Transfer* da ZPMC utilizando o modelo de rede Petri (Petri-net model). Zhu et al (2010) compararam o mesmo sistema da ZPMC com sistemas convencionais através de simulação e verificaram durante a simulação que o sistema pode atingir até 102 TEUs/hora aproximadamente, contudo o sistema é sujeito a fatores e restrições como o tamanho do navio, plano de bordo, configuração caminhão/AGV e do TOS. Ainda sobre o *Quay Stack Transfer* da ZPMC, Hu et al (2013) desmembraram o sistema em três partes: Ground Trolleys (GT), Transfer Plataforms (TP), Frame Trolley (FT); e analisaram o desempenho de um Transfer

Plataforms (TP), o número de recursos e configuração do terminal através de modelo de Markov.

No entanto, pouco foco tem sido dado ao beneficio da implantação de automações menores, ou no desenvolvimento de priorização e conversão de processos e terminais manuais ou convencionais para semiautomatizados ou automatizados. Em face desta constatação, o autor no capitulo seguinte, apresenta uma proposta de modelo de avaliação e decisão operacional de automação e um diagnostico ou uma fotografia atualizada da automação em oito importantes terminais de contêineres brasileiros.

4. DESCRIÇÂO DO MODELO E DIAGNÓSTICO DE AUTOMAÇÂO EM TERMINAIS DE CONTÊINERES NO BRASIL

O Modelo de decisão foi desenvolvido em planilha Excel e sua matriz de decisão é formada por um conjunto de variáveis. O conjunto de sistemas ou dispositivos para automação existente foram inseridos no topo do quadro e avaliados conforme as variáveis e premissas estabelecidas para um determinado terminal-tipo, sendo os resultados apresentados em uma matriz de segmentação, formados pelos eixos de Impacto no negócio, e, Risco e Complexidade de implantação.

A Lista de Tecnologias e Dispositivos testados foram: ACLAS - Automatic Container Lading System; AGS - Automated Gate System; AGV - Automated Guided Vehicle; ASC - Automated Stacking Cranes; A-RTG - Automated RTG; ATHS - Automated Twistlock Handling System; Auto-Steering; Anti Sway/Skew; Anti-Topple; CMS- Crane Management System; EDI - Eletronic Data Interchange; Eletrificação de RTGs; OCR - Optical Character Recognition; Reefer Monitoring System; Remote Control; RFID/RTLS - Radio Frequency Identification / Real Time Locationg System; SPS - Ship Profiling System; TPS - Truck / Trailler Positioning System / VAS - Vehicle Alignment System; TOS - Terminal Operating System; WeightScales (Instalada nos Equipamentos : RTG ou portêineres).

O terminal-tipo escolhido para as decisões possui 1.100 metros de cais de forma a acomodar 3 navios de 335 metros de LOA de 9.000 TEUs; possui 12 portêineres, dessa forma, a alocação de 4 portêineres por equipamento e 500.000 m² de área. Estabelecendo-se como regra a relação de 3 RTGs para cada portêiner, considerando 6 gates de entrada e outros 6 de saída com uma

taxa de processamento de até 30 movimentos/hora e que cada RTG realiza em média 18 movimentos por hora; teremos até 180 movimentos/hora de gates o que implica 10 RTG em quadra para atendimento de rua (recebimento e entrega de contêineres), remoções em quadra, "housekeeping" e demais serviços. Uma taxa de 10% a mais de RTG é considerada em virtude das quebras e manutenções, portanto, mais 5 RTG, totalizando 51 RTGs. Para os caminhões, a relação é de 5 para cada portêiner (considerando que as carretas trabalham em pool dedicado) ou seja, 60, outras 12 carretas são disponibilizadas para atendimentos de remoções em quadra, atendimento da área de inspeção, repesagem, passagem no scanner etc. E, nesse caso, aumentamos para 15% o número extra de carretas, em virtude de quebras e manutenção, ou seja, 83 carretas.

O conjunto de oito variáveis e suas premissas de avaliação foi separado em dois eixos: impacto no negócio, e, Risco e Complexidade de Implantação.

Entendendo como Impacto no negócio as questões financeiras e operacionais, como exemplo de impacto financeiro, uma multa ou suspensão temporária da alfandega pela falta de um dispositivo considerado obrigatório; e um impacto operacional, a baixa produtividade na operação de navio ou formação de fila nos gates em virtude de algum bloqueio ou falha da automação; e Risco e Complexidade de Implantação a probabilidade de ocorrência do resultado real de alguma das atividades ser diferente do resultado esperado e as consequências desse evento; e, se a complexidade da implantação está relacionada com diversas interfaces com outros sistemas, e, se dispositivo ou tecnologia está exposto a algum perigo ou possibilidade de acidente; tal como os portais de AGS e OCR com o alto trafego de caminhões nos terminais.

As variáveis selecionadas no eixo (x) de impacto nos negócios foram:

- Investimento em CAPEX/OPEX: A implantação da Automação representa um alto investimento em CAPEX, bem como em custos de manutenção em OPEX;
- O Sistema ou Dispositivo possui Obrigatoriedade, conforme determinação de algum órgão anuente ou licenciador;
- A implantação da automação altera significativamente a Organização do Trabalho e processos da empresa;
- Reduz a necessidade parcial ou total de Uso Intensivo de mão de obra.

Enquanto que as variáveis do eixo (y) de Risco e Complexidade:

- O Layout existente dificulta ou impede a automação, o que pode implicar necessidade de alteração ou perda de área operacional útil;
- A questão de Confiabilidade dos sistemas, no qual independente da quebra, defeito ou falta é possível a substituição por sistema manual, sem risco a interrupção das operações;
- Sua Contribuição para o Meio-Ambiente e Segurança do Trabalho;
- A complexidade de Integração com os demais sistemas existentes na empresa.

Explicando a pontuação das variáveis, essas podem ser classificadas em: baixo, médio ou alto; e o peso de cada pontuação é pré-definido como Baixo = 1; Médio = 3; e, Alta = 6.

A tabela 2 explica as considerações e premissas de cada variável, enquanto a tabela 3 apresenta a pontuação atribuída a cada uma das tecnologias e dispositivos, observando de forma imparcial (como observador externo) as premissas, riscos e impactos.

Exemplificando o processo de pontuação de cada variável, as questões de CAPEX e OPEX foram verificadas com os fornecedores de equipamentos e com os diversos terminais que adquiriram ou negociaram alguma das tecnologias recentemente sobre quais os valores aplicados, e obteve-se número de ordem superior a R$ 5 milhões para TOS ou R$ 580 mil para TPC/VAS; ou seja, pontuação alta.

A obrigatoriedade foi fundamentada sobre as resoluções e determinações de órgãos anuentes, como citado anteriormente, a Instrução normativa 3.518/11 da alfandega que exige o uso de OCR nos gates. Exigências comerciais e contratuais também foram consideradas, a exemplo da troca eletrônica de dados (EDI) com os armadores, logo pontuação alta.

A organização do trabalho e Uso de mão de obra foram analisadas conjuntamente e ponderado as alterações nos processos e na redução das equipes; bons exemplos são o AGS com um ou dois funcionários observando e tratando as exceções de gates (nos chamados “desk problems” ou “kitchens”), e o Remote Control com um operador observando e atuando na área de operação manual remota para dois ou três equipamentos. A pontuação do Remote Control foi considerada média no caso de uso de mão de obra, pois não elimina a mão de obra, mas reduz no momento em que um operador é responsável por dois ou três equipamentos.

A parte do layout se preocupou com grandes alterações que impactassem diretamente nos fluxos horizontais ou perda de capacidade de área para instalação da tecnologia ou dispositivo. Por que a implantação de eletrificação foi considerada de pontuação alta? Por acarretar perda de capacidade em virtude da instalação dos barramentos ou de alteração de fluxo em virtude de alteração dos RTGs para Back-to-Back.

A confiabilidade foi baseada na questão da possibilidade de substituição em caso de falha ou quebra por outro equipamento ou transferência para operações manuais, pois infelizmente, não há dados, publicações ou estatísticas que retratem o real grau de confiabilidade desses dispositivos. Sistemas como o *anti sway* ou *anti skew* em caso de falha podem ser substituídos pela pratica e sensibilidade do operador sem prejuízo as operações, portanto pontuação baixa.

A contribuição para segurança do trabalho e meio-ambiente foi verificado se a tecnologia de alguma forma reduz a possibilidade de acidentes com o trabalhador e ao meio-ambiente; o ATHS reduz a probabilidade de acidentes de mão ou dedos imprensados nos locks dos contêineres, pois faz essa colocação automaticamente, porém não tem contribuição para o meio-ambiente, por isso foi considerado médio.

E por derradeiro, a Integração, Sistemas que possuem uma grande capilaridade de ações no terminal e possui diversas interfaces com outros sistemas, são mais suscetíveis a falhas; há diversos casos reais de implantação de TOS, que acarretaram o fechamento do terminal para reorganização interna de pátio através de auditoria de pilhas ou até Fallback (retorno) para o sistema anterior.

Tabela 1 - Critérios de avaliação das variáveis

Variáveis	***Baixo***	***Médio***	***Alto***
CAPEX/OPEX	Os valores de CAPEX são < R$ 1 milhão	Os valores de CAPEX estão entre R$ 1 milhão e R$ 5 milhões	Os valores de CAPEX são > R$ 5 milhões
Obrigatoriedade	Não existe obrigatoriedade no uso por parte de órgão licenciador ou anuente do setor.	É recomendável, mas não obrigatório.	É considerado obrigatório.

Organização do trabalho	Praticamente não ocorrem alterações nos processos e organização do trabalho.	Ocorrem alterações nos processos, mas sem alteração de função das equipes.	Ocorrem alterações nos processos e nas funções das equipes.
Uso intensivo de mão de obra	Não há alteração no tamanho das equipes.	Ocorre redução significativa no tamanho das equipes, mas não total.	Ocorre redução total.
Layout existente	Não é necessária alterações ou perda de área ou capacidade.	É necessária alteração do layout, mas não ocorre perda de área ou capacidade.	É necessária alteração no layout e ocorre perda de área ou capacidade.
Confiabilidade	Sistema apresenta alta confiabilidade e sua falta ou quebra temporária pode ser substituída por outro recurso em paralelo. Não apresenta riscos de acidentes ou impactos em outros processos /eventos.	Sistema apresenta confiabilidade, sua falta ou quebra pode ser substituída por outros recursos manualmente durante algum tempo, mas perdurando o problema, ocorrerá impacto na operação.	Sistema apresenta confiabilidade e sua falta não pode ser substituída por outro recurso, seja pela impossibilidade ou escassez dos mesmos.
Contribuição para o meio ambiente e segurança	Sua instalação não contribui para segurança e nem para o meio-ambiente.	Sua instalação contribui para Segurança **OU** para o meio-ambiente.	Sua instalação contribui para Segurança **E** para o meio-ambiente.
Integração com outros sistemas	A integração é simples (isolada), e em caso de falhas não impacto os demais processos / negócios da empresa.	A integração é de complexidade média, e em caso de falhas, há impacto nos processos, mas esses podem ser realizados manualmente durante algum tempo, sem	A integração é complexa, com risco de paralização do negócio.

	grandes perdas para o negócio.

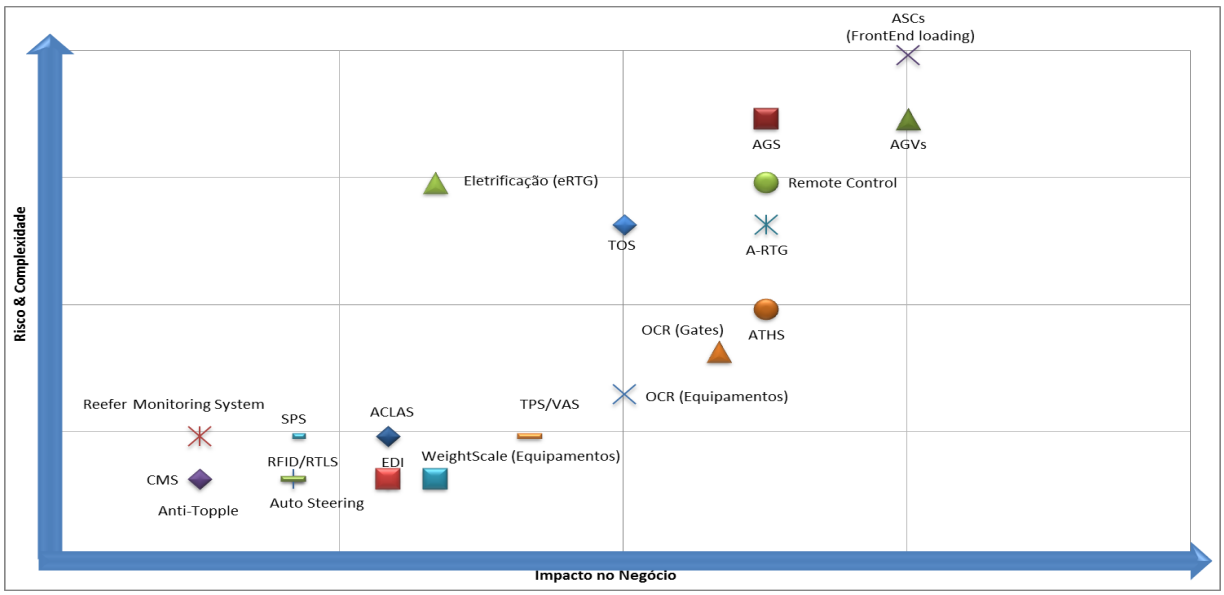
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3 - Valor atribuído a cada uma das tecnologias/dispositivos

Tecnologias/Variáveis	*CAPEX/OPEX*	*Obrigatoriedade*	*Organização do Trabalho*	*Uso de mão de obra*	*Layout*	*Confiabilidade*	*Contribuição para Seg./MA*	*Integração*
ACLAS	Médio	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Baixo
AGS	Médio	Baixo	Alto	Alto	Alto	Alto	Médio	Alto
AGV	Alto	Baixo	Alto	Alto	Médio	Alto	Alto	Alto
ASC	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
A-RTG	Alto	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Alto
ATHS	Alto	Baixo	Alto	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
Auto Steering	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Anti Sway	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Anti Toople	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
CMS	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
EDI	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
OCR (gates)	Médio	Alto	Médio	Médio	Médio	Médio	Baixo	Médio
OCR (portêineres)	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Baixo	Médio	Médio
Reefer monitoring	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Médio
Remote Control	Alto	Baixo	Alto	Médio	Médio	Alto	Médio	Alto
RFID/RTLS	Médio	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
SPS	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Baixo
TPS/VAS	Alto	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Baixo
TOS	Médio	Alto	Médio	Baixo	Baixo	Alto	Médio	Alto
Weigh Scale	Baixo	Médio	Médio	Baixo	Baixo	Médio	Baixo	Médio
Eletrificação	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Alto	Médio	Médio	Alto

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 3- Resultado da matriz de decisão



Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 4 apresenta o quadro diagnóstico com as tecnologias utilizadas no modelo e presentes em oito terminais brasileiros, são eles: Brasil Terminal Portuário (BTP); Ecoporto; Embraport; Porto de Itapoá; Santos-Brasil; Tecon Salvador; Tecon Rio Grande; e Terminal de Vila Velha (TVV).

Tabela 4 - Tabela Diagnostico de utilização de tecnologias

	BTP	***Ecoporto***	***Embraport***	***Itapoa***	***Santos Brasil***	***TECON Salvador***	***TECON Rio Grande***	***TVV***
ACLAS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
AGS	N/A	X	X	N/A	X	N/A	X (*)	X
AGV	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ASC	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
A-RTG	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ATHS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Auto Steering	N/A	X	X	X	X	N/A	N/A	N/A
Anti Sway	X	X	X	X	N/A	N/A	N/A	X
Anti Toople	N/A	X	X	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
CMS	X	X	X	X	X	N/A	N/A	X
EDI	X	X	X	X	X	X	X	X
OCR (gates)	X	X	X	X	X	X	X	X
OCR (portêineres)	N/A	N/A	N/A	N/A	X	N/A	N/A	N/A
Reefer monitoring	N/A	N/A	N/A	N/A	X	N/A	N/A	N/A
Remote Control	N/A	X	N/A	N/A	X(#)	N/A	N/A	N/A
RFID/RTLS	X	X (*)	X	N/A	X	X	N/A	X
SPS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
TPS/VAS	N/A	N/A	X	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
TOS	X	X (*)	X	X	X	X	X	X
Weigh Scale	X	N/A	N/A	N/A	X	X	X	N/A
Eletrificação	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fonte: Elaborada pelo autor

Legendas: N/A = Não aplicado; X (*) Em fase de implantação; X (#) Em estudo para RTGs (3 x1)

5. CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÔES

Esse trabalho apresentou uma breve contextualização do setor, a evolução da operação portuária de contêineres no Brasil e do crescimento de navios, assim como relata esse impacto nas operações e discute a necessidade de adequação permanente dos terminais. Realiza uma revisão bibliográfica nacional onde se observa uma literatura restrita e literatura internacional, mais ampla com predominância nos tópicos de comparações entre sistemas automatizados de transporte horizonta e de sistemas de armazenamento de pátio automatizado.

Portanto, foi possível verificar que as operações de terminais são complexas e a automação aumenta essa complexidade, por diversas razões, tal como requerer maior confiabilidade dos sistemas; o custo de CAPEX e/ou OPEX não é desprezível, o impacto na organização do trabalho e layout pode ser um complicador da instalação da tecnologia. E não existe unanimidade sobre a questão automação e qual tecnologia é mais apropriada, porém a tendência observada dos 33 terminais automatizados internacionalmente, apenas nove são automação total, os demais tenderam a semi-automação. No caso dos oito terminais brasileiros pesquisados, observou-se que todos possuem o que se classificou com "automação menor", com alguns casos incipientes de Sistema de Gate Automatizado (AGS) e uso do TOS.

Outrossim, um modelo em excel foi desenvolvido para auxiliar na reflexão da escolha e classificação conforme risco e impacto. Foram testadas 21 tecnologias ou dispositivos considerando as variáveis de Layout existente, CAPEX e OPEX, Confiabilidade, Integração com sistemas de Tecnologia da Informação e Inteligência de Equipamento, em especial com TOS, Organização do trabalho, Contribuição para a segurança e meio ambiente, Obrigatoriedade legal do uso, Intensidade do uso de mão de obra.

Pode-se afirmar que a automação no exterior encontra-se em um estágio de "Controle" em respostas às preocupações de elevados custos de mão de obra e necessidade de aumento de produtividade pelo aumento do tamanho dos navios e impacto nos processos do terminal; enquanto no Brasil, os terminais encontram-se em uma fase de "Adequação" tanto Institucional, em virtude do período de incerteza em face dos novos marcos regulatórios; Comercial, pela entrada de operadores globais nas operações e excesso temporário de capacidade; e, Operacional, com o aumento da complexidade da operação pelo crescimento dos navios, e pelas exigências de flexibilidade dos clientes, e rígidos controles de segurança; e um ambiente onde não é mais possível, conviver com os gargalos de infraestrutura existente (leia-se acessos

terrestres e marítimos).E a questão de Automação, encontra-se em uma fase de "Iniciação" com aplicação e aprendizado de "Automações Menores", conforme demonstrado na pesquisa dos oito terminais, caminhando para uma fase de "Contágio", de aplicação de "Automação Maior" com risco controlado e de tecnologia com grau de maturidade confiável.

Em síntese, pode-se sustentar que o cenário para os próximos anos de competição, é que a tendência dos terminais brasileiros é de semi-automação em áreas de gates, planejamento, e de conferência de informações e confirmação de registros.

Por derradeiro, recomenda-se a continuidade de desenvolvimento de novos modelos de suporte a decisão para escolha de automação; e estudos mais dedicados às questões de confiabilidade da automação e organização do trabalho; em virtude da ausência destes.

Dimensionamiento de estrobos para redes de pesca de arrastre

Freiria, J.
jfreiria@fing.edu.uy

La Paz, P.
plapaz@fing.edu.uy

Marín, Y.
ymarin@dinara.gub.uy

Chocca, J.
jchocca@dinara.gub.uy

González, B.
bgonzalez@dinara.gub.uy

Beathyate, G.
gbeathyate@dinara.gub.uy

Resumen

La red de arrastre de fondo es el arte de pesca utilizado por el mayor número de unidades de pesca de la flota uruguaya y a través de los años ha sido modificada en su construcción, materiales y forma de operación en función de adelantos tecnológicos o de las oscilaciones en la disponibilidad del recurso.

Una de estas modificaciones ha sido la incorporación del uso de los estrobos. No ocurre lo mismo en la flota costera debido a que no cuenta con unidades de este tipo.

Las unidades utilizan estos dispositivos con el fin de aumentar sus capturas y mejorar su selectividad.

En el presente trabajo se resumen los detalles de los antecedentes regionales e internacionales sobre el uso de estos elementos, buscando establecer una base científico - tecnológica para una ópima distribución y dimensionamiento de los mismos.

1. Introducción

1.1. Antecedentes del Proyecto

La mayor parte de la captura industrial de recursos acuáticos se realiza en el Río de la Plata y Océano Atlántico desde buques que operan con redes de arrastre de fondo.

El 92% de la flota industrial nacional opera con este tipo de arte desembarcando aproximadamente 52.000 Ton anuales de corvina (*Micropogonias furnieri*), merluza (*Merluccius hubbsi*) y otras especies.

La red de arrastre de fondo es el arte de pesca tradicional desde el inicio de la pesca industrial; ha sido sucesivamente modificada y mejorada, y sobre la misma recaen la mayor parte de las regulaciones nacionales dirigidas al ordenamiento y administración pesquera. Entre ellas se destacan la determinación de áreas donde no es posible utilizarse, el tamaño mínimo de malla en función de la especie, las características de los forros de protección, la prohibición de modificaciones que disminuyan la capacidad de selección.

A su vez, en relación al mismo arte de pesca, existen líneas de investigación orientadas a la elaboración de cambios en su construcción que contribuyan a mejorar su selectividad.

Actualmente existe un consenso en las dimensiones de la malla a utilizar, siendo las modificaciones en algunos sectores de las redes el objeto de discusión. Estas modificaciones incluyen, en algunos casos, elementos expresamente vedados al uso por parte de la flota como por ejemplo el uso de doble forro, de igual o menor medida que la malla permitida, o en otros casos, el uso de estrobos en sus diversas formas.

Se considera un estrobo o estrobo circular a un segmento de cabo que tiene por objeto limitar la extensión del diámetro del copo o túnel del arte de arrastre. El uso de estrobos en las artes de arrastre teóricamente permite mantener la forma original del túnel, minimizando la deformación generada por el efecto bulbo y mejorando la función de selectividad al disminuir la posibilidad de colapso de las mallas.

La distancia entre los estrobos no puede ser establecida en forma aleatoria. Una luz muy grande entre estrobos puede no ser efectiva en la eliminación del efecto bulbo, mientras que disminuir esa distancia demasiado generará un aumento excesivo en la resistencia y genera nuevos compromisos con la función de selectividad.

Se ha observado un aumento de las unidades de pesca operando con estos estrobos, coincidiendo con un desembarque importante de pescadilla de red (*Macrodon ancylodon*) y otras especies de tamaño pequeño que se estimaba eran descartadas por la capacidad selectiva del arte de pesca. Esto ha dado lugar a una serie de reuniones entre DINARA, Armadores y Patrones de Pesca a los efectos de acordar una solución para disminuir la captura de individuos por debajo de la talla mínima ya que el uso de estrobos no está regulado en Uruguay, y su efecto estaba escasamente documentado.

Se acordó ampliar la información e iniciar una evaluación a los efectos de contar con elementos para regular su uso. A tales efectos se dispuso de observadores a bordo que aportaran datos acerca de las tallas capturadas, tallas de descarte y de desembarque en condiciones de uso/no uso de los estrobos. Los datos obtenidos no fueron suficientes, a lo cual se agregó que los pescadores utilizan estos dispositivos solamente durante un período corto al año.

Por otra parte se encontraron antecedentes en la región y otros países donde se establecían las dimensiones de los estrobos, por lo cual resultó necesario profundizar en el efecto de la aplicación de regulaciones a nivel local. En particular establecer criterios de diseño para pesquerías específicas de manera de establecer un compromiso que contemple los intereses empresariales - mejorar la eficiencia de las operaciones de pesca - y del estado como salvaguarda del recurso pesquero - mejorar la calidad de las artes apuntando a la selectividad y escape de los juveniles.

Estados que han establecido reglamentaciones con relación a este tema, algunas de las cuales se transcriben a continuación como ejemplos:

Normativa Argentina

La normativa en Argentina se refiere a los estrobos a partir de la implementación del dispositivo DEJUPA en la Resolución 514/00 Sagpa publicada en el B.O. Nº 29.478 DEL 07/09/2000.

En la misma se detalla que cuando sea utilizar estrobos de contención en los copos o bolsas de la red de arrastre, los mismos se ubicarán entre sí a una distancia mínima de un metro con ochenta centímetros (1,80 m) y la longitud total de cada estrobo deberá ser como mínimo igual al cuarenta y tres por ciento (43%) del valor que resulta de multiplicar el número de mallas libres contenidas en el perímetro del copo por la medida de la luz de malla del mismo.

Normativa Chile

La normativa establece que se entenderá por estrobo circular un cabo o cable que rodea transversalmente la circunferencia del copo en su cara externa, y que la distancia que separe dos estrobos circulares sucesivos en el copo deberá ser igual o superior a un metro.

La longitud de cada estrobo circular deberá ser igual o superior al 40% de la circunferencia del copo, la que corresponderá al producto del número de mallas en la circunferencia del copo multiplicado por el tamaño de malla entre nudos.

No obstante lo anterior, se exceptuará de esta norma al último estrobo circular, siempre y cuando sea fijado a una distancia igual o inferior a dos metros desde las mallas con las cuales se efectuó la jareta del copo, distancia medida con las mallas estiradas longitudinalmente. Los estrobos circulares podrán rodear la tela del copo, pero no podrán rodear el poncho.

Resolución: Regula redes de arrastre en la pesca industrial dirigida a merluza común en área indicada; Núm. 1.337 exenta.- Valparaíso, 5 de mayo de 2005. Modificada por la Resolución

Ex. N° 2808 del 26 de agosto 2005, regula redes de arrastre en la pesca industrial dirigida a peces en área que señala.

Normativa Comunidad Económica Europea

La Comunidad Económica Europea definió pautas de construcción de los estrobos en el Reglamento (CEE) No 3440/84 de la comisión de 6 de diciembre de 1984 relativo a la fijación de dispositivos en las redes de arrastre, redes danesas y redes similares. En el artículo 10 define que la longitud de un estrobo circular será igual, al menos, al 40 % de la circunferencia del copo cuya medida corresponderá al producto del número de mallas de la circunferencia del copo multiplicado por la malla efectiva, salvo para el estrobo circular situado más atrás llamado «estrobo de atrás»; si éste se fija a una distancia igual o inferior a dos metros desde las mallas del rebenque del copo, medida cuando las mallas se estiran longitudinalmente. También se establece que la distancia que separe dos estrobos circulares sucesivos deberá ser igual o superior a un metro, y que un estrobo circular podrá rodear a las cubiertas de refuerzo pero no podrá rodear a una cubierta o a una parpalla inferior.

1.2. Objetivo general

El objetivo general del proyecto es establecer una base científico - tecnológica que pueda ser utilizada en la fundamentación de la normativa que pueda disponer el organismo de control pesquero en relación al uso de los estrobos en los túneles de las redes de pesca de arrastre.

2. Descripción del Proyecto

Las unidades, métodos y artes de pesca evolucionan permanentemente en las pesquerías, adaptándose a las oscilaciones en la disponibilidad de los recursos, innovaciones tecnológicas y regulaciones vigentes.

Se puede establecer en forma general que existen tres elementos sobre los cuales enfocar la atención relacionados con los cambios mencionados anteriormente: el buque, el aparejo de pesca y el recurso.

Cualquier cambio introducido en uno de estos elementos genera de forma inmediata una modificación o adaptación de uno o ambos de los elementos restantes. La merma en la disponibilidad del recurso hace que los buques deban disponer mayor cantidad de días y lances para completar las bodegas. Se hace necesario por tanto ampliar la autonomía añadiendo más tanques destinados al almacenamiento de combustible, a costa inclusive de la disminución del espacio de bodega.

La custodia del recurso por parte de los gobiernos a través de las autoridades marítimas y pesqueras impulsa regulaciones para su preservación, ya sea estableciendo períodos de veda o la utilización de dispositivos o redes modificadas que permitan el escape de los juveniles. La introducción de estas redes o dispositivos especiales implica necesariamente la diferenciación en alguna de las maniobras abordo, y la implementación de nuevos mecanismos para resolverlas.

Las vedas obligan a la inmovilización de las flotas o el diseño de unidades que puedan operar en pesquerías diversas con períodos de veda no solapados.

En los últimos años, la incorporación de buques con rampa para facilitar las maniobras de pesca en la pesquería de merluza condujo a la introducción de modificaciones en los túneles de las redes de arrastre que permitieran un virado más rápido y seguro de la captura. En las redes de arrastre la captura se concentra en el túnel y copo o bolsa, lo cual produce una deformación de este sector conocido como efecto bulbo, aumentando su diámetro.

Para facilitar el izado de la captura se dispone la incorporación de estrobos o aros de cabo alrededor del túnel que uniformizan su diámetro. Al restringir el diámetro que puede adoptar el túnel, dividen la captura en secciones de tamaño conveniente para ser manejadas abordo. De esta manera la forma de bulbo del túnel tradicional se transforma en una forma cilíndrica deformada pero manejable, a diferencia de la primera.

El problema planteado es que al no existir una reglamentación en el uso de los estrobos, su diámetro y separación es seleccionada de acuerdo a criterios no uniformes y con escasa sustentación técnica. Una consecuencia directa es que a partir de su introducción en la pesquería nacional (su aplicación se ha extendido rápidamente a una amplia mayoría de las unidades de pesca) se ha detectado un aumento en las capturas de especies de tamaño pequeño que se estimaba debían ser descartadas por la capacidad selectiva del arte de pesca.

Además del problema específico que significa mantener la sustentabilidad del recurso, y para ello la obligación de transitar por prácticas que apunten a una mejor selectividad y preservación de los juveniles, existe otro problema potencial, y es la adopción de normas afines a nivel internacional, en particular por países o zonas económicas a los cuales nuestro país exporta sus productos pesqueros. Cada vez más estos mercados exigen como parte de la calidad del producto, la utilización de prácticas acorde con la establecidas por sus autoridades; estas exigencias pueden establecer sanciones que pueden llegar hasta la suspensión de las exportaciones.

Los resultados de este proyecto permitirán establecer criterios técnicos para la adopción de dimensiones lineales y separación entre estrobos. Se puede establecer entonces que un primer beneficiario es la propia DINARA, que los podrá utilizar para la fundamentación de la normativa a ser propuesta para su aplicación en la pesquería nacional.

El recurso pesquero se beneficia en la medida que la aplicación de la normativa basada en estos criterios técnicos aportará al mejoramiento de la calidad de la selectividad de las artes de pesca, ayudando a preservar los recursos naturales.

Por último, el contar con una normativa sobre el tema aleja el peligro latente de las dificultades o cierre de mercados amparados en el no cumplimiento de normativas de aplicación a nivel internacional. Desde este punto de vista se entiende que el sector como tal, armadores pesqueros, tripulaciones, plantas de procesamiento, exportación, también resultarán beneficiados con este aporte.

3. Metodologia

Para el estudio del proyecto se realizó un modelo que fue estudiado en el Canal de Pruebas Navales y Marítimas de la Facultad de Ingeniería.

3.1. Modelación física de redes

3.1.1. Teoría de la modelación de artes de pesca

Los modelos a escala reducida se deben construir siguiendo las reglas de la modelación y las condiciones de similitud.

La primera condición que deberá ser observada es la similitud geométrica. Las dimensiones generales (tamaño) del modelo y prototipo deberán estar a una escala definida como escala geométrica e_L. Esta escala global exige un compromiso entre el tamaño del modelo y la sección de flujo, de tal manera que se recomienda que la sección de bloqueo sea inferior al 30% de la sección del canal. La similitud geométrica se completa estableciendo que los ángulos en modelo y prototipo se mantienen iguales para elementos correspondientes.

Otro aspecto a tener en cuenta para dimensionar los modelos es un fenómeno relacionado con el tren de ondas generado por el obstáculo que se mueve a una determinada velocidad en un canal donde el fluido está acotado por paredes laterales, imponiendo una restricción en la dimensión longitudinal.

Teniendo en cuenta estas limitantes se puede establecer una escala de trabajo de 1:3, resultando que para las dimensiones máximas de los túneles prototipo de 6.45 m de longitud y 1.32 m de diámetro, las dimensiones aproximadas del modelo resultan en 2.15 m de longitud y un diámetro de 0.44 m.

La determinación de la escala de velocidades, el diámetro del hilo y el tamaño de malla resulta una solución de compromiso que contemple la utilización de velocidades manejables en la instalación con diámetros y tamaños de malla disponibles para la confección de los modelos. Las relaciones entre estas dimensiones están dadas por las siguientes ecuaciones:

$$e_v = \sqrt{\frac{\Phi_m}{\Phi_p} \cdot \frac{(\rho_m - \rho_a)}{(\rho_p - \rho_a)}}$$

$$\frac{\Phi_m}{\Phi_p} = \frac{a_m}{a_p} = e_M$$

Donde:

e_v es la escala de velocidades

e_M es la escala de malla (no necesariamente debe coincidir con e_L)

Φ es el diámetro del hilo

a es el tamaño representativo de la malla,

Los subíndices *m* y *p* corresponden a modelo y prototipo respectivamente.

Para la interpretación de los resultados del canal, la escala para la modelación de las fuerzas, en particular el arrastre (drag) del modelo, se calcula mediante la formulación:

$$e_F = e_L{}^2 \cdot e_V{}^2 = \frac{F_m}{F_p}$$

Por otro lado, la configuración geométrica de las deformaciones en el modelo proporciona directamente a escala el conjunto de deformaciones que se producirán en el prototipo; estas deformaciones se observan y dimensionan directamente en los registros gráficos de los ensayos.

3.1.2. Dimensionamiento de los modelos reducidos

Se seleccionó como arte representativo una red de arrastre convencional, tradicionalmente utilizadas por la flota pesquera de arrastre costero durante su operación en los caladeros.

La red se modeló tomando en cuenta la forma, diseño y materiales de construcción similares a las utilizadas tradicionalmente por los buques pesqueros comerciales. Se contó con planos detallados de las mismas, los que fueron utilizados para la construcción del modelo reducido para los ensayos en el canal de pruebas de la Facultad de Ingeniería.

La sección a modelar en el Canal de Pruebas fue el túnel y copo, a escalas convenientes para las cuales se obtiene el mejor tamaño compatible con las relaciones de bloqueo de la instalación.

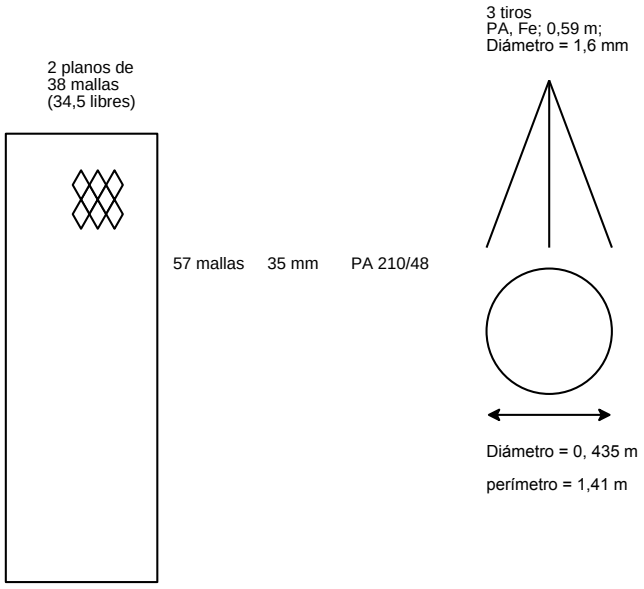


Figura 1: Dimensiones del túnel y copo.

La figura muestra las dimensiones del túnel y copo utilizados, construidos en dos planos de red de poliamida (PA) multifilamento DE 1,52 mm de diámetro, de 57 mallas de longitud y 76

mallas de circunferencia, de los cuales quedan 69 mallas libres. El túnel se sujetó a un aro de 1,41 m de circunferencia y fue remolcado de un punto fijo mediante 3 tiros de 0,59m de longitud y 1.6mm de diámetro cada uno. La carga fue simulada con tapas plásticas de 2 cm de diámetro.

La escala geométrica utilizada fue $e_L = 1/3$ para túnel y copo. Se seleccionó un paño de malla de *35 mm* de luz entre nudos, con un total de *69* mallas en todo el perímetro.

Utilizando la normativa Argentina, que fue referenciada anteriormente, se detalla que cuando sea utilizar estrobos de contención en los copos o bolsas de la red de arrastre, los mismos se ubicarán entre sí a una distancia mínima de un metro con ochenta centímetros (*1,80 m*) y la longitud total de cada estrobo deberá ser como mínimo igual al cuarenta y tres por ciento (*43%*) del valor que resulta de multiplicar el número de mallas libres contenidas en el perímetro del copo por la medida de la luz de malla del mismo.

Por lo tanto, el perímetro del estrobo según dicha normativa se calcula de la siguiente manera: 69 mallas x 0.035 m x 43% = 1.04 m

Por decisión de los participantes del proyecto, para ensayar la red con otras longitudes de estrobos, se decidió agregar ± 5% de la medida total, esto es calcular la longitud de los estrobos a 38% y 48%, dando como resultado los tres perímetros de estrobos que fueron ensayados, y cuyas dimensiones reales una vez construidos fueron : 0,91m (38%); 1,05m (43%); y 1,19m (49%).

La distancia entre estrobos, se realizó por la misma normativa, que expone que la distancia mínima entre sí es de 1,80 m; como nuestra escala es de 1:3, nos daría una separación entre estrobos de 0,60 m. Se tomaron dos distancias más para el ensayo que fueron 0,50 m y 0,40 m.

3.1.3. Dimensionamiento de los ensayos

Se consideró un rango de velocidades para las operaciones de pesca entre 2.5 y 4.0 nudos, correspondiendo para las pruebas del canal, a la escala de velocidades definida, un rango entre 2.00 y 2.80 m/s aproximadamente del carro dinamométrico.

3.2. Descripción de Ensayos

La investigación que se llevó a cabo tuvo como herramienta la modelación física, donde se dispuso un modelo que cumple con las especificaciones de las leyes de similitud mencionadas.

Los ensayos correspondientes se realizaron en dos fases:

- Fase 1 - Modelo de túnel tradicional con estrobos de diferentes longitudes.

En este caso el modelo representa un túnel de una red de arrastre con estrobos equidistantes, en esta primera fase distanciados a 0,60m. Se eligieron tres dimensiones para este elemento: como se detalló anteriormente, las longitudes de estrobos definidas fueron: 0,91m; 1,05m y 1,19m. Se realizaron ensayos con cada modelo para una serie de velocidades predeterminadas 2,0 m/s, 2,4 m/s y 2,8 m/s .

- Fase 2 - Modelo de túnel tradicional con estrobos distanciados.

Finalmente se incluyó una serie de estrobos igualmente distanciados unos de otros, siendo la dimensión de cada uno de éstos la definida en la Fase 1. Se definieron tres distancias de separación relacionadas con una distancia base establecida en función de la práctica usual y recomendaciones establecidas en la bibliografía existente, estas distancias entre estrobos fueron: 0,40m; 0,50m y 0,60m. Cada modelo modificado fue ensayado en las mismas condiciones de velocidad y longitudes de estrobos correspondientes, según fase 1.

En cada fase de los ensayos se tomaron fotografías y videos para la visualización del modelo global. El canal de pruebas cuenta con una zona del laboratorio con una amplia lumbrera de observación en un costado del canal de ensayo. En este observatorio se montan los equipos de fotografía y filmación. Se obtienen registros del movimiento de los modelos en la simulación de las condiciones cinemáticas y dinámicas.

A su vez fueron tomados fotografías y videos subacuáticos para la identificación de deformaciones en mallas. La cámara subacuática permite el registro de las dimensiones de las mallas y su deformación para distintas secciones.

Luego de realizados los ensayos, se selecciona la mejor imagen obtenida de cada configuración y se realizan las mediciones de los coeficientes longitudinales (μ_L) y transversales (μ_T) correspondientes desde el último estrobo a la cuarta malla, de la misma se hacen mediciones de cuatro carreras. Luego se calcula la relación entre los coeficientes $\left({}^{\mu_T}/_{\mu_L}\right)$ y se realiza un promedio de los datos obtenidos.

4. Resultados

Las tablas 1 a 3 resumen los valores de μ_T/μ_Len relación al diámetro del estrobo y la velocidad, a separaciones entre estrobos constantes.

Se encontraron valores dispares pero fue posible identificar patrones en varias combinaciones de variables.

Con los estrobos de 0,91 m de diámetro se encontró que al aumentar la velocidad, la malla tiende a estirarse longitudinalmente, situación que se repitió a las tres distancias de separación ensayadas (0,4; 0,5 y 0,6 m entre estrobos consecutivos).

Los estrobos de 1,05 y 1,19 m mostraron comportamientos más irregulares, incluso el inverso en un caso (malla aumenta en ancho para estrobo de 1,19; separados 0,5 m).

En general, los valores mayores de μ_T/μ_L indicando una mayor apertura de malla (malla cuadrada μ_T/μ_L= 1) fueron encontrados a medida que aumenta la separación entre estrobos y la velocidad; y en la mayoría de los ensayos μ_T/μ_Ltambién aumentó con el diámetro del estrobo.

Tabla 1 – Coeficiente Transversal/Coeficiente Longitudinal con Separación 0,40m

Diámetro (m)	Velocidad (m/s)		
	2,0	**2,4**	**2,8**
0,91	0,6038	0,5298	0,3926
1,05	**0,4433**	0,6070	0,5610
1,19	0,6882	0,6676	0,6461

Tabla 2– Coeficiente Transversal/Coeficiente Longitudinal con Separación 0,50m

Diámetro (m)	Velocidad (m/s)		
	2,0	**2,4**	**2,8**
0,91	0,5502	0,5463	0,4554
1,05	0,6840	0,6250	0,6991
1,19	0,6992	0,6993	0,7130

Tabla 3 – Coeficiente Transversal/Coeficiente Longitudinal con Separación 0,60m

Diámetro (m)	Velocidad (m/s)		
	2,0	**2,4**	**2,8**
0,91	0,7193	0,5580	0,4938
1,05	0,7279	0,7660	0,7527
1,19	0,8109	0,7800	0,8526

Las tablas 4 a 6 muestran el efecto combinado del diámetro del estrobo y la separación entre ellos a velocidades constantes, observándose que en general el aumento de la distancia entre estrobos y el de su diámetro producen una mayor apertura de la malla, con los mayores valores de μ_T/μ_L con diámetros de 1,19 m separados 0,6 m entre ellos.

Tabla 4 – Coeficiente Transversal/Coeficiente Longitudinal con Velocidad 2,0 m/s

Diámetro (m)	Separación (m)		
	0,4	**0,5**	**0,6**
0,91	0,6038	0,5502	0,7193
1,05	**0,4433**	0,6840	0,7279
1,19	0,6882	0,6992	0,8109

Tabla 5 – Coeficiente Transversal/Coeficiente Longitudinal con Velocidad 2,4 m/s

Diámetro (m)	Separación (m)		
	0,4	**0,5**	**0,6**
0,91	0,5298	0,5463	0,5880
1,05	0,6070	0,6250	0,7660
1,19	0,6676	0,6993	0,7800

Tabla 6 – Coeficiente Transversal/Coeficiente Longitudinal con Velocidad 2,8 m/s

Diámetro (m)	Separación(m)		
	0,4	**0,5**	**0,6**
0,91	0,3926	0,4554	0,4938
1,05	0,5610	0,6991	0,7527
1,19	0,6461	0,7130	0,8526

En algunas de ellas se encontraron valores mayores o menores que no pudieron ser explicados sin nuevos ensayos, y que podrían ser atribuidos a las condiciones de carga de algunos ensayos en particular.

El modelo utilizado tiene 69 mallas de circunferencia (34,5 en cada plano) y la malla utilizada fue de 35 mm. La circunferencia sería entonces 2415 mm (69 mallas x 35 mm).

Los antecedentes de regulaciones similares de diámetro y separación entre estrobos (e.g. España, Chile) recomiendan un diámetro no menor al 40 % de la circunferencia, y una separación entre estrobos no menor a 1 m, hasta 1,8 m (Argentina).

Los ensayos fueron realizados dentro de ese rango: 0,91 m = 38%; 1,05 m = 43%; y 1,19 m = 49%. En el modelo, el 40% se traduce en un ancho de malla de 14 mm (0,4 x 35 mm).

Para esa medida transversal, el valor de altura de malla es de 32,08 mm; y por lo tanto un μ_T/μ_L= 0,4364. En las tablas que resumen los valores de μ_T/μ_Lsolamente se encuentra un valor inferior a 0,4364, con estrobos de 0,91 m separados 0,4 m y remolcados a 2,8 m/s.

Todos los restantes valores se encuentran por encima de dicha referencia.

Los ensayos estuvieron dirigidos a identificar elementos que permitan adoptar las regulaciones existentes como referencia más que a definir las dimensiones precisas de los estrobos y distancias.

En ese sentido las medidas realizadas muestran que en el valor más bajo de circunferencia de estrobos y separación (0,91m y 0,4m) se encontraron los valores más bajos de apertura de malla a velocidades altas, y por lo tanto sería recomendable adoptar un porcentaje mayor a 38%, y una separación entre estrobos mayor a 0,4m (1,2m).

En otros términos, los valores se aproximarían más a la regulación establecida por Argentina (40%, y 1,8 m entre estrobos), que a separaciones de 1.0 m.

Si bien las regulaciones existentes coinciden en una longitud de estrobos del 40% lo mismo no sucede con la separación, y no se encuentra un valor único y óptimo.

Se entiende que las variaciones difieren entre regiones de pesca es debido a las especies capturadas y la forma de operación de las unidades. Incluso en el Río de la Plata, las regulaciones a adoptar deben contemplar las posibilidades de escape de juveniles de especies

diferentes y que son capturadas en la misma zona, e.g. corvina y pescadilla. Ambas especies tienen un perfil transversal diferente al igual que su capacidad de escapar por las mallas.

Como conclusión general puede recomendarse una longitud de estrobos que supere el 38% de la circunferencia del copo, y una separación entre estrobos superior a 1,2m. De esta manera se asegura que las mallas permanecerán abiertas en condiciones de carga a diferente velocidad.

5. Bibliografía

5.1. Reglamento (CEE) nº 3440/84 de la Comisión, de 6 de diciembre de 1984, relativo a la fijación de dispositivos en las redes de arrastre, redes danesas y redes similares. DOUE, n° 318, de 7 de diciembre de 1984, páginas 23 a 27. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=DOUE-L-1984-80649

5.2. Resolución N° 2808. Regula redes de arrastre en la pesca industrial dirigida a peces en el área que señala. Deja sin efecto Resoluciones que indica. Valparaíso, 26 de agosto 2005. Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción. Subsecretaría de Pesca. Regulación arrastre peces. Chile. http://www.subpesca.gov.cl/institucional/602/articles-6400_documento.pdf

5.3. Resolución N° 1337. Regula redes de arrastre en la pesca industrial dirigida a merluza común en el área que indica. Núm. 1.337 exenta.- Valparaíso, 5 de mayo de 2005. Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción. Subsecretaría de Pesca. Chile. http://faolex.fao.org/docs/texts/chi52132.doc

5.4. Subsecretaría de Pesca (Subpesca). 2004. Primera veda biológica temporal y zonal de merluza común (Merluccius gayi gayi). Inf. Téc. (R.Pesq.) Nºxxx, Subsecretaría de Pesca, Valparaíso. 27 pp. http://www.fip.cl/FIP/Archivos/pdf/informes/IT%2096-25.pdf

5.5. Resolución N° 514/2000. Establécese la captura máxima total de merluza común al sur del Paralelo 41º S para el período comprendido entre el 1º de setiembre y el 31 de diciembre de 2000. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Argentina. Bs. As., 1/9/2000. http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/60000-64999/64250/norma.htm

Estudio de las condiciones de estabilidad de pontones

La Paz, P.
plapaz@fing.edu.uy

Álvarez, M.
marceloalvarezleal@hotmail.com

Freiria, J.
jfreiria@fing.edu.uy

Resumen

En la mayoría de las grandes construcciones de infraestructuras portuarias, tanto en recintos confinados como espacios abiertos más expuestos, se hace necesario la utilización de embarcaciones auxiliares, propulsadas o no, a los efectos de servir como obradores, plataformas de trabajo o traslado de materiales y personas.

El uso de pontones, integrales o modulares, es una de las soluciones que se presentan para estas tareas. Cabe preguntarse, como flotadores, si aquellos requerimientos de flotabilidad y estabilidad, pero sobre todo estos últimos, aplicables a buques autopropulsados, inscriptos bajo los registros de los distintos tipos de matrículas, se deben extender a este tipo de buque.

Seguramente las condiciones de operación incidirán en la respuesta a esta pregunta. Aquellas unidades que trabajan dentro de recintos portuarios protegidos deberían tener menores niveles de exigencia en relación con otras unidades que pudieran operar en condiciones de mayor desprotección ambiental.

En este trabajo se estudia el comportamiento de uno de los aspectos definidos por el criterio de estabilidad establecido por OMI en función de la relación entre la manga y el puntal, relación que diferencian notoriamente este tipo de flotadores de las embarcaciones tradicionales.

1. Introducción

El uso de pontones, integrales o modulares, es una de las soluciones que se presentan las grandes obras marítimas para su construcción en condiciones alejadas de la costa.

Por lo general estos flotadores son diseñados para condiciones de trabajo limitadas, por lo cual sus dimensiones son adecuadas a las mismas, sin tener en cuenta en toda su dimensión aspectos que tienen que ver con la navegación, particularmente aquellos que resultan de la aplicación de los criterios de estabilidad definidos por OMI.

En particular, la aplicación estricta de estos criterios generales para los pontones disponibles en el país, muestran un cumplimiento amplio de todos los criterios, tanto los relacionados con la estabilidad inicial (GM_{MIN}), la estabilidad estática (GZ_{30^o}) y la estabilidad dinámica (ED_{30^o}, ED_{40^o}, $ED_{30^o\text{-}40^o}$).

Sin embargo existe un criterio que sistemáticamente muestra valores insuficientes, el correspondiente al ángulo donde el brazo de adrizamiento se hace máximo ($\theta_{GZ\,MÁX}$).

Es necesario establecer por parte de la Autoridad Marítima si estos criterios deben ser aplicables en forma integral a flotadores que no cuentan con propulsión propia y que están destinados a estar fondeados en condiciones de trabajo, como si fueran buques autopropulsados que pudieran navegar por sus propios medios, para lo cual se entiende necesario un análisis comparativo con la reglamentación internacional.

Independientemente de estas acciones, se ha propuesto en este trabajo el estudio de una serie sistemática de flotadores que revisten la identificación de pontón, en los cuales se ha variado la manga y el puntal de tal manera de obtener distintas relaciones entre ambos y observar el comportamiento de este valor que no es verificado para las dimensiones de la mayoría de los pontones analizados, los nombres de los cuales debemos mantener en reserva.

Para esto se ha dispuesto la confección de modelos virtuales de pontones y la evaluación de su estabilidad, intentando identificar el comportamiento relativo a los criterios definidos por la OMI en función de esa variación propuesta.

2. Desarrollo del Estudio

La fundamentación del trabajo consiste en el estudio de las curvas de estabilidad para distintas relaciones dimensionales en las cuales el puntal es el parámetro variable, y la visualización del comportamiento del ángulo de escora para el cual el brazo de adrizamiento se hace máximo.

Es necesario determinar entonces por un lado las características hidrostáticas y brazos de adrizamiento virtuales (*KN*) para cada uno de los modelos junto con la posición del centro de gravedad, para así poder determinar luego cada una de las curvas de estabilidad.

Este trabajo implicó tres etapas, en la primera de las cuales se definieron las dimensiones de los modelos, luego se confeccionaron los modelos digitales que fueron procesados a través del software libre FREE!Ship obteniendo mediante este proceso las curvas hidrostáticas y cruzadas, completando la segunda etapa, y finalmente en la tercera se determinaron los pesos de los pontones vacíos y su carga.

Con los datos obtenidos se completó luego la curva de estabilidad para cada uno de los modelos, comparándose aquellas correspondientes a las unidades donde únicamente era variado el puntal.

2.1. Modelos de pontones

En una primera etapa del proyecto se definieron las dimensiones de los doce pontones a estudiar.

La idea fundamental es estudiar el comportamiento de un aspecto del criterio de estabilidad en función de la variación de la manga y el puntal, por lo cual se consideró como hipótesis que la eslora se mantendría constante.

Se eligieron luego tres relaciones de eslora / manga y cuatro relaciones manga / puntal, resultando así los siguientes modelos:

Tabla 1 - Modelos utilizados mostrando la variación entre sus dimensiones principales

Nº de Modelo	L/B	B/D	L (m)	B (m)	D (m)
1	2,857	6,00	60,00	21,00	3,50
2	2,857	5,00	60,00	21,00	4,20
3	2,857	4,00	60,00	21,00	5,25
4	2,857	3,00	60,00	21,00	7,00
5	4,00	6,00	60,00	15,00	2,50

6	4,00	5,00	60,00	15,00	3,00
7	4,00	4,00	60,00	15,00	3,75
8	4,00	3,00	60,00	15,00	5,00
9	5,00	6,00	60,00	12,00	2,00
10	5,00	5,00	60,00	12,00	2,40
11	5,00	4,00	60,00	12,00	3,00
12	5,00	3,00	60,00	12,00	4,00

2.2. Confección de los modelos

Como fue señalado anteriormente, se utilizó el software libre FREE!Ship para la confección de los modelos digitales y la evaluación de las curvas hidrostáticas y cruzadas. FREE!ship es un programa de modelizado de superficies en código fuente abierto basado en la subdivisión de superficies y orientado al diseño de cascos de buques. Si bien éste ha sido desactivado desde su lugar de creación hace ya un tiempo, y en las condiciones de uso se establece claramente que no se establece ninguna garantía por los resultados, estudios comparativos realizados permiten asegurar los resultados obtenidos.

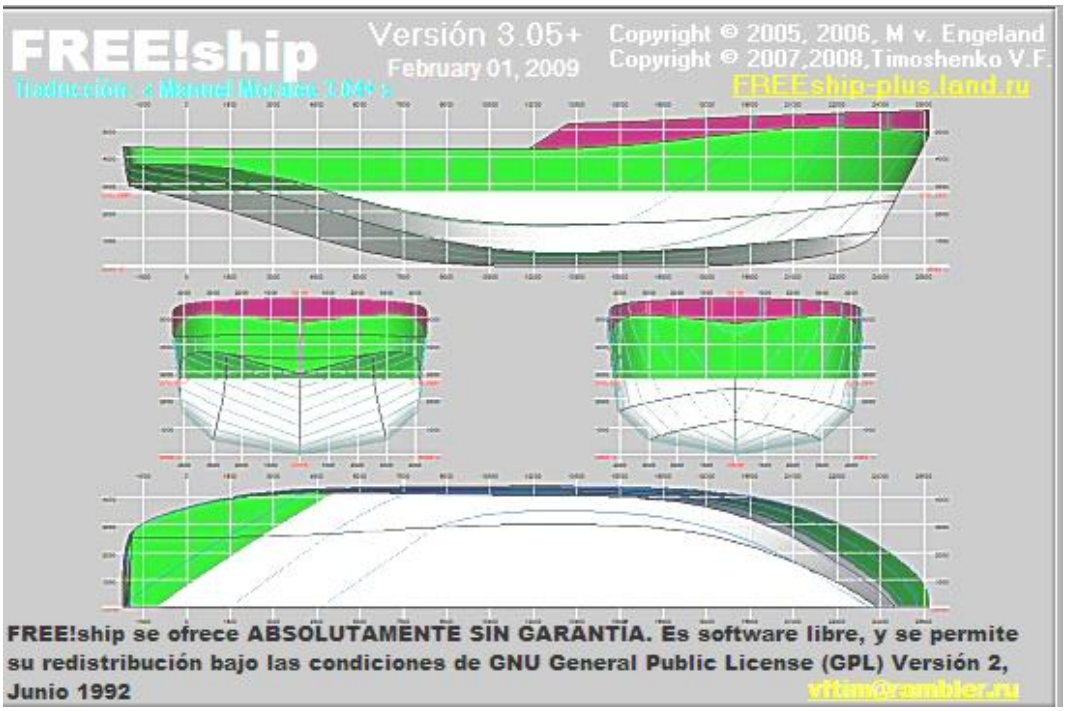


Fig. 1 - Presentación del Software FREE!Ship

Una vez construidos los modelos, se determinaron las curvas hidrostáticas y las curvas cruzadas de cada uno de ellos.

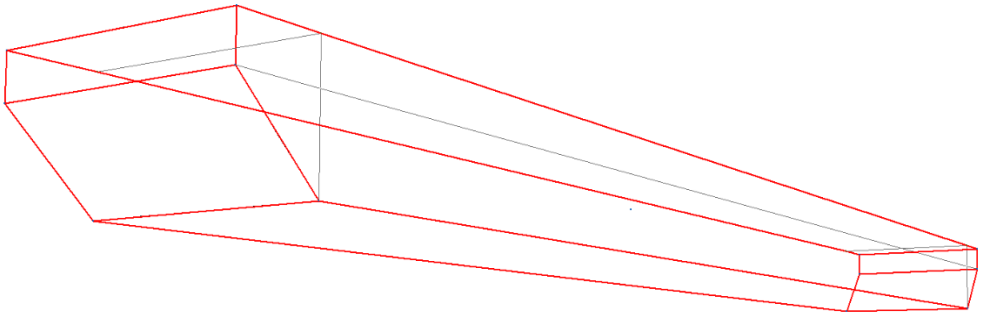


Fig. 2 - Modelo mostrando su estructura de "armadura"

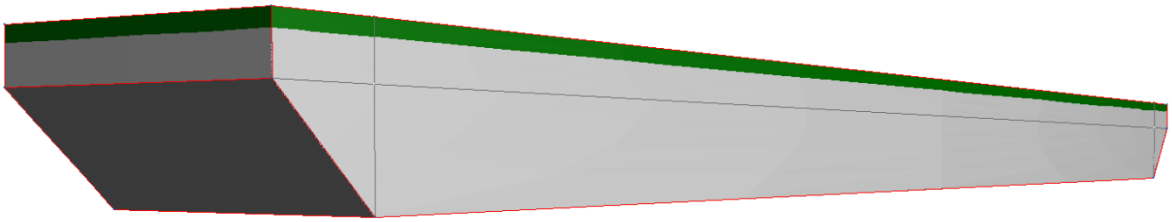


Fig. 3 - Modelo con superficies sombreadas

Para cada uno de los modelos considerados, curvas hidrostáticas y cruzadas fueron obtenidas en un formato de planilla electrónica, lo que permite el rápido y sencillo acceso a esos datos.

2.3. Estimación del peso y centro de gravedad de los pontones

El peso y posición del centro de gravedad de los pontones debe ser estimado como insumo indispensable para la confección de las curvas de estabilidad. Para su determinación fueron consideradas algunas hipótesis de trabajo:

- Todos los pontones tienen un sistema de construcción similar
- Los elementos estructurales, tanto transversales como longitudinales, son idénticos para todos los pontones, diferenciándose únicamente en sus dimensiones globales.
- Existe una repetición de elementos transversales y longitudinales en el desarrollo estructural.

En esta segunda etapa se desarrolló el detalle estructural de cada modelo, teniendo en cuenta el dimensionamiento de la estructura transversal y longitudinal y determinación de la subdivisión estanca; se determinó finalmente que cada modelo tendría una estructura mixta.

La luz entre cuadernas es de 0,50 m, lo mismo para los longitudinales, de cubierta y fondo, y palmejares. Los mamparos estancos transversales tienen una distancia entre ellos de seis metros.

La configuración estructural de los pontones es similar variando el número de palmejares, cantidad de longitudinales de cubierta y fondo dependiendo de las dimensiones correspondientes de cada modelo.

Se partió de la base de módulos o bloques constructivos de tres metros, debido a que las mangas de los modelos son múltiplos de tres (12, 15 y 21). Estos módulos van variando el orden de sus ubicaciones dependiendo la manga correspondiente a cada modelo (Fig. 4)

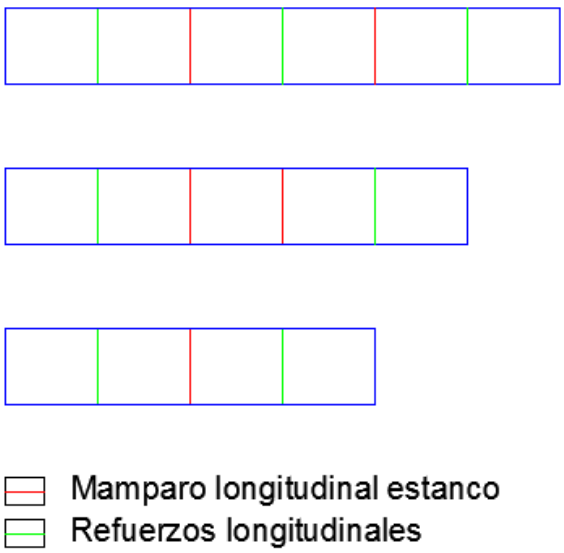


Fig. 4 - Secciones transversales y estructura longitudinal de los pontones según su manga

Detalle de la estructura longitudinal utilizada:

Palmejares	perfiles ángulos 150x150x8 mm
Longitudinales de cubierta y de fondo	perfiles ángulos 100x100x6mm
Refuerzo longitudinal (vagra)	ver Fig. 5

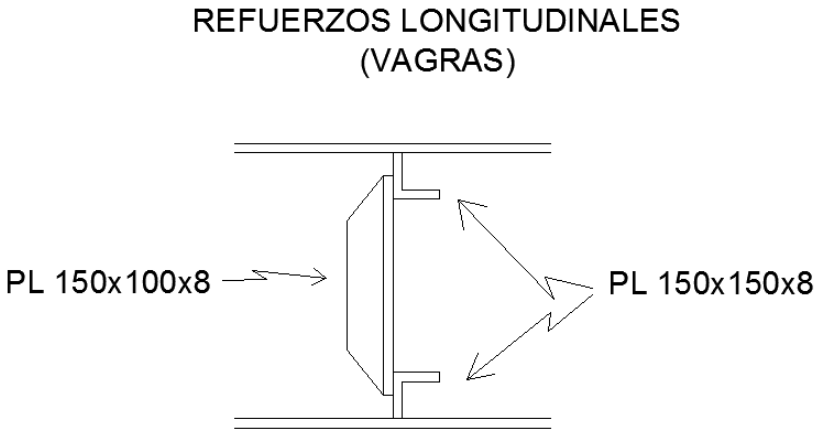


Fig. 5 - Estructura resistente de vagras

Detalle de la estructura transversal utilizada:

Se definieron módulos de seis metros de eslora, en los cuales se encuentran dos bularcamas y nueve cuadernas, con una luz entre ellas de 500 mm, entre dos mamparos estancos, Fig. 6 y Fig. 7.

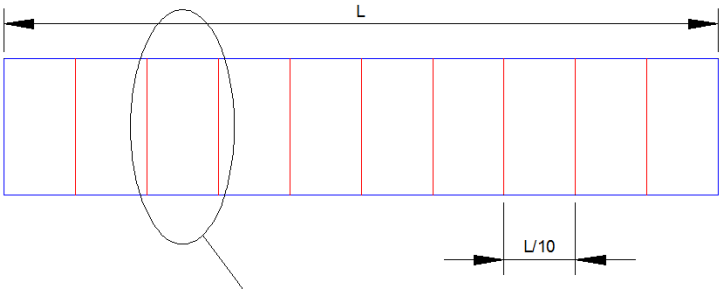


Fig. 6 - Vista de la distribución longitudinal por módulos

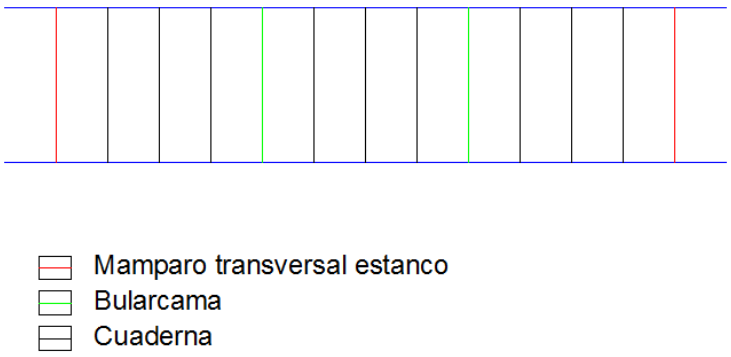


Fig. 7 - Esquema de estructura transversal entre mamparos estancos

La estructura de cuadernas reforzadas o bulárcamas se puede observar en la figura Fig. 8, mientras que en la Fig. 9 se indica la estructura de una cuaderna simple, teniendo entre ambas una diferencia en el dimensionamiento de los perfiles utilizados.

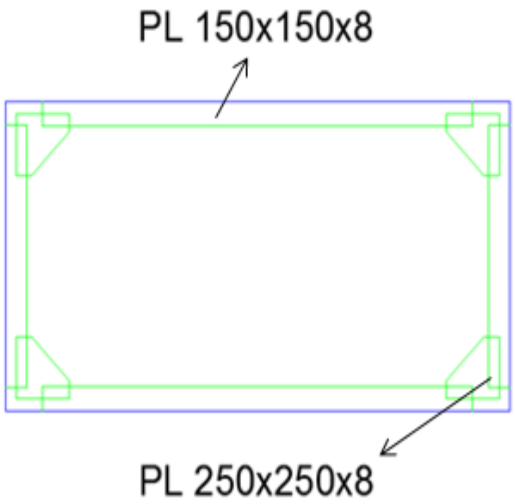


Fig. 8 - Estructura de bulárcamas

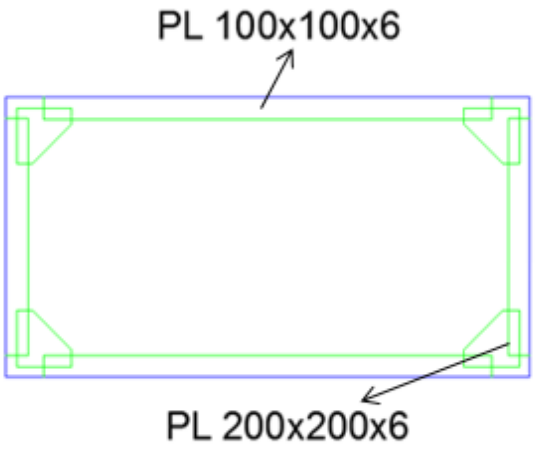


Fig. 9 - Estructura de cuadernas

Luego, con la estructura de cada pontón ya definida se calculó el peso total del buque vacío y el centro de gravedad del mismo. Dando como resultado lo siguiente:

Tabla 2 - Peso y posición del centro de gravedad de pontones

Modelo	L (m)	B(m)	D (m)	Peso de la barcaza (Ton)	Zg (m)
1	60,00	21,00	3,50	403,55	1,77
2	60,00	21,00	4,20	427,88	2,141
3	60,00	21,00	5,25	468,19	2,674
4	60,00	21,00	7,00	552,54	3,572
5	60,00	15,00	2,50	270,65	1,26
6	60,00	15,00	3,00	283,40	1,53
7	60,00	15,00	3,75	310,99	1,88
8	60,00	15,00	5,00	361,40	2,44
9	60,00	12,00	2,00	212,60	1,07
10	60,00	12,00	2,40	215,12	1,28
11	60,00	12,00	3,00	232,85	1,59
12	60,00	12,00	4,00	263,26	2,13

Finalmente se consideró la carga necesaria para completar un desplazamiento correspondiente a un calado de tres cuartas partes del puntal de cada pontón. Esa carga fue dividida equitativamente en carga sobre cubierta propiamente dicha y lastre en tanques de doble fondo para equilibrar el centro de gravedad en su posición vertical.

Los centros de gravedad de los lastres se ubicaron independientemente del modelo a 0,40 m del fondo, y la carga sobre cubierta a una altura predefinida dependiendo del pontón en estudio.De esta manera se obtuvo la posición vertical del centro de gravedad en cada caso, los mismos se presentan en las siguientes tablas, la última de las cuales muestra la condición del pontón cargado.

Tabla 3 - Peso y posición del centro de gravedad de la carga

Modelo	Pesos (Ton)	Zg de pesos sobre Cubierta (m)
1	1440,17	4,00
2	1726,26	4,80
3	2188,66	6,00
4	2782,806	8,00
5	708,33	2,86
6	865,35	3,43
7	1093,96	4,29
8	1463,60	5,71
9	436,29	2,29
10	540,91	2,74
11	689,23	3,43
12	931,64	4,57

Tabla 4 - Peso y posición del centro de gravedad del lastre

Modelo	Pesos (Ton)	Zg de lastres (m)
1	1440,17	0,40
2	1726,26	0,40
3	2188,66	0,40
4	2782,80	0,40
5	708,33	0,40
6	865,35	0,40
7	1093,96	0,40
8	1463,60	0,40
9	436,29	0,40
10	540,91	0,40
11	689,23	0,40
12	931,64	0,40

Tabla 5 - Peso y posición del centro de gravedad del pontón cargado

Modelo	Peso total (Ton)	Zg total (m)
1	3283,90	2,15
2	3880,40	2,55
3	4845,50	3,15
4	6118,15	4,14
5	1687,31	1,57
6	2014,10	1,86
7	2498,92	2,29
8	3288,60	2,99
9	1085,17	1,29
10	1296,93	1,52
11	1611,30	1,87
12	2126,53	2,44

3. Curvas de estabilidad

Finalmente se confeccionaron las curvas de estabilidad para cada una de las condiciones operativas indicadas. Las curvas representan las siguientes formulaciones:

$$GZ = KN - KG.\sin\theta$$

Donde

KN son los brazos de adrizamiento virtuales, considerando que el centro de gravedad está sobre la intersección del plano de crujía y el plano base

KG es la posición vertical del centro de gravedad

θ es el ángulo de balanceo que alcanza el flotador

Se agruparon los modelos teniendo en cuenta relaciones constantes entre la eslora y la manga, para todas las variaciones del puntal, completando entonces tres conjuntos comparativos que se muestran en los siguientes tres gráficos:

Tabla 6 – Brazo de adrizamiento (GZ) y ángulo máximo para B/L = 2.9

Modelo	GZ_{MAX} (m)	θ (º)
1	2,09	20,0
2	1,98	24,0
3	1,84	25,5
4	1,58	27,0

Tabla 7 – Brazo de adrizamiento (GZ) y ángulo máximo para B/L = 4.0

Modelo	GZ_{MAX} (m)	θ (º)
5	1,48	20,0
6	1,39	24,0
7	1,28	25,0
8	1,08	26,5

Tabla 8 – Brazo de adrizamiento (GZ) y ángulo máximo para B/L = 5.0

Modelo	GZ_{MAX} (m)	θ (º)
9	1,17	20,0
10	1,09	23,0
11	0,99	25,0
12	0,83	27,0

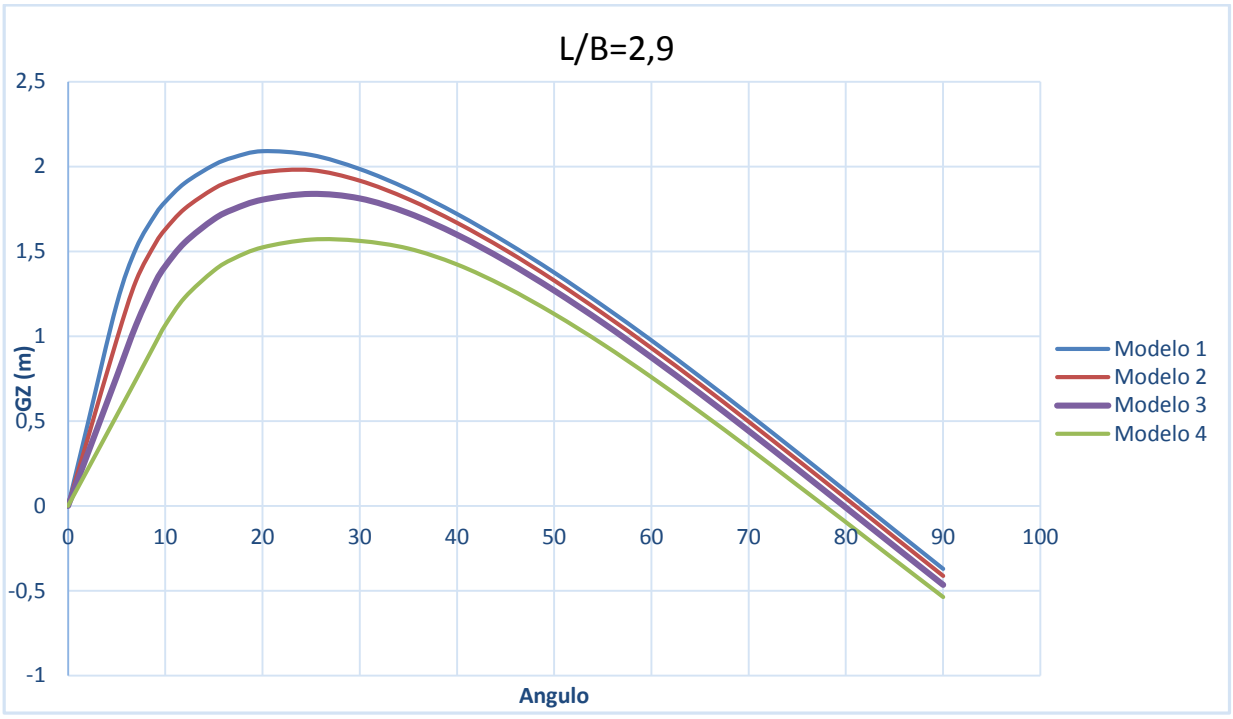


Fig. 10 - Curvas de estabilidad para los modelos 1, 2, 3 y 4 con L/B = 2.9

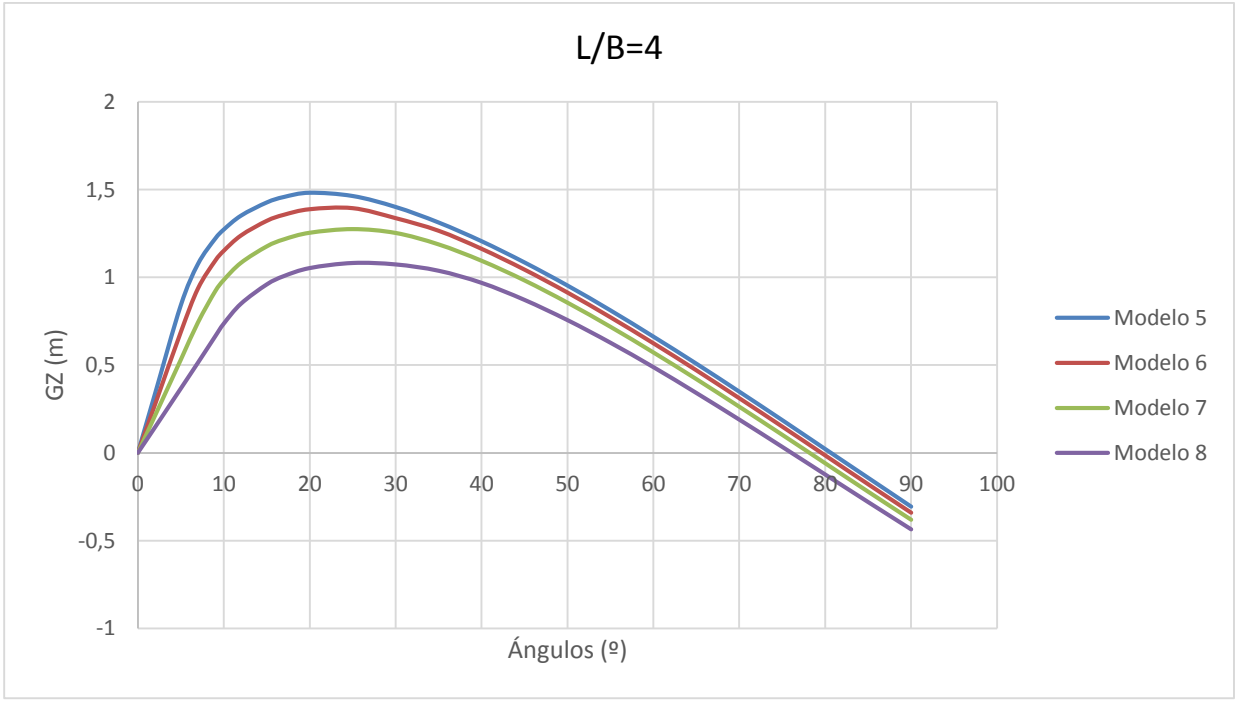


Fig. 11 - Curvas de estabilidad para los modelos 5, 6, 7 y 8 con L/B = 4.0

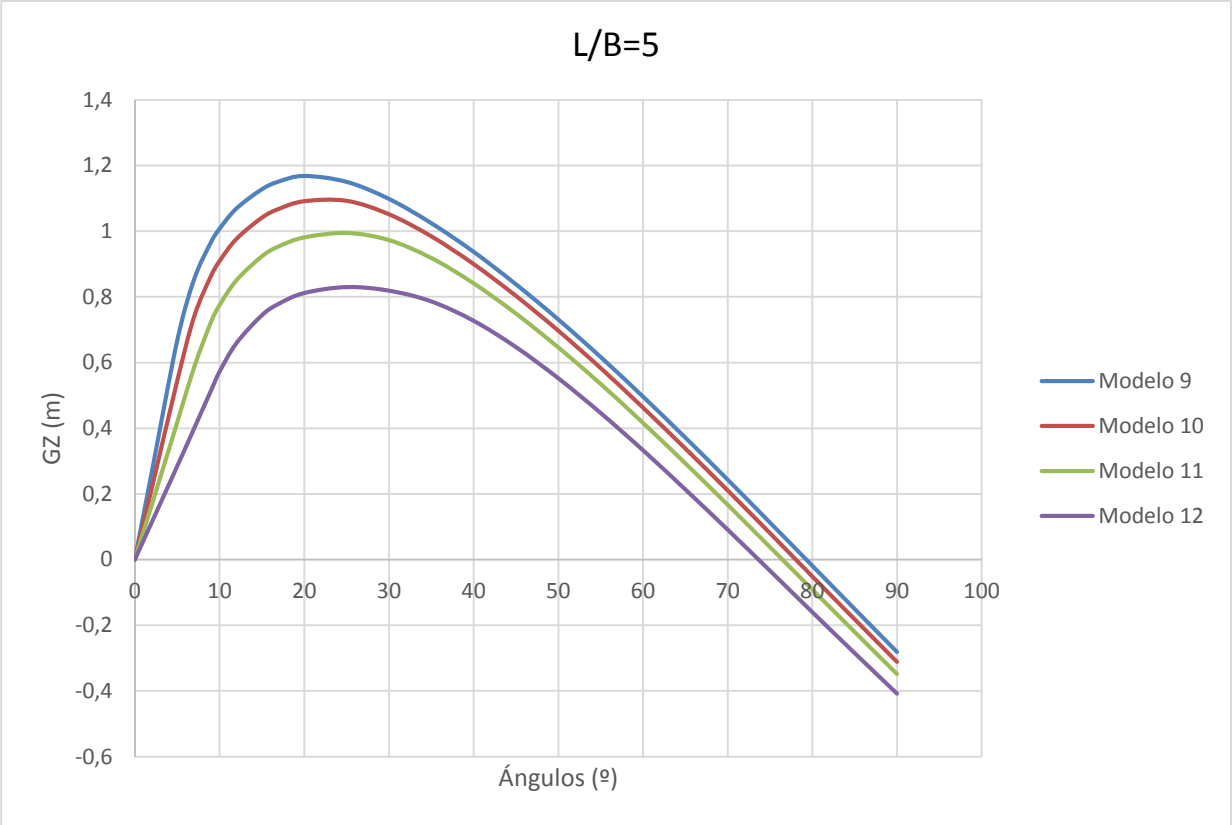


Fig. 12 - Curvas de estabilidad para los modelos 9, 10, 11 y 12 con L/B = 5.0

4. Conclusiones

Luego de un estudio detallado de los datos obtenidos se puede llegar a la conclusión que al aumentar el puntal para una misma eslora y manga, se comprueban dos fenómenos bien distinguidos: el máximo ángulo para el cual el GZ se hace máximo aumenta pero, mientras el brazo de adrizamiento máximo disminuye notablemente, esto último sucede ya que aumenta la posición vertical del centro de gravedad en cada caso.

Según los criterios de estabilidad, una condición que se debe cumplir, es que el máximo de la curva de estabilidad se debe dar a un ángulo mayor que 25°, esto sí se da en los casos donde la relación manga/puntal es de 1/3, 1/4; pero no así con las relaciones 1/5 y 1/6. En la siguiente tabla se muestran los datos de $GZ_{MÁX}$ y θ correspondientes.

Tabla 9 – Ángulo para brazo de adrizamiento máximo para B/L = 2.9

Modelo	GZ_{MAX} (m)	θ (º)
1	2,09	20,0
2	1,98	24,0
3	1,84	25,5
4	1,58	27,0

Tabla 10 – Ángulo para brazo de adrizamiento máximo para B/L = 4.0

Modelo	GZ_{MAX} (m)	θ (º)
5	1,48	20,0
6	1,39	24,0
7	1,28	25,0
8	1,08	26,5

Tabla 11 – Ángulo para brazo de adrizamiento máximo para B/L = 5.0

Modelo	GZ_{MAX} (m)	θ (º)
9	1,17	20,0
10	1,09	23,0
11	0,99	25,0
12	0,83	27,0

5. Referencias

5.1. International Code on intact stability. Resolution MSC 267(85). IMO. 2008

5.2. Code on Intact Stability for all Types of Ships covered by IMO Instruments. Resolution A749(18). 1993.

5.3. Code of Safety for Special Purpose Ships. Resolution MSC 266(84) y Enmienda de Resolution MSC 299(87). 2008.

5.4. Circular DIRME 004/2014 Pautas para la regulación y certificación de pontones; Armada Nacional, Dirección de Marina Mercante, Uruguay. 2014