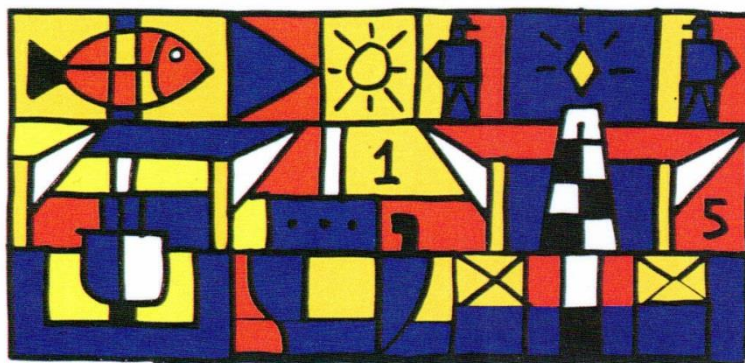
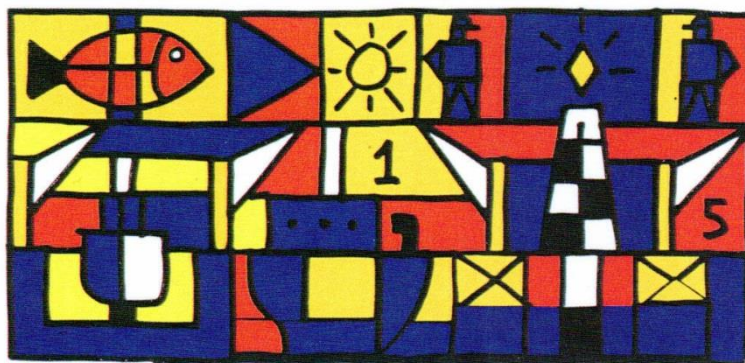




XXIV COPINAVAL

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



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 <i>Charles Hudson M. de Vasconcelos</i>	1
2. Control de la biblioteca del IPIN – Capítulo Cuba <i>Paderni López, María del Carmen</i> <i>Galiano Paderni, Amado E.</i> <i>Galiano Ortiz, Amado F.</i>	16
3. Integración de sistemas de gestión: desde la calidad al medio ambiente en una empresa de diseño y construcción naval <i>Lic. Natasha Aguila Valdés</i>	24
4. Estudio de pertinencia de la creación de la carrera de ingeniería en seguridad y transporte marítimo en el ecuador <i>Mendieta Villalba N. M.</i>	41
5. Implementación de ingeniería en confiabilidad, en planes de sostenimiento de unidades navales <i>Grilli Bebelli, Leonardo</i>	58
6. Análisis técnico de las alternativas de optimización de un difusor de descarga de gases para submarinos convencionales <i>Manuel Herrera Romero</i>	70
7. Introducción a la producción offshore <i>Gustavo Fabian Acosta</i> <i>María Curria</i> <i>Laura Stempkowski</i>	88
8. Desafíos profesionales en el mar <i>Gustavo Fabian Acosta</i> <i>Magdalena Martinsen Hansen</i> <i>Catalina Rigou</i>	115
9. Introducción a la perforación offshore <i>Gustavo Fabian Acosta</i>	125
10. Análisis hidrodinámico de una turbina hidrocínética con difusor mediante herramientas numéricas <i>Troncoso Paredes, C. E.</i> <i>Tampier Brockhaus, G. A.</i> <i>Salas Inzunza, M. A.</i>	150

Libro de Conferencias Magistrales y Trabajos Libres del XXIV Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Transporte Marítimo e Ingeniería Portuaria COPINAVAL 2015

11. Diseño de los sistemas de comunicación, navegación y automatización de un buque fluvial de acción social <i>Clara Tatiana Cañón Perdomo</i> <i>Roberth Arturo Alvarez Jimenez</i>	164
12. Análisis técnico y operacional de sistema de transporte marítimo de agua dulce en contenedores flexibles <i>M. Salas</i>	177
13. Uma análise preliminar de riscos para a construção de lanchas em alumínio naval <i>Rafael Araújo Sales</i> <i>José Ailton da Silva Júnior</i> <i>Bruno Farias de Andrade</i>	189
14. Previsão de preço para empurradores fluviais <i>Brizamar Muniz de Aguiar Filho</i> <i>Thiago Lemgruber Porto</i> <i>Eduardo R. Barreda del Campo</i> <i>José Teixeira de A. Neto Santos</i>	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 <i>Wilmer Enrique Castro Reyes</i>	224
16. Desempenho de embarcações mistas usando modelo DEA <i>Nadson Cavalcante</i> <i>Larissa de Andrade Silva</i>	242
17. Geração de energia elétrica em embarcações com o trocador de calor através do efeito Seebeck <i>Dayana Oliveira Magalhães</i> <i>Edelson da Cruz Luz</i>	261
18. Análisis de los efectos en las defensa marinas para buques debido a un impacto localizado <i>Cueva Huamalies, M.A.</i> <i>Rivera Tirado, F.</i>	284
19. Análise de resistência hidrodinâmica em uma embarcação utilizando dois diferentes softwares: COMSOL e ANSYS <i>Ricciardo S. Cei</i> <i>Gabriel O. Bemerguy</i> <i>Gabriel J. Ohana</i> <i>Edelson Luz</i>	307
20. Problema de alocação de berços em terminais hidroviários <i>Paulo Vinícius Silva Brilhante</i>	

<i>Matheus Monteiro Campos</i>	
<i>Marcelo Henrique Dibo Paes</i>	
<i>Eduardo R. Barreda del Campo</i>	
<i>José Teixeira de A. Neto Santos</i>	320
 21. Internal mechanics analysis on ship collisions	
<i>Rodrigo Michels</i>	340
 22. Gestión de riesgo operacional en la industria marítima y portuaria	
<i>Rodrigo Andrade Rigazzi</i>	356
 23. Diagnóstico e proposta de modelo de avaliação operacional para automação em terminais de contêineres no brasil	
<i>Prof. Dr. Marcelo Patricio</i>	
<i>Prof. Dr. Rui Carlos Botter</i>	373
 24. Dimensionamiento de estrobos para redes de pesca de arrastre	
<i>Freiria, J.</i>	
<i>La Paz, P.</i>	
<i>Marín, Y.</i>	
<i>Chocca, J.</i>	
<i>González, B.</i>	
<i>Beathyate, G.</i>	391
 25. Estudio de las condiciones de estabilidad de pontones	
<i>La Paz, P.</i>	
<i>Álvarez, M.</i>	
<i>Freiria, J.</i>	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, nº 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 à 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 2º 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 extraclases – 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 mesmos 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 estabelecida 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 Pérez (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 separar 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)

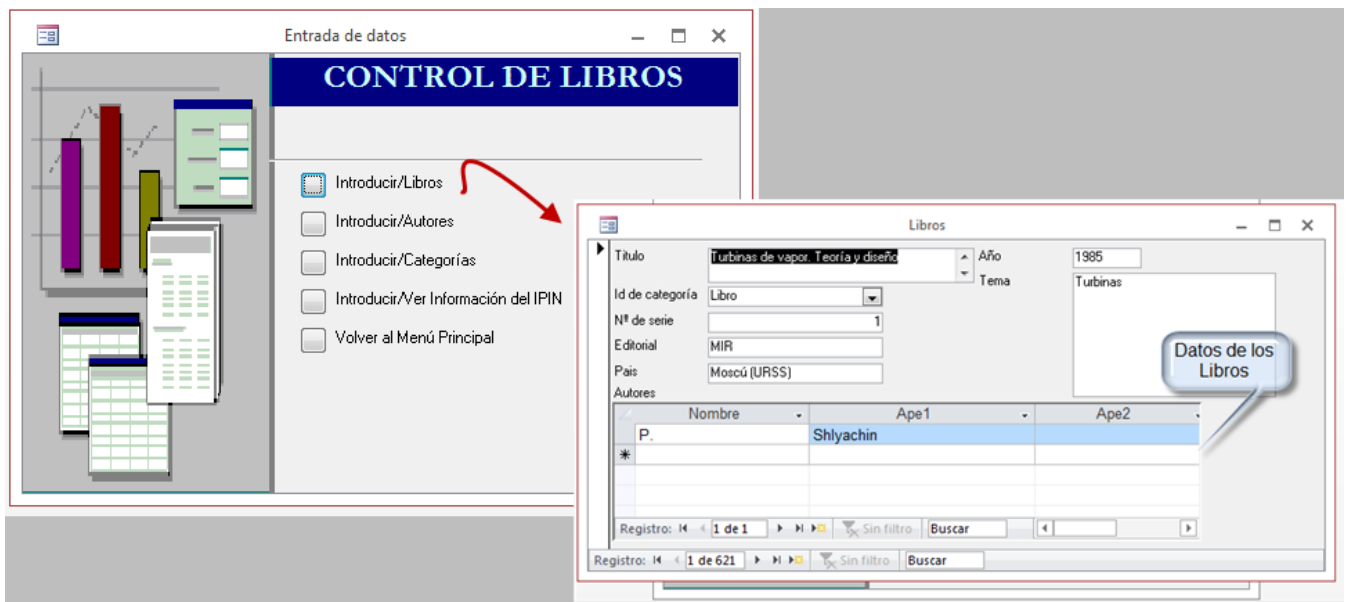


Figura 2 Opciones de Inserción

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)

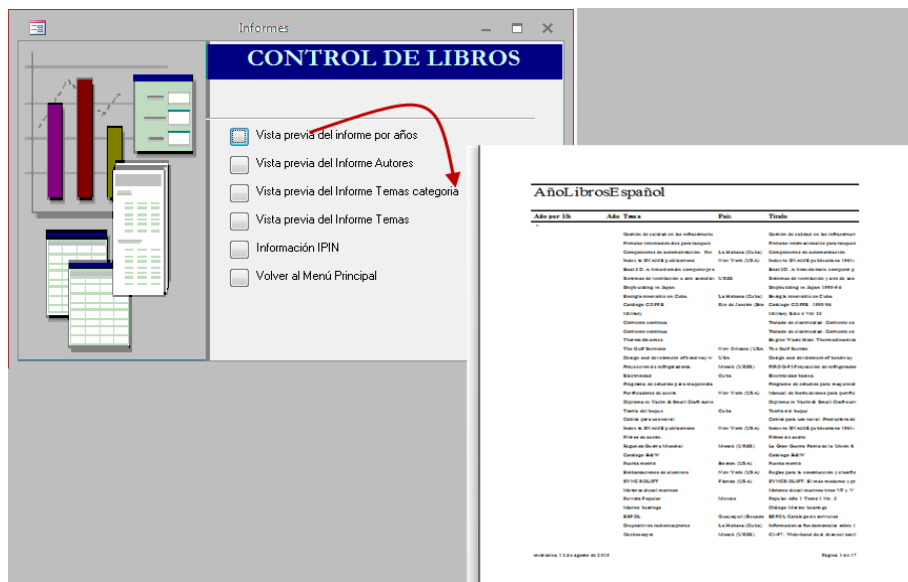


Figura 3 Opciones de Vista previa de Informes

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

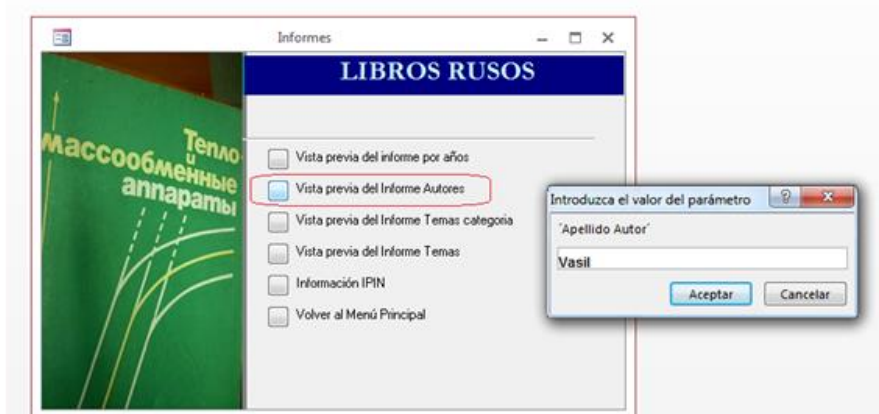


Figura 4 Búsquedas de subcadenas de los Libros Rusos

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 ordenarlo 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.

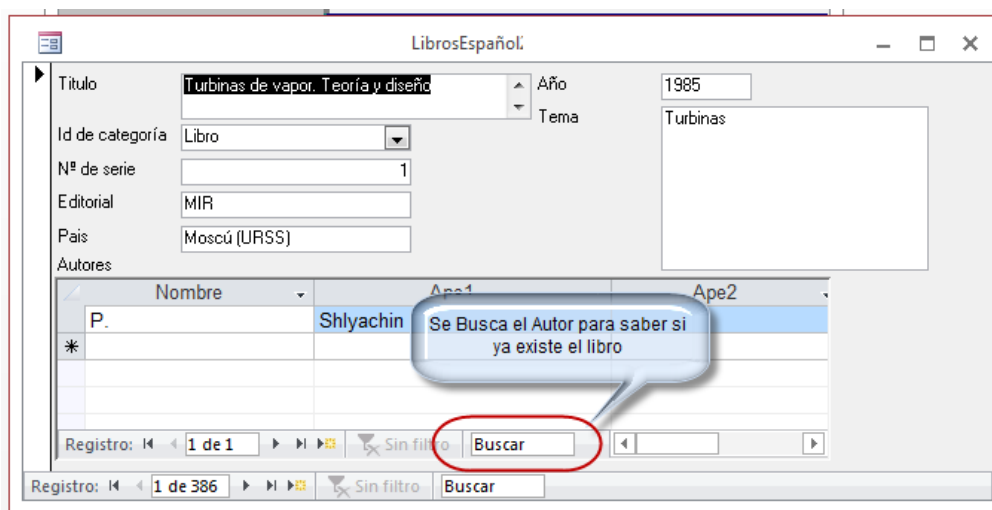


Figura 5 Búsquedas de Autor

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 ampliar 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 CEPRONA¹ 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 implementando 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 en 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 Navales², 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 interesadas⁴.

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, los productos y/o 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 procesos 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 Calidad⁸ 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 soberanía 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 CITMA¹⁰ 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 ambiental¹¹ 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 Turístico***, 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 ingeniería, 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 peligrosos¹³ 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 líquidos¹⁴ y sólidos¹⁵, las emisiones a la atmósfera¹⁶, la contaminación sonora¹⁷, los productos químicos¹⁸, 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 a todas las áreas 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 2012¹⁹. 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 Diagnóstico 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 Habana²⁰ y cuentan ya con Licencia sanitaria en las UEB Astigal, Astisur, Astigolf y Astinor²¹.

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 Núñez Jiménez (ONG) en la que la empresa interactúa y participa en diversas actividades para la limpieza y preservación 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 N° 242; 13 de Mayo de 1982
Convenio internacional sobre líneas de carga (LL), 1966	5 / abril / 1966	21 / jul / 1968	Reg. Oficial N° 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 N° 904; 30 de Marzo de 1988
Convenio internacional sobre búsqueda y salvamento marítimos, 1979	27/ abril / 1979	22 / jun / 1985	Reg. Oficial N° 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 N° 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 N° 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 N° 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 N° 229; 08 de Dic. de 1976
Convenio para facilitar el tráfico marítimo internacional, 1965	9 / abril / 1965	5 / mar / 1967	Reg. Oficial N° 992; 03 de Agosto de 1988
Convenio internacional sobre arqueo de buques, 1969	23 / jun / 1969	18 / jul / 1982	Reg. Oficial N° 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 N° 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)

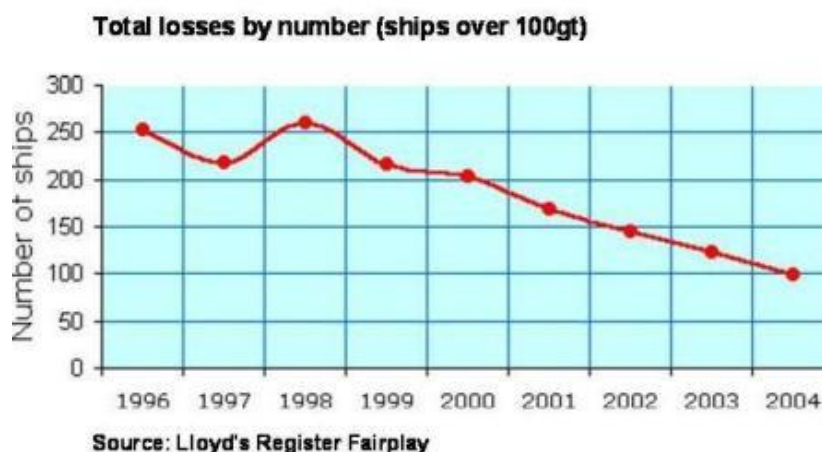


Figura 1.
Número de buques siniestrados (sobre 100 Toneladas Gruesas) en función de años.
Fuente: Lloyd's Register Fairplay

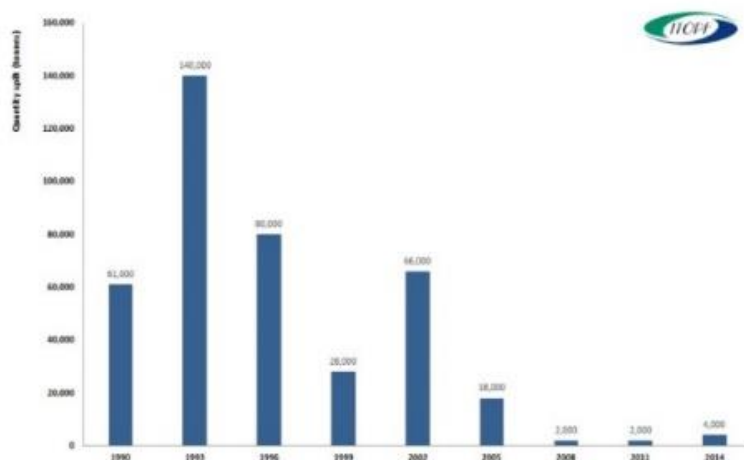


Figura. 2.
Cantidad estimada de hidrocarburo derramado en miles de toneladas en función de años.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99

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.

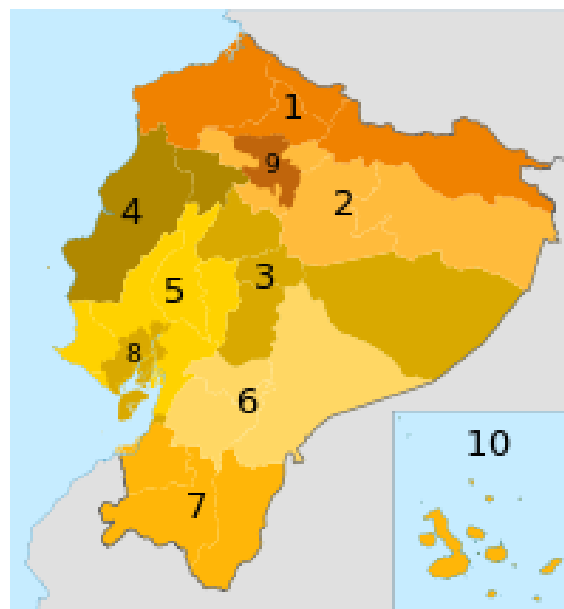


Figura 4.
Regiones autónomas de Ecuador

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.
Capacitación continua en regulaciones internacionales y nacionales en función 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?

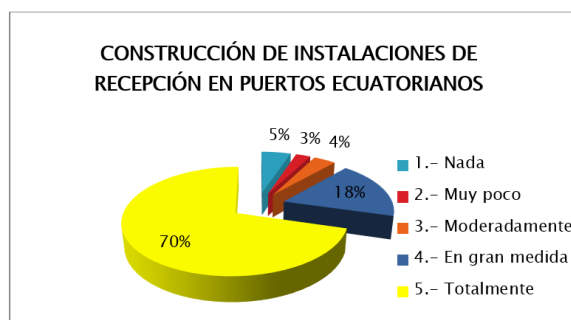


Figura 6
Construcción de instalaciones de recepción en puertos ecuatorianos en función de porcentaje de respuestas

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?

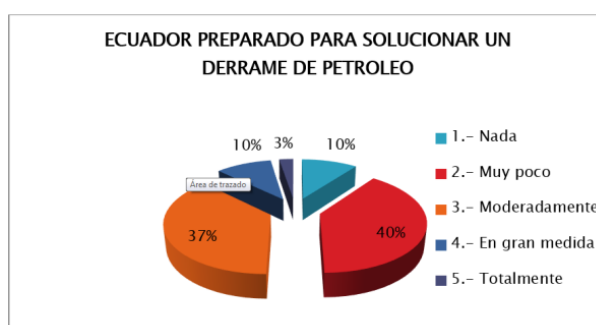


Figura 7
Ecuador preparado para solucionar un derrame de petroleo en función de porcentaje de respuestas

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 abordaje 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. Bibliografía

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%99Cexpostfacto%E2%80%99D>

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 ingeniería 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 POLÍTICAS 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.

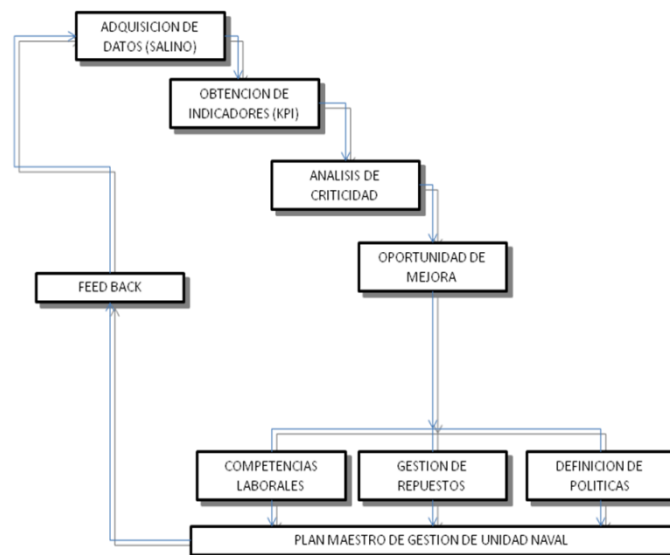
2.4. IMPLEMENTACIÓN PROGRAMA DE CONTROL DE POLÍTICAS

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 dependen 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).

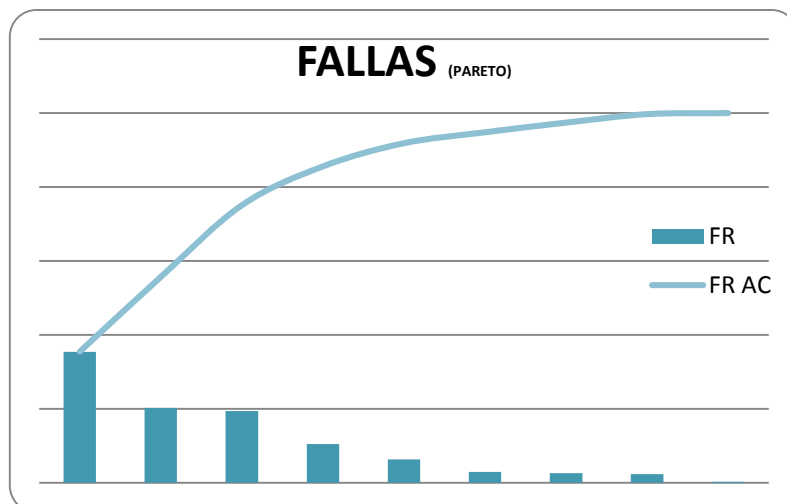
Para esta fase del trabajo se seleccionaron tres Fragatas del mismo modelo y se les extrajo la información de los últimos 5 años de Órdenes de Trabajo (Fallas), con esto se pudo determinar la primera distribución de estudio:

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%	

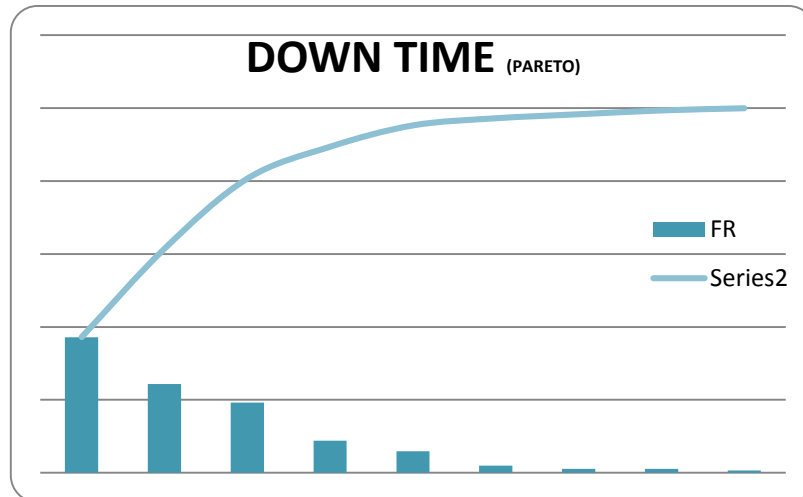


En esta primera etapa vemos como tres cargos acumulan el 75% de las fallas, en cuanto a frecuencia, con lo que podemos destacar ocurrencia.

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.

Libro de Conferencias Magistrales y Trabajos Libres del XXIV Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Transporte Marítimo e Ingeniería Portuaria COPINAVAL 2015

ANALISIS DE MODO DE FALLA PARA COMPRESOR DE AIRE					
SUBSIST. - NIVEL 3	COMPONENTE	MODO FALLA	EFEECTO	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	EFEECTO	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 simulaban 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, sobretudo 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

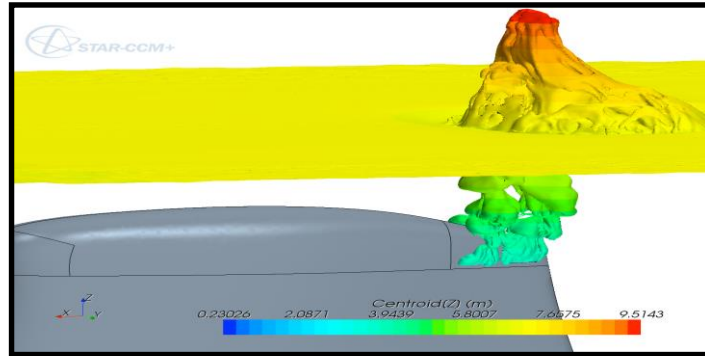
VARIABLE	CONDICIÓN	IMPLICANCIA EN EL PROBLEMA
DIRECCIÓN DE INYECCIÓN	45° Bajo a la horizontal	Favorable
TIPO DE ORIFICIO	Tobera	Desfavorable
GEOMETRÍA DEL ORIFICIO	Biselado	Favorable
DISTANCIA LONGITUDINAL DE DIFUSIÓN	1350 [mm]	Insuficiente
SECCIONAMIENTO EN LA DESCARGA DE GASES	Flujo no seccionado	Desfavorable

PROPUESTA 2

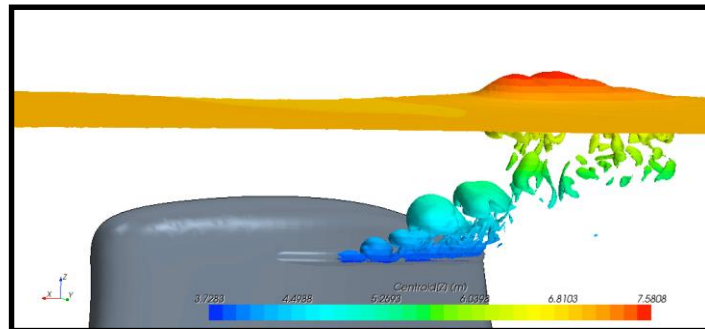
VARIABLE	CONDICIÓN	COMPARACIÓN MODELO ACTUAL
DIRECCIÓN DE INYECCIÓN	45° bajo la horizontal	Similares
TIPO DE ORIFICIO	Difusor	Más Favorable
GEOMETRÍA DEL ORIFICIO	Biselado	Similares
DISTANCIA LONGITUDINAL DE DIFUSIÓN	3500 [mm]	Más Favorable
SECCIONAMIENTO EN LA DESCARGA DE GASES	Seccionado	Más Favorable
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.

Introducción 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 relacionan con las cuencas productivas de Orange (Namibia y Sudáfrica) tales como los yacimientos 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.

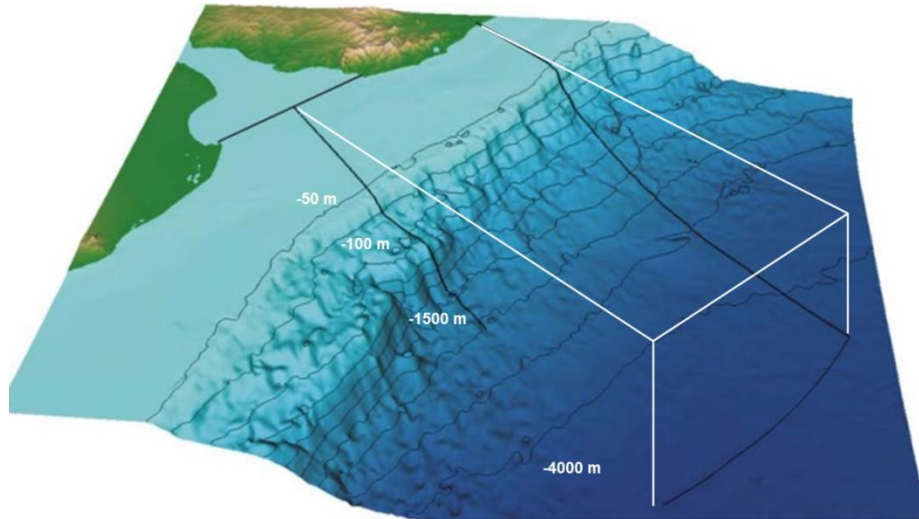


Figura 2: Batimetría 3D

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].

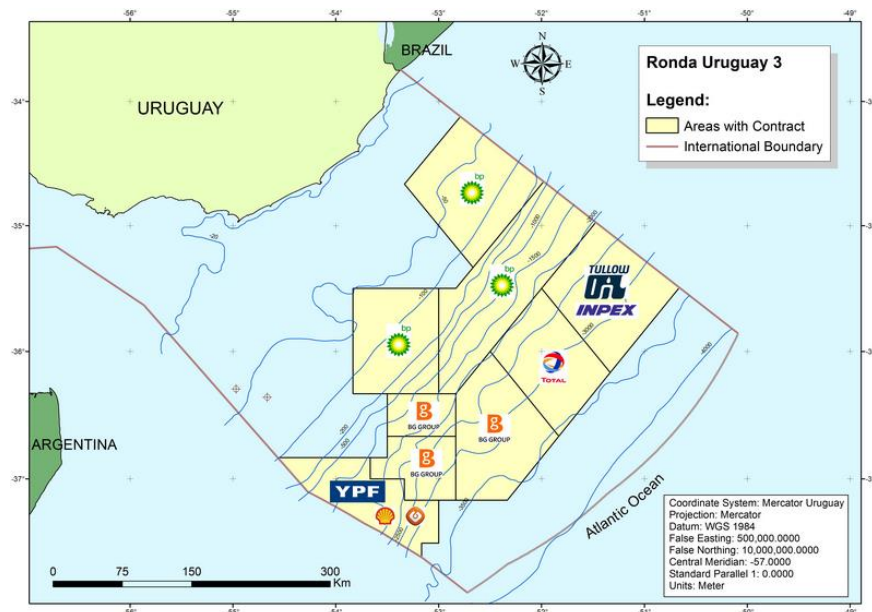


Figura 3: Ronda Uruguay 3 [4]

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.

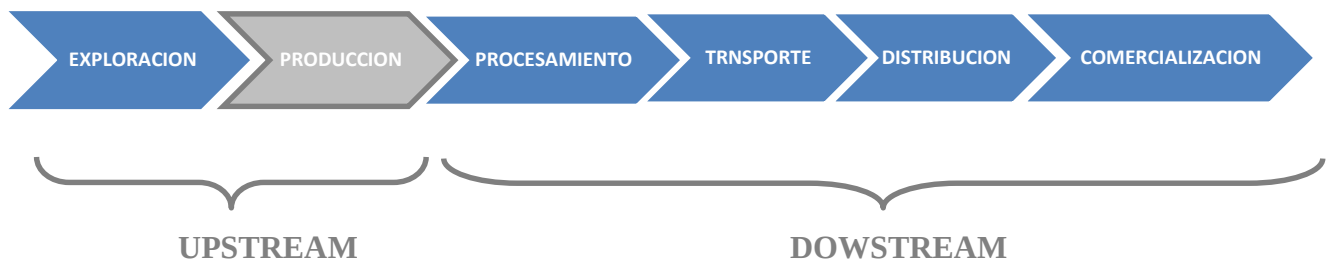


Figura 4: Cadena del valor

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.

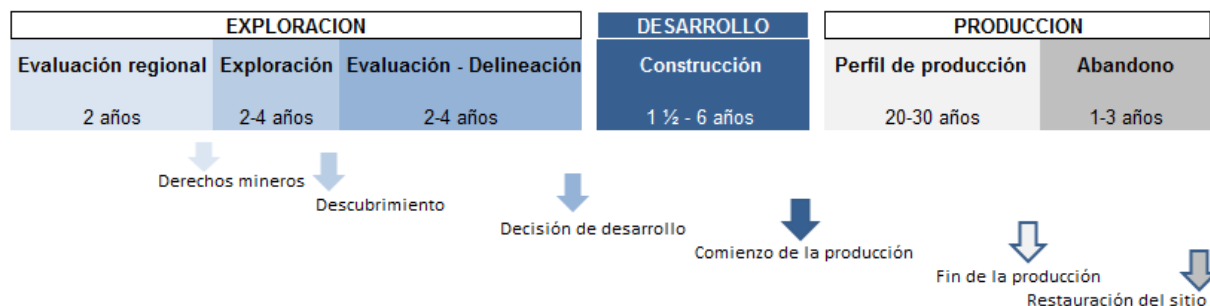


Figura 5: Estimación de tiempo de un desarrollo Offshore.

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 Plateau 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 mismas 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 Prevalcientes

- 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 significativa
 - Altura significativa debida a la mar de fondo.
 - Altura significativa debida a la mar de viento
 - Altura máxima.
- Periodo o Frecuencia: se mide en segundos
 - 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.

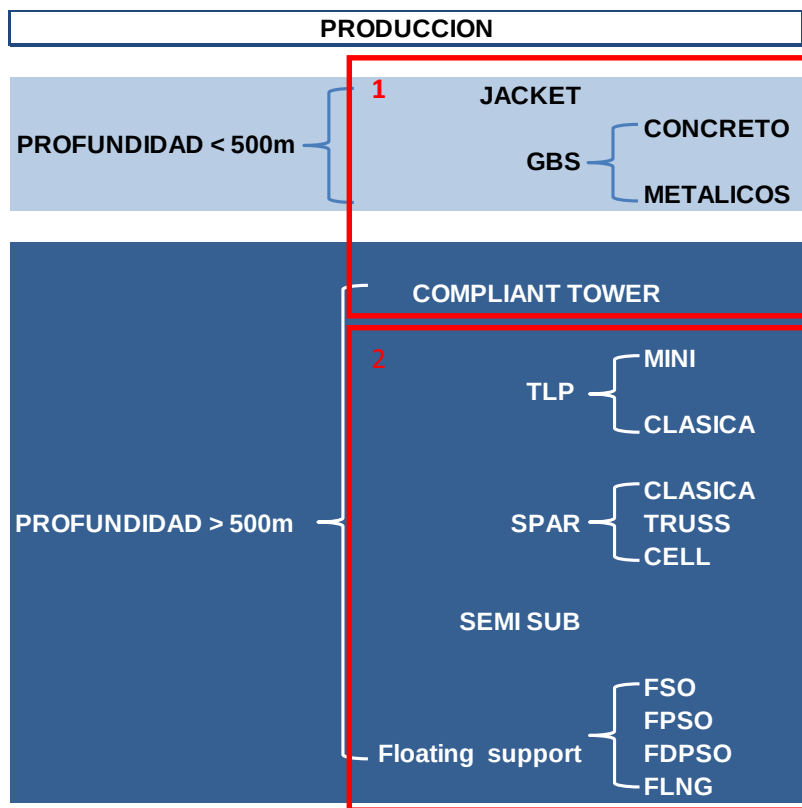
Profundidades

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 especifica de cada sistema de extracción del hidrocarburo desde una plataforma apoyada hasta un barco de producción (Floating Production Storage & Offloading).

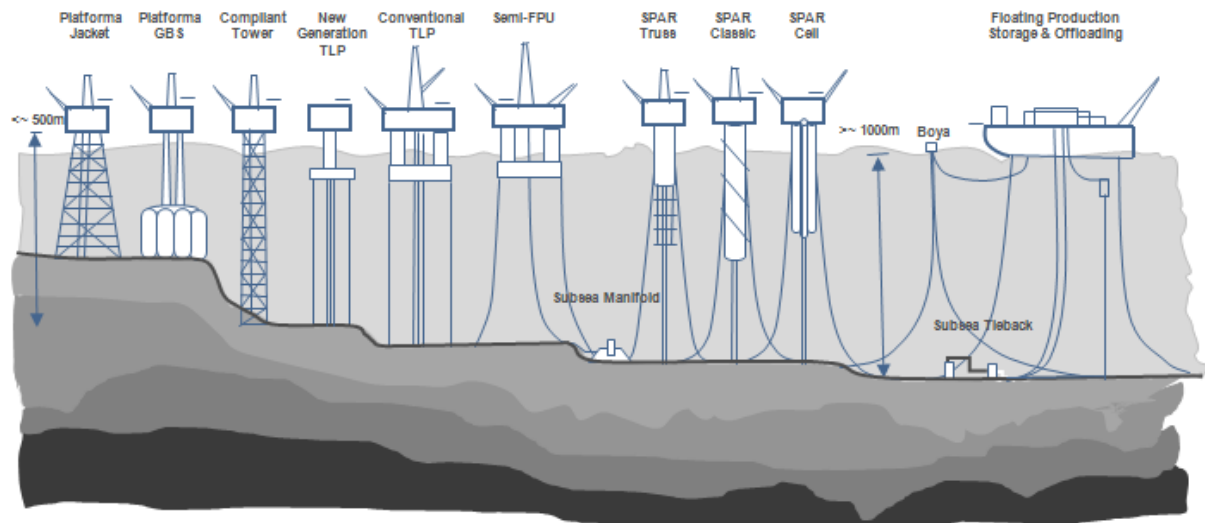


Figura 6: Diferentes tecnologías utilizadas en el mar.

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.

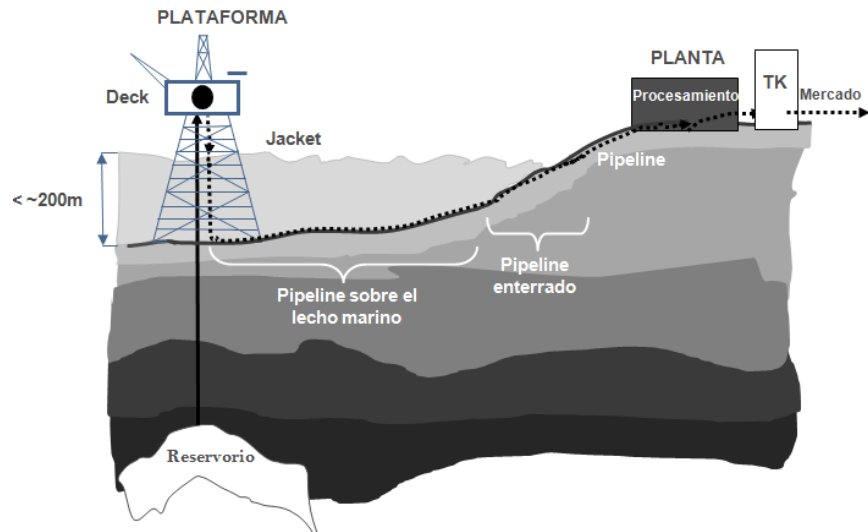


Figura 7: Esquema básico de plataforma apoyada

Plataforma Apoyada. GBS (Gravity 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.

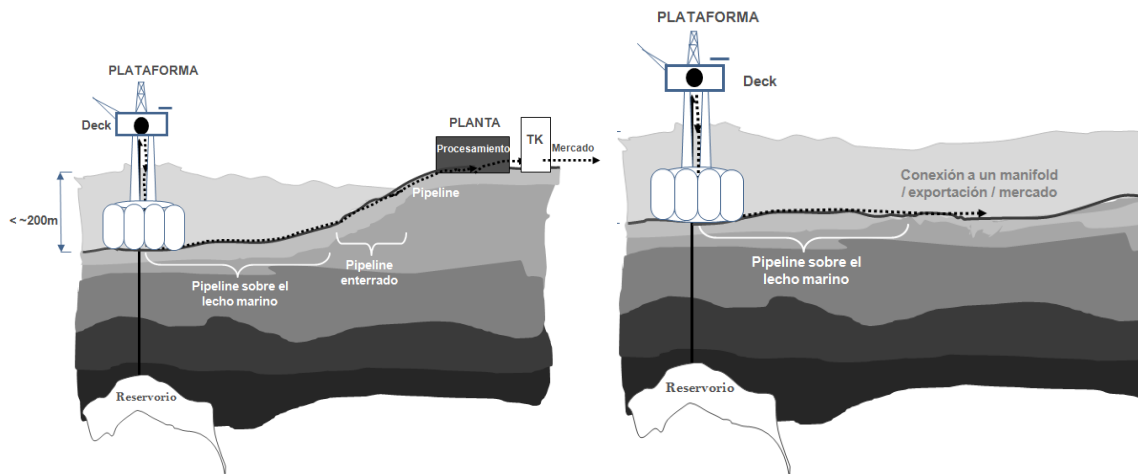


Figura 8: Esquema básico [12]

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]

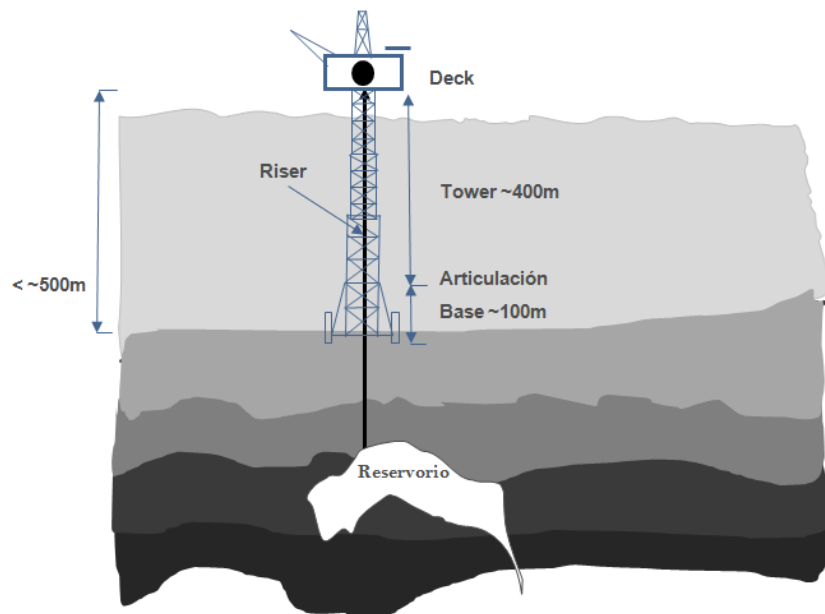


Figura 10: Tower Compliant partes que la componen

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)

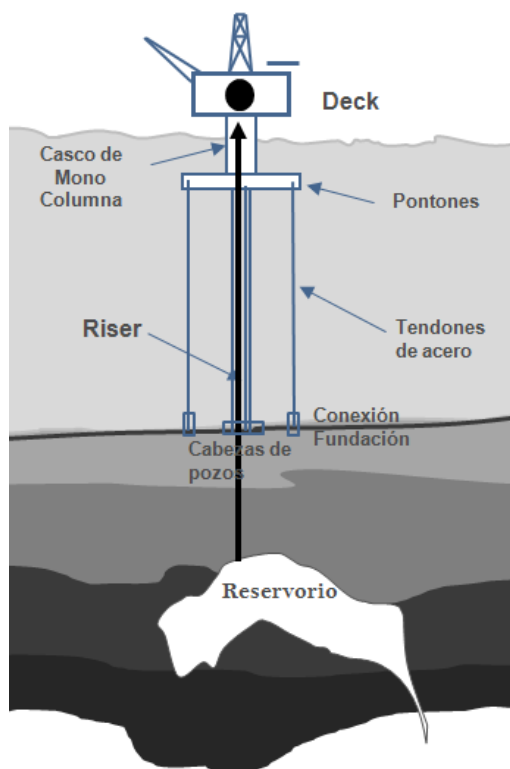


Figura 11: Nueva generación [15]

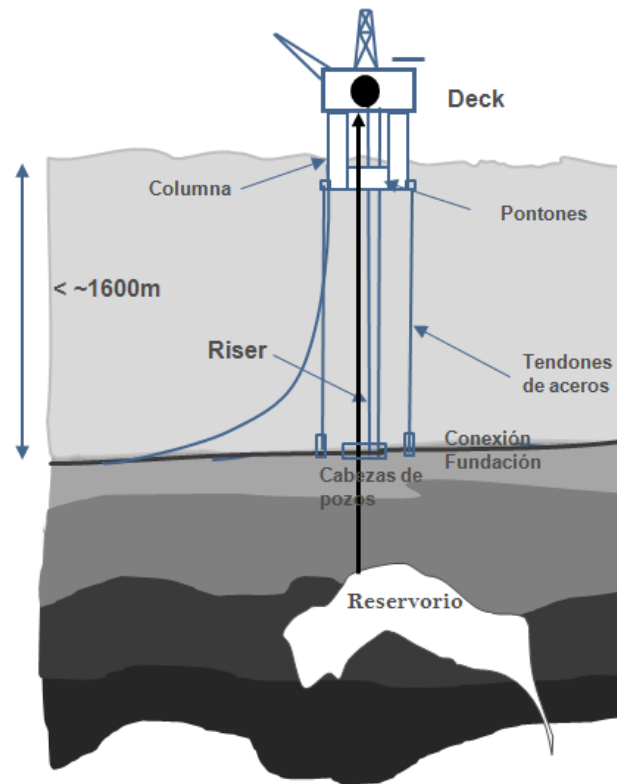


Figura 12: Convencionales [16]

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 cual 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)

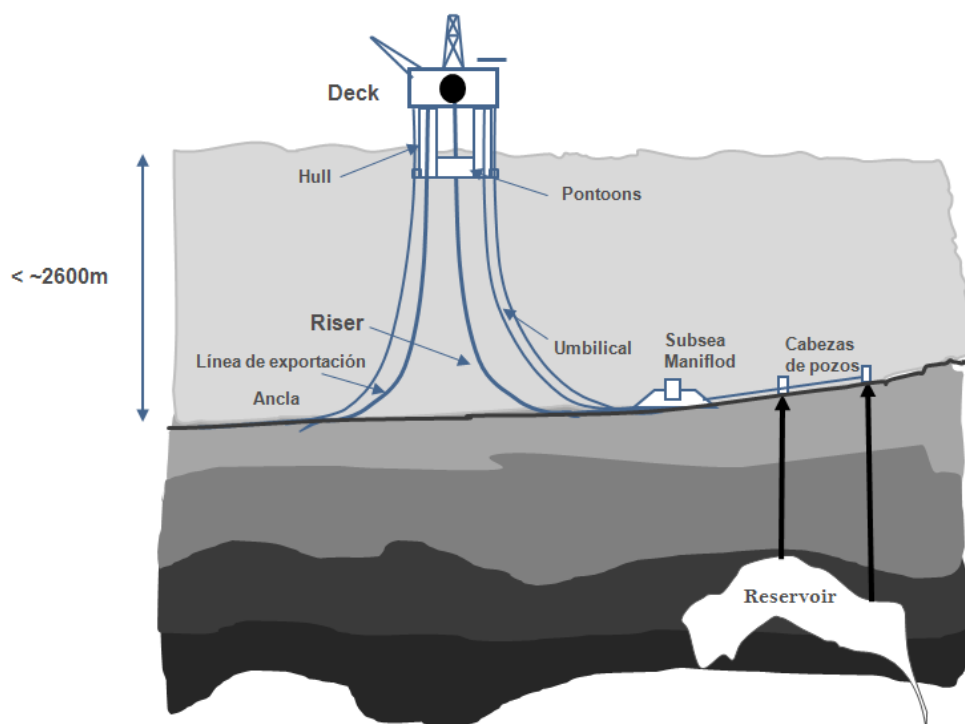


Figura 13: Sistema básico

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)

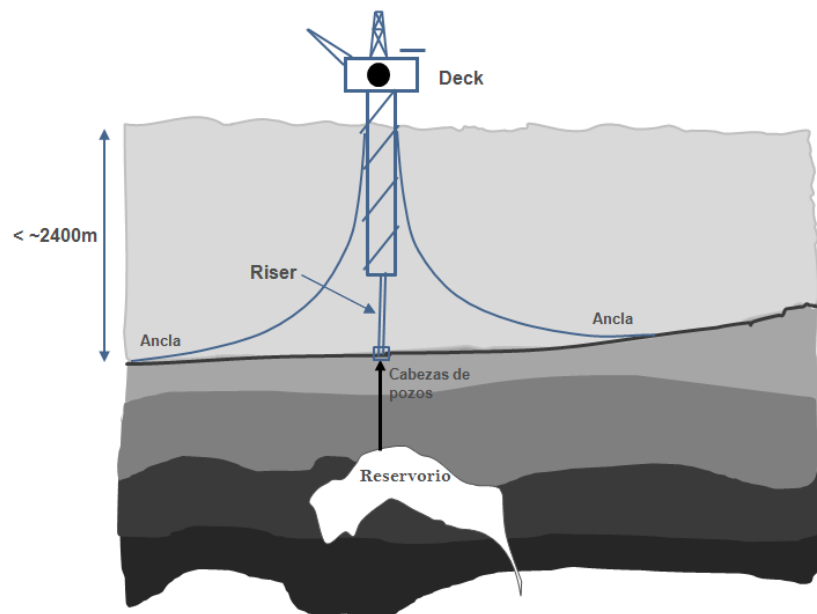


Figura 14: Síntesis del sistema

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)

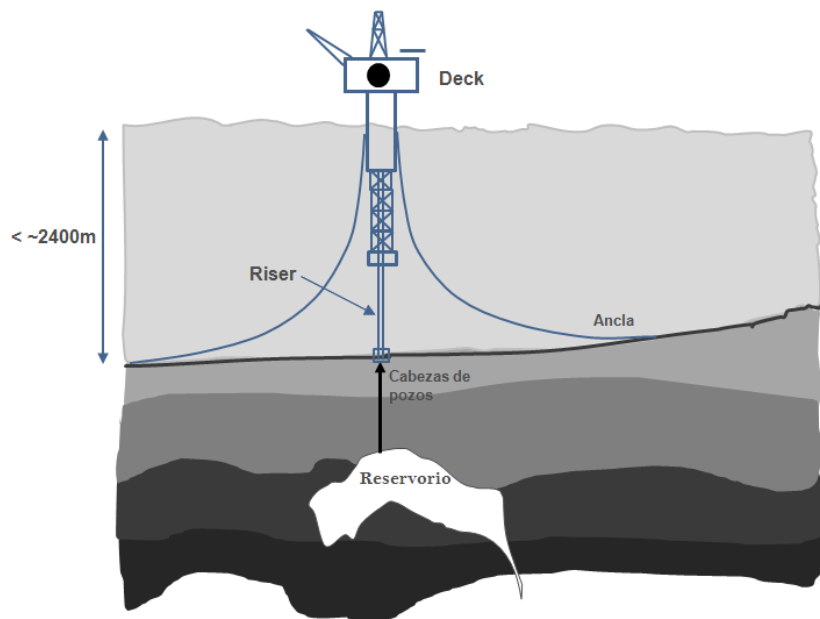


Figura 15: Esquema sintético de conformación

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)

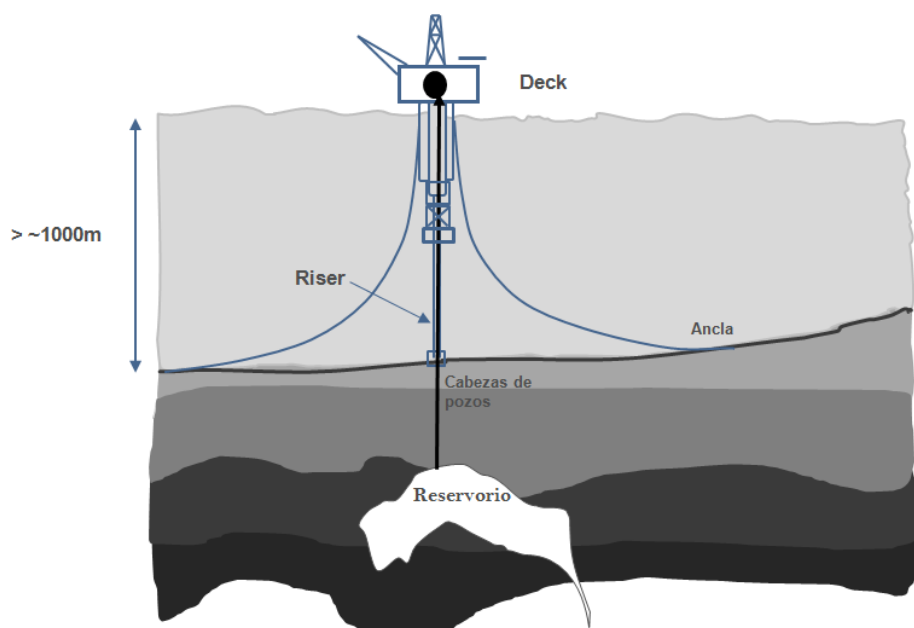


Figura 16: Esquema

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 licuefacción 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 Pioneer	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)

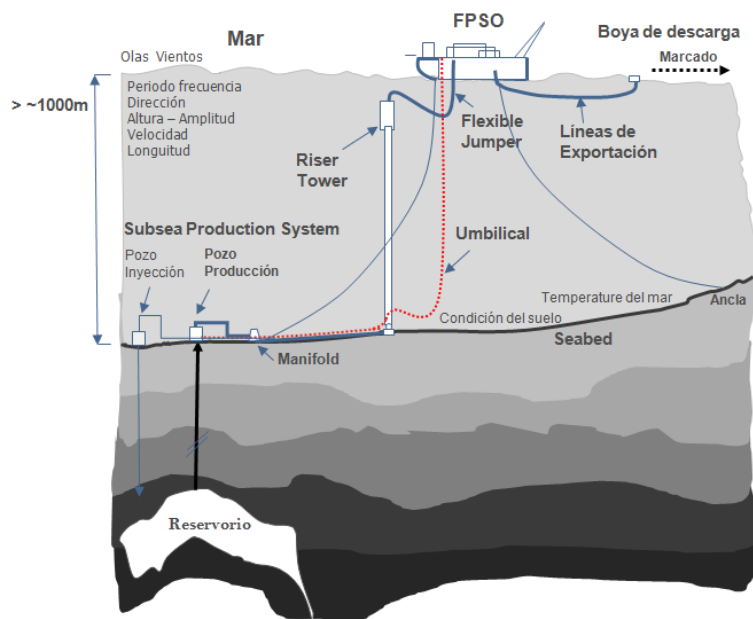
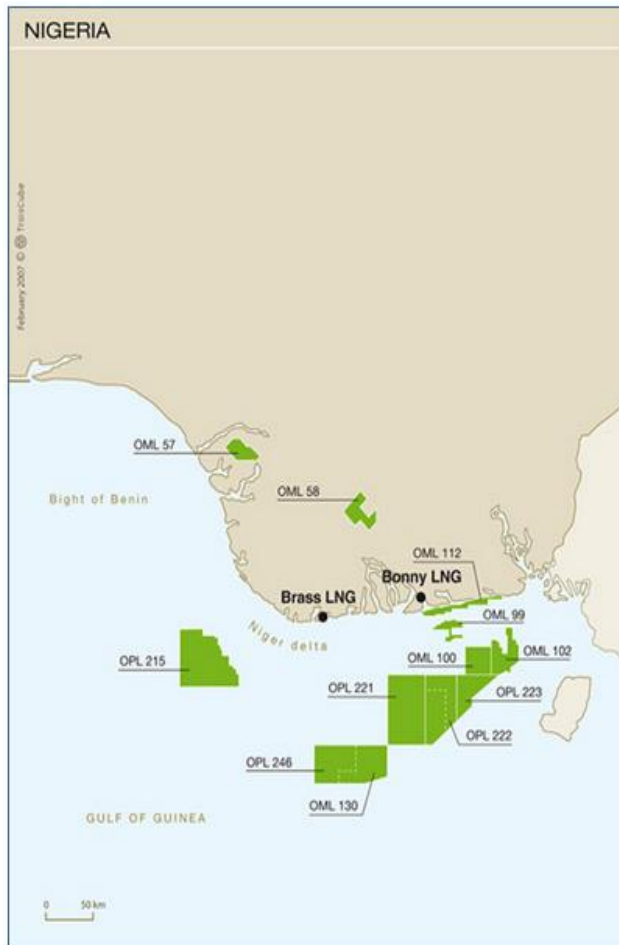


Figura 17: Síntesis de un sistema de FPSO lateral y algunas de las variables que se tiene en cuenta.

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 licuefacción 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 Turrutella. 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).

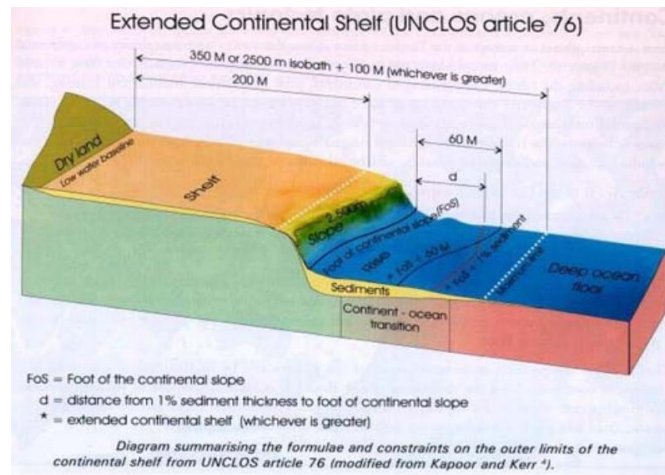


Figura 18: Detalle de lo presentado por Uruguay [11]

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.

Desafíos 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 downstream 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, llevarán 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 específica
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].

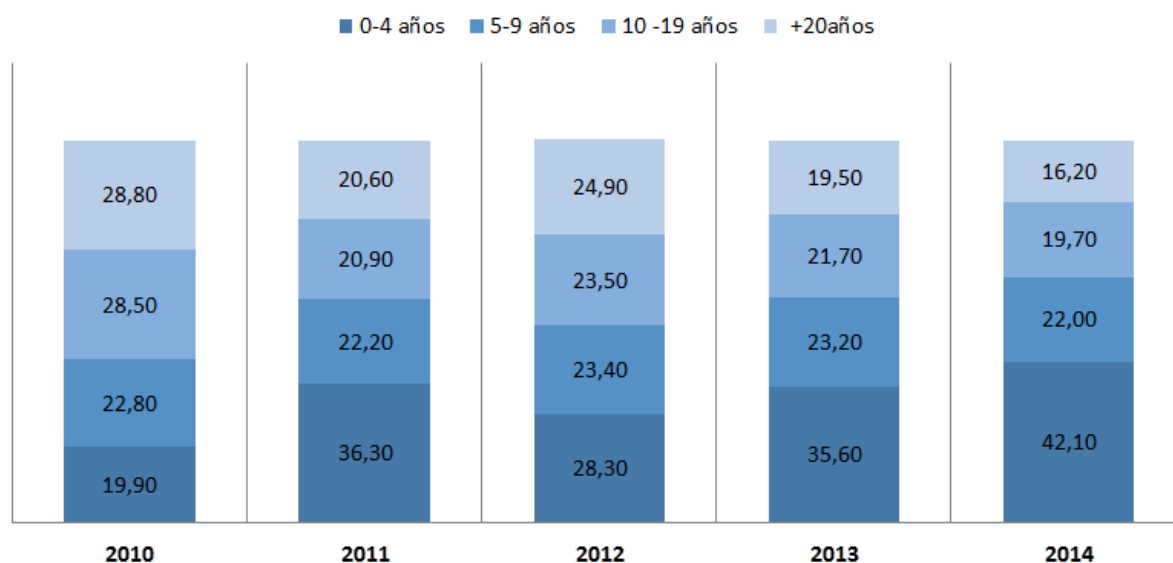


Gráfico 1: Tendencia de contratación

2. Porcentaje de años de experiencia en la profesión específica

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].

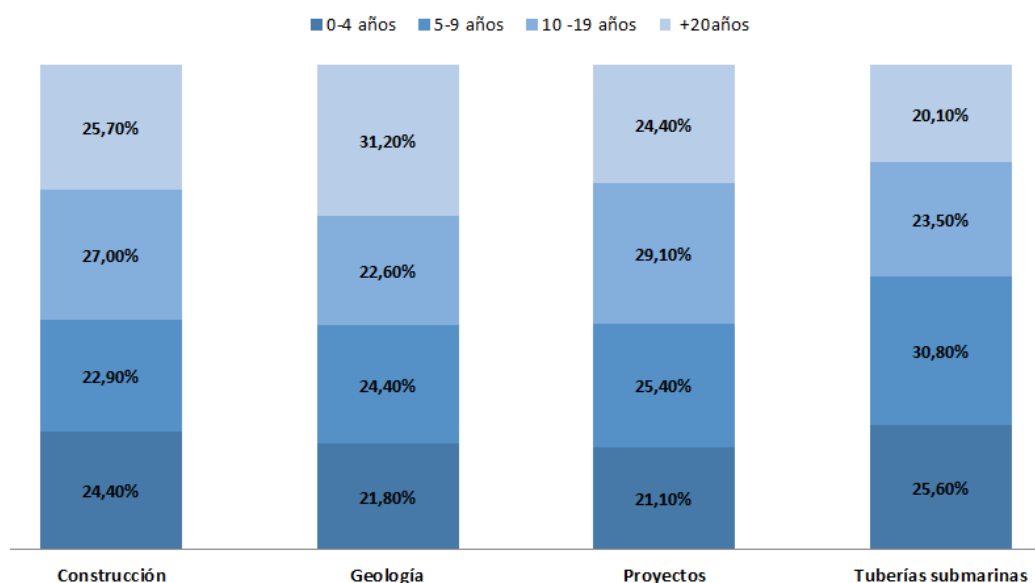


Gráfico 2: Tendencias por profesiones

3. Áreas de mayor contratación

En el (grafico 3) se puede observar como la ingeniería, 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].

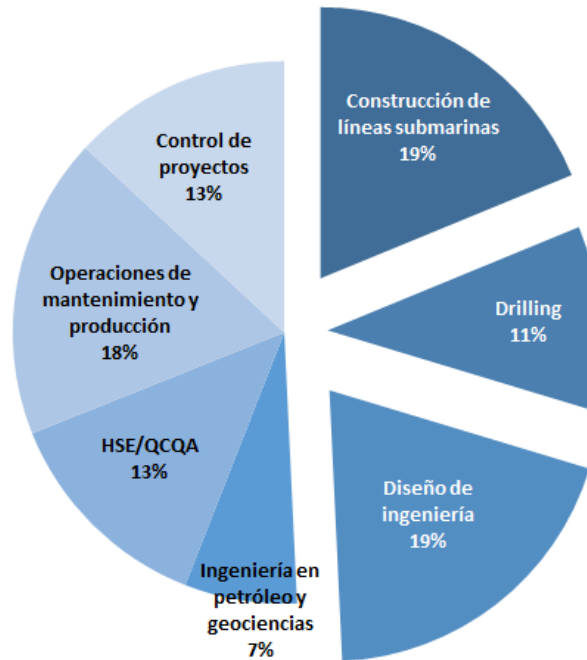


Grafico3: Tendencia de contrataciones en el 2014

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.

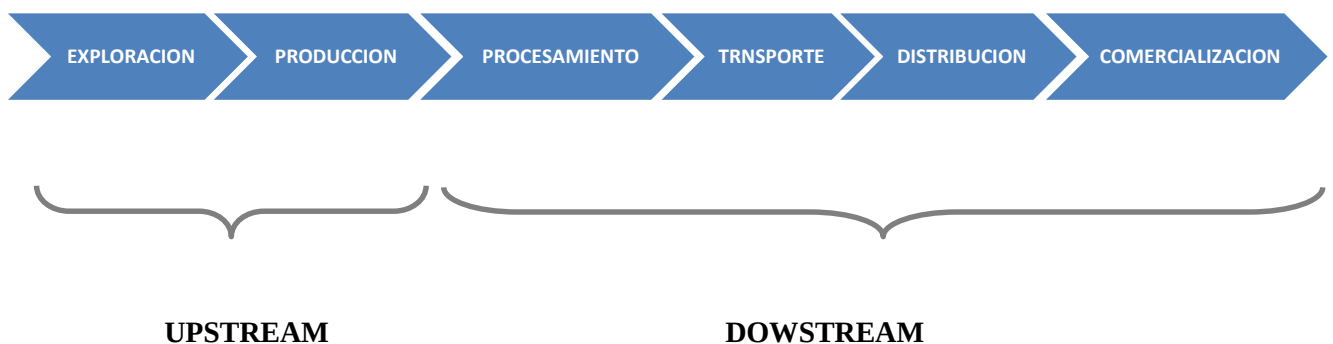


Figura 1: Cadena del valor

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.



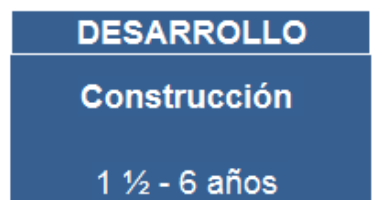
Figura3: Tiempos y etapas

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).



Comienzo de la producción

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
- Pipeline
- 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 dismantelar todo. Otros grupos de profesiones más afines a la etapa de construcción serán los encargados de actuar.

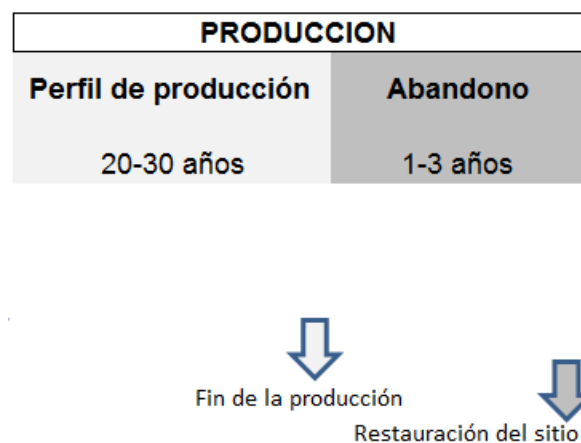


Figura 5: Tiempos de las etapas

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 para 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 en cuenta, 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 utilizan 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.

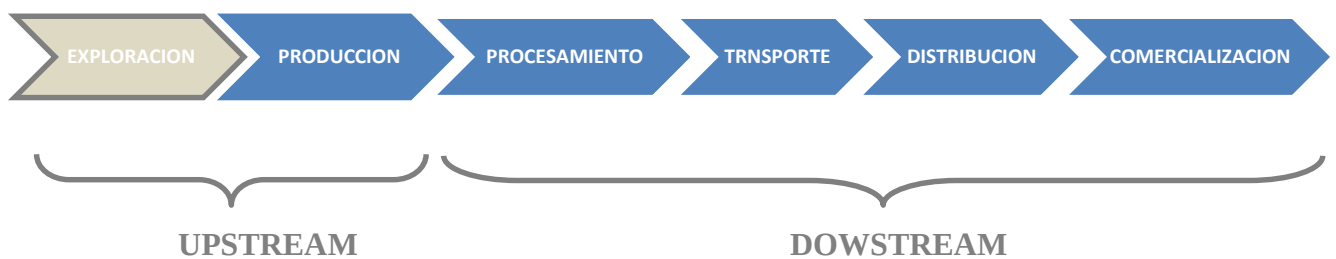


Figura 1: Cadena del valor

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].

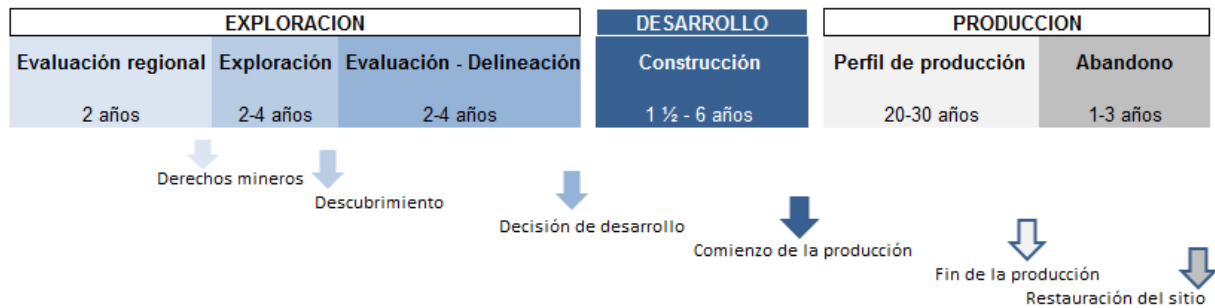


Figura 2: Estimación de tiempo de un desarrollo Offshore

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

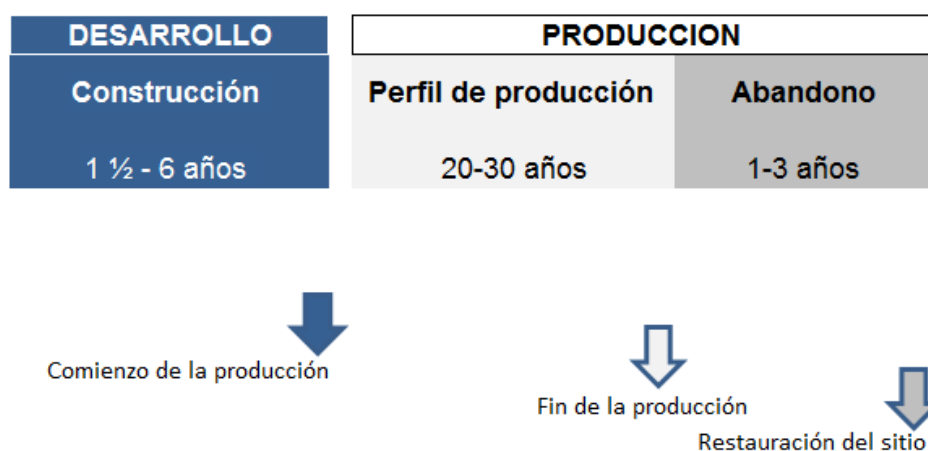


Figura 4: Detalle de estimación de la etapa de exploración

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.

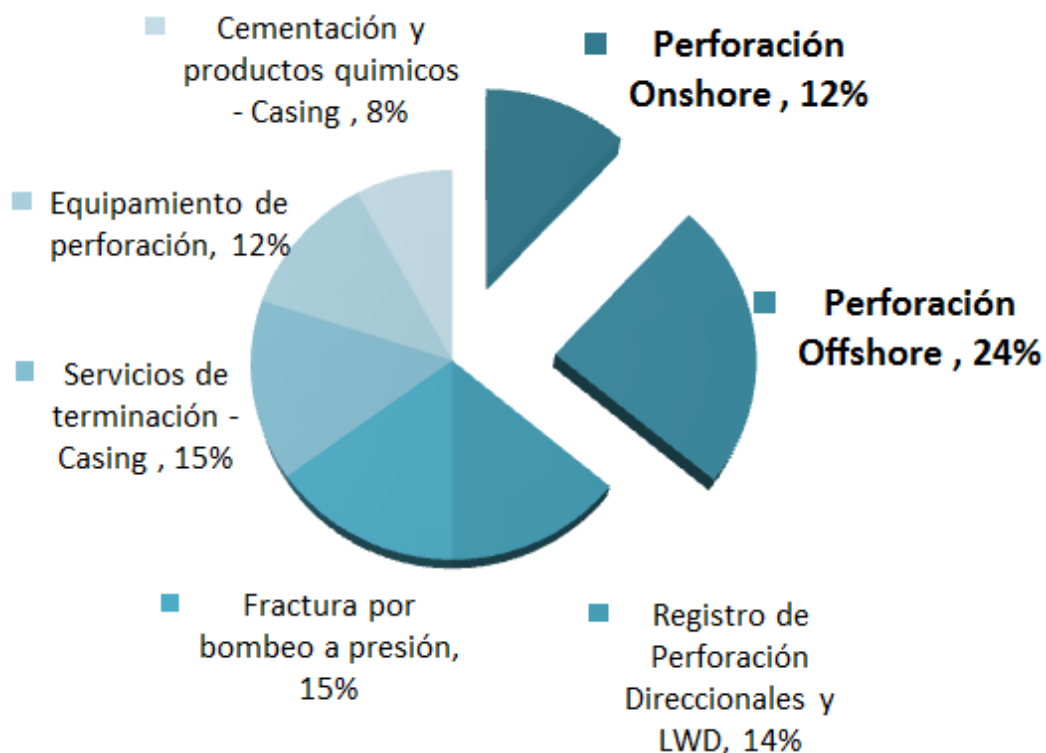


Grafico1: Distribución porcentual de varios segmentos en la perforación.

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% llegó 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 Pacífico 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].

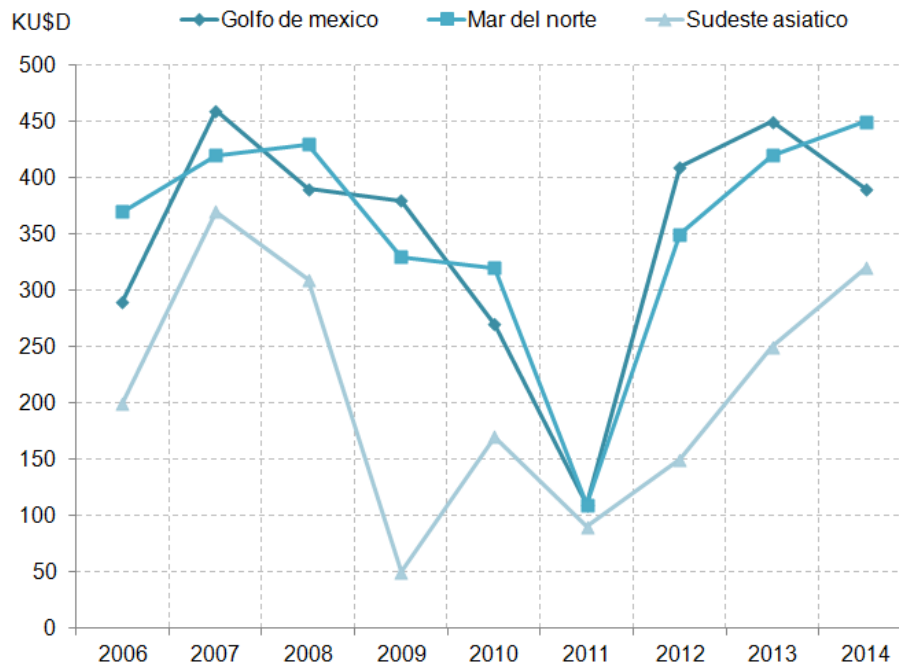


Grafico 2. Valores pagado por la contratación de Semi-Sub

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].

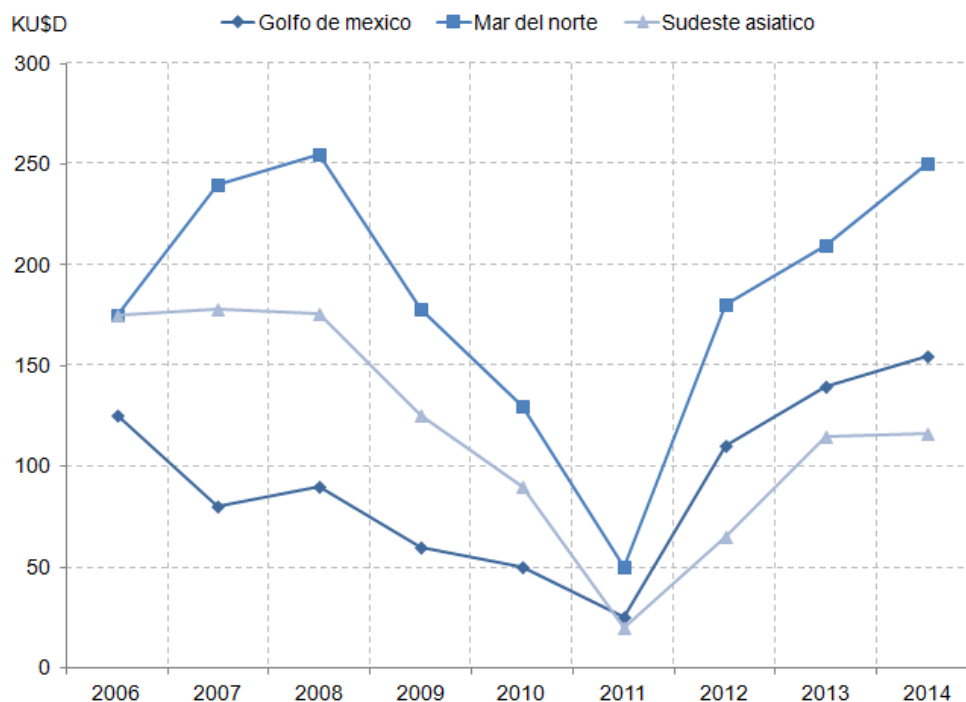


Grafico 3. Valores pagado por la contratación de Jackup.

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].

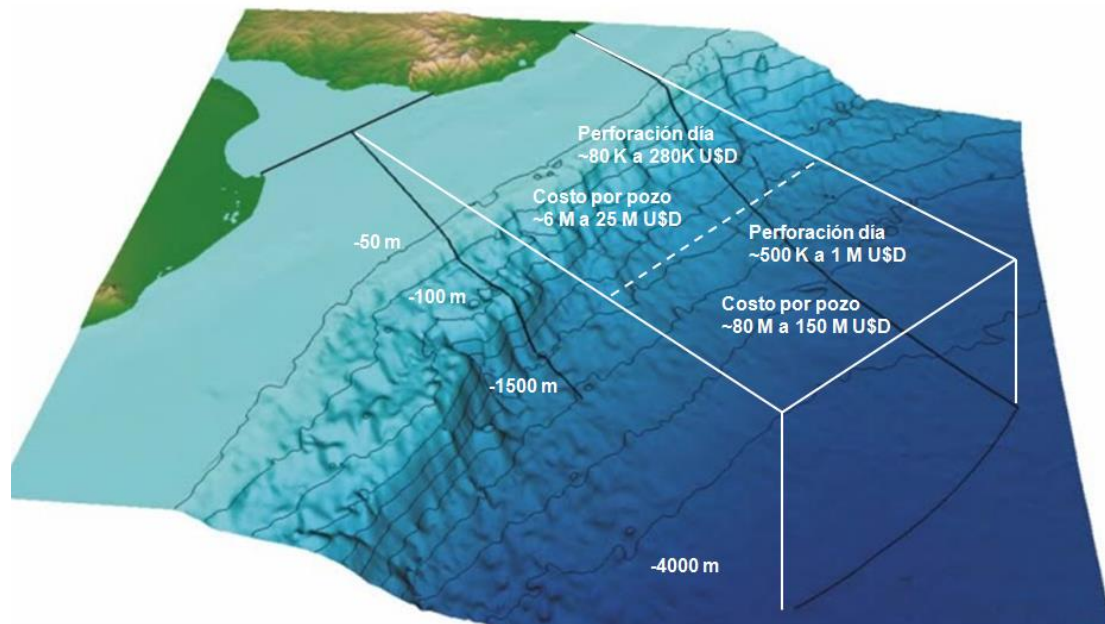


Figura 5: Batimetría con cotos de referencias

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 específica 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.

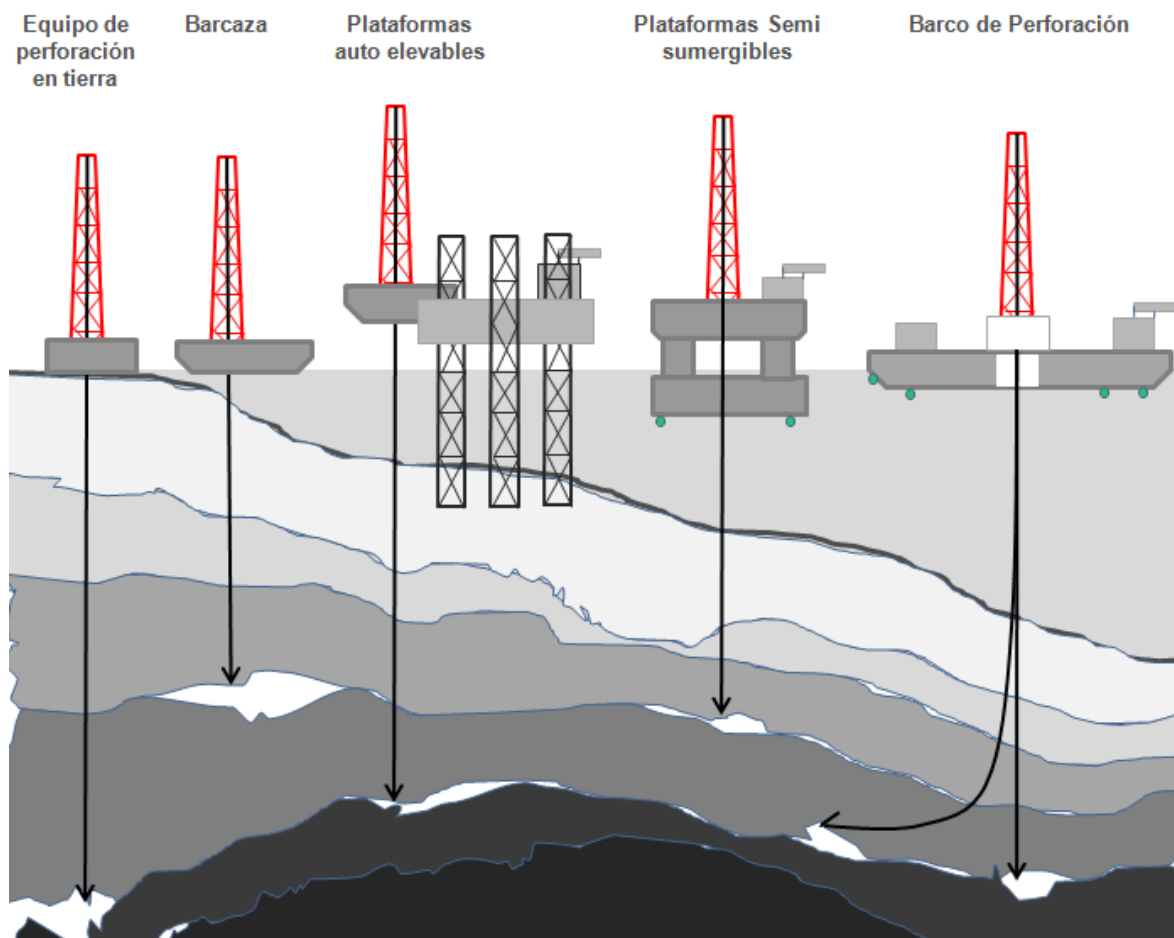


Figura 6: Diferentes equipos de perforaciones

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 específicas tipo ríos, bahías, pantanos, 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 el equipamiento necesarios para la actividad de perforación queda por encima del agua, esta son barcasas sumergibles para lugares de 6 m de profundidad.

- Profundidad utilizada hasta ~ 20m
- Perforación entre 7.000 a 9.000m

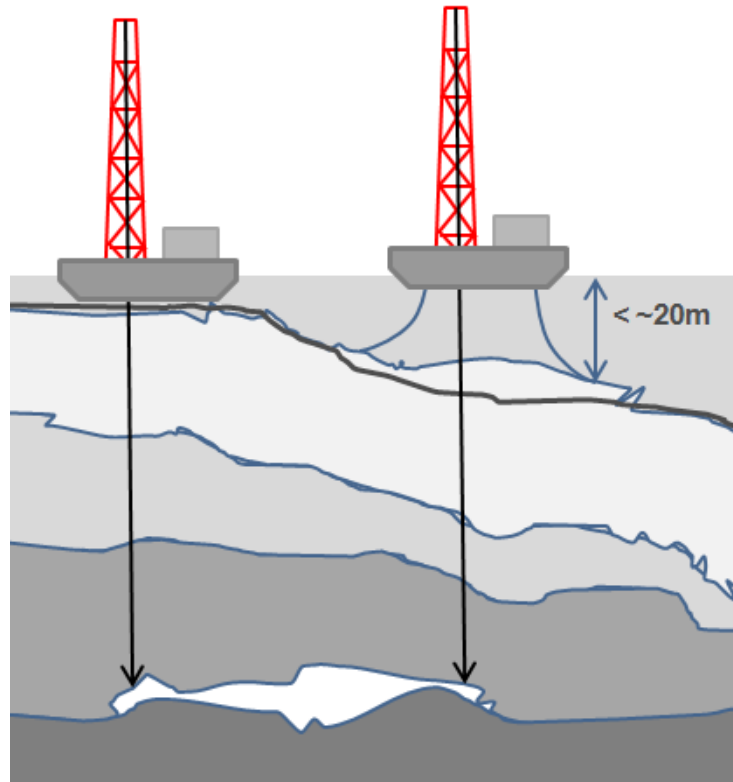


Figura 7: Esquema de fijación

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

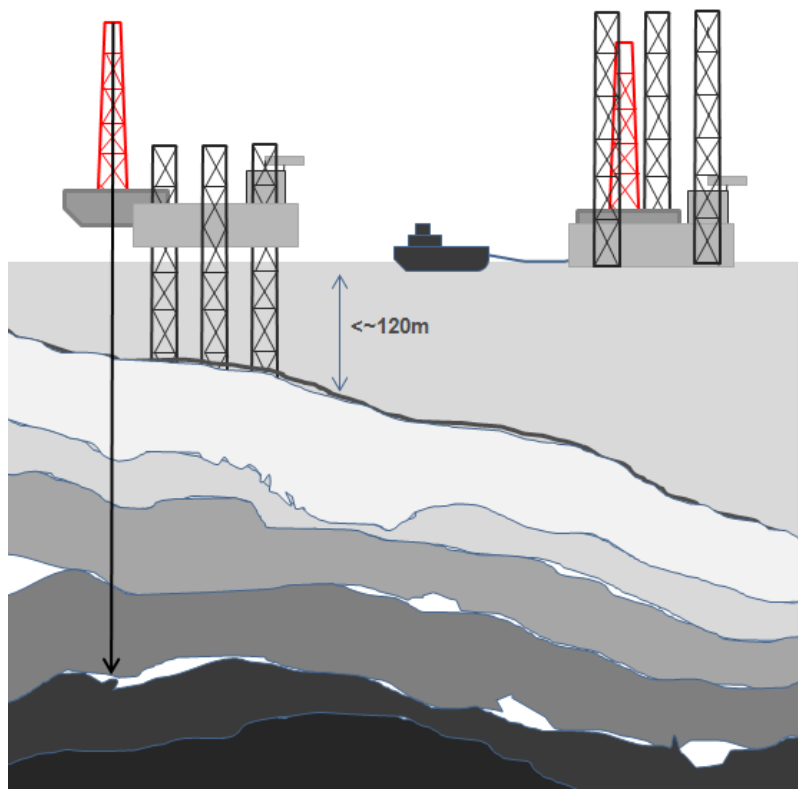


Figura 8: Posicionamiento de la plataforma y transporte con remolcador a cortas distancias.

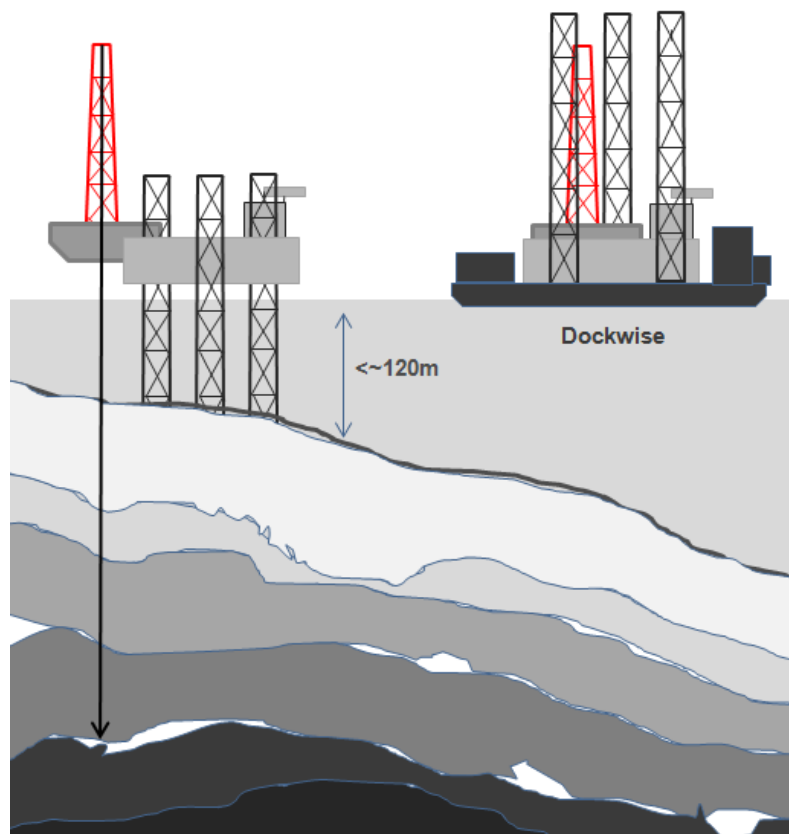


Figura 9: Posicionamiento de la plataforma y transporte pesado a largas distancias.

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

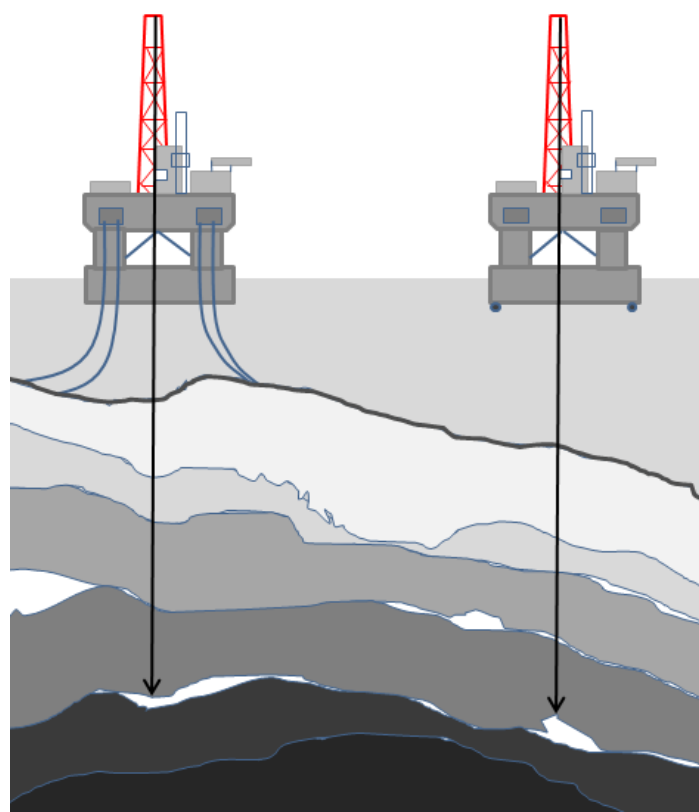


Figura 10: Formas de fijación

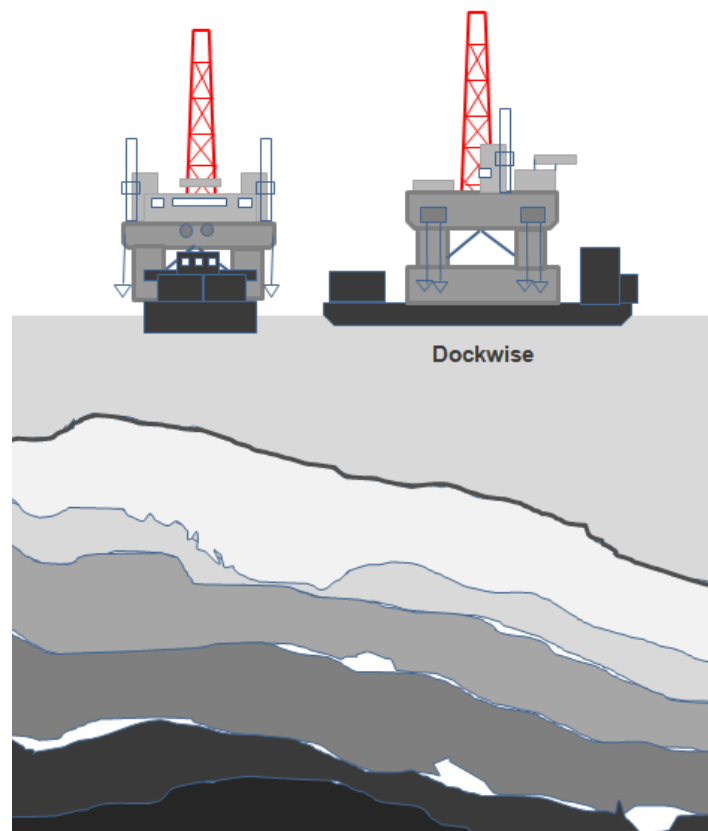


Figura 11: Transporte

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 BOP	Capacidad total superior a 12,800 bbls
Válvula de Desviación	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
Sistema de Control	Shaffer CSO 21,25 in 1000 psi WP
Manejo de Pipes:	NOV Shaffer MUX System
	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.

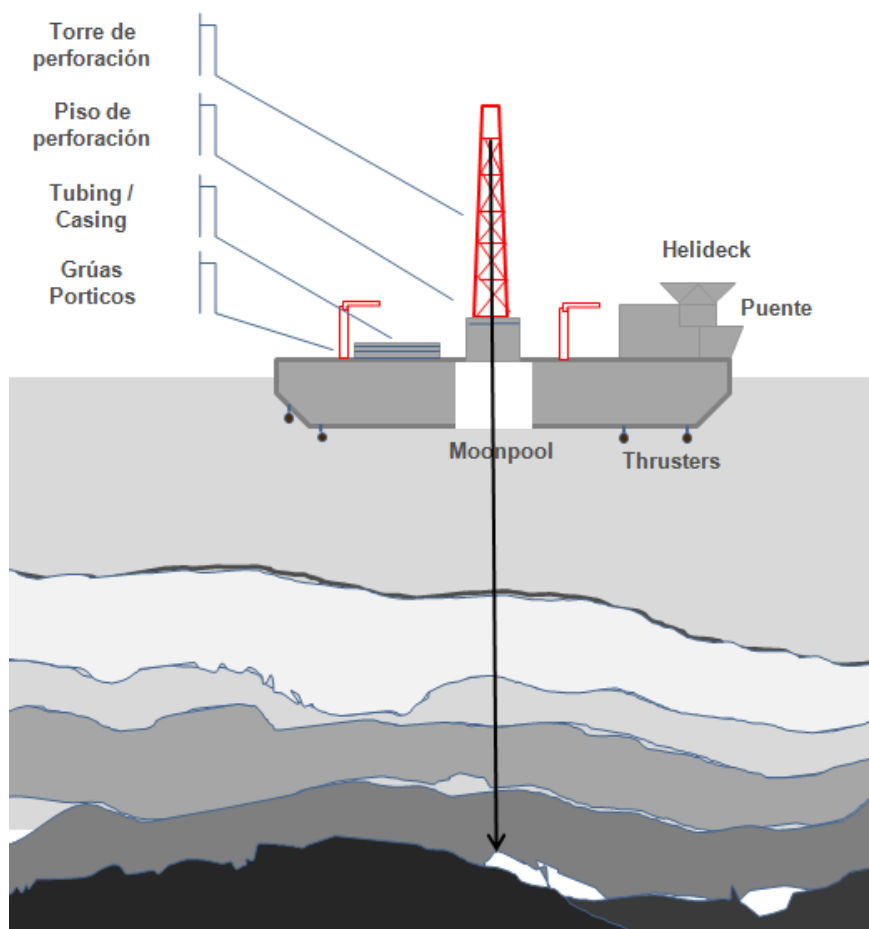


Figura 12: Partes que componen un barco de perforación

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, Floating 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 BOP	Capacidad total superior a 12,300 bbls
Válvula de Desviación (DIVERTER)	18.3/4" - 15,000 psi. Dos (2) frenos anulares.
Risers	Cinco (5) ram cavities Drill Pipe and Casing (up to 13.3/8") capacidad de corte.
Grúas	20" - 500 psi
Instalaciones para Tripulación	21" OD, 90 ft length
Helipuerto	Cuatro (4) Hydralift knuckle boom cranes, capacidad nominal de 85 st
	Alojamientos con aire acondicionado para 172 personas
	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 específica, en todos los órdenes, desde la limpieza hasta el capitán del barco, pasando por todos las áreas técnicas, 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 conocimientos necesarios 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 tienen 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 especialistas dicen que el 2016 se recuperará y el mercado aprovechará 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).

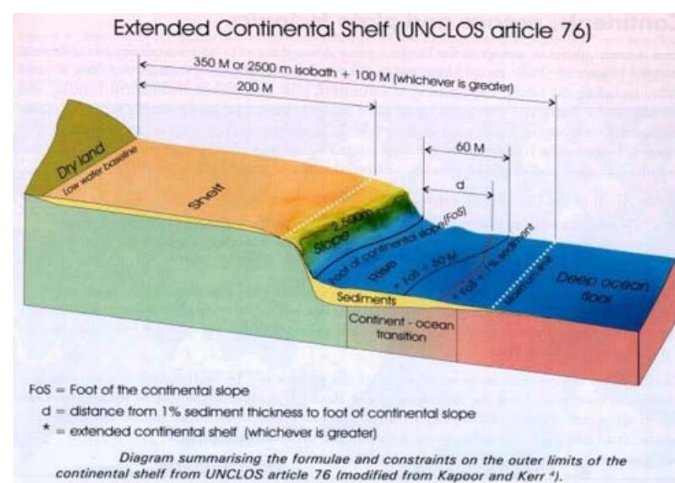


Figura 13: Detalle de lo presentado por Uruguay [8]

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]

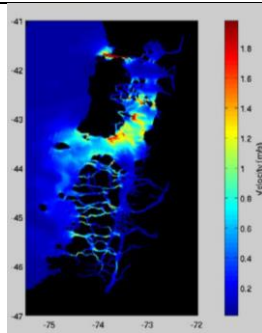


Fig. 1: Velocidades de corriente de marea en el mar interior de Chiloé y Archipiélago Los Chonos. Fuente: [1]



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 HIDROKINETICO

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 Committee 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 límite a bajos números de Reynolds ($Re < 5 \times 10^5$) 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 en 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

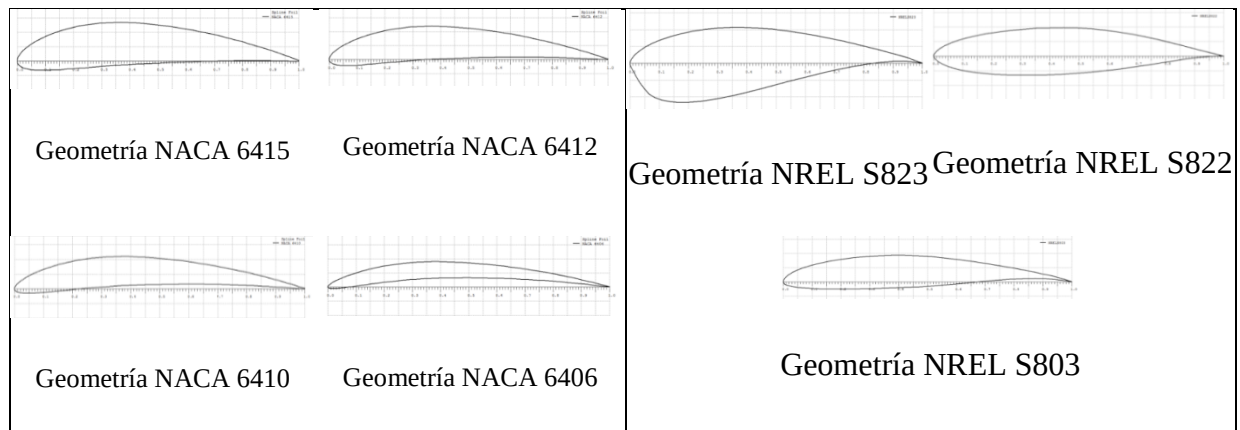


Fig. 3: Perfiles NACA y NREL seleccionados

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 (α_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 la 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).

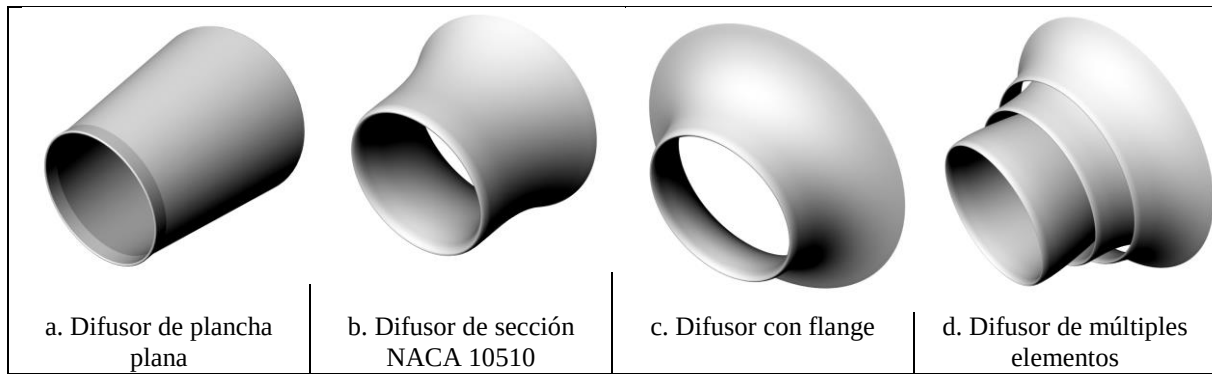


Fig. 4.- Diseños de difusor analizados

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.

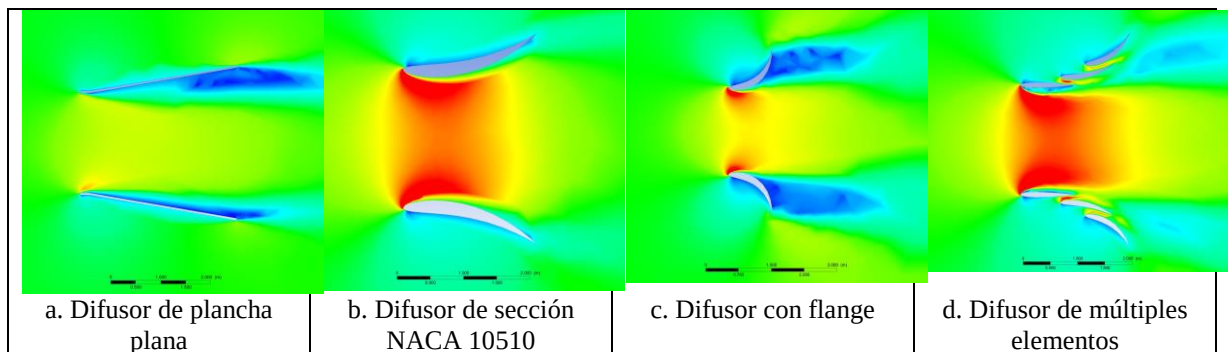


Fig. 5.- Simulaciones 2D preliminares de comportamiento de difusores (magnitud de velocidad)

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 (CP_{min}) 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).

$\sigma_c + CP_{min} \geq 0$	[8]
------------------------------	-----

$\sigma_c = \frac{P_{atm} + \rho gh - P_v}{\frac{1}{2} \rho V_{loc}^2}$	[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 utilizó 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. Las figuras **Fig. 6** y **Fig. 7** 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 Níquel – Aluminio – Bronce, con las propiedades indicadas en la **Tabla 2**.

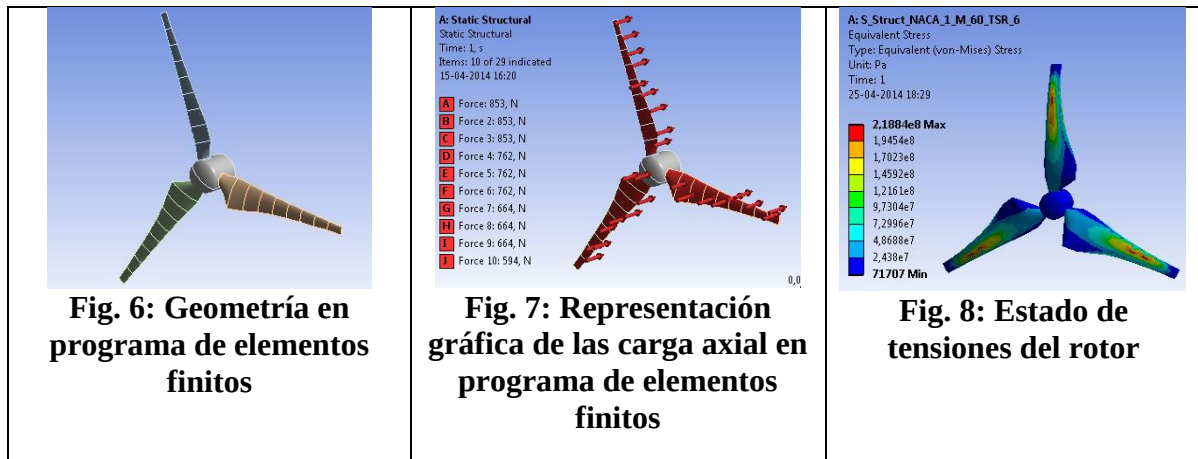


Tabla 2: Propiedades del material del rotor.

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 hidrocínético de eje horizontal.
- Función Objetivo: la función objetivo busca maximizar el coeficiente de potencia (C_p) del rotor hidrocínético de eje horizontal.
- Variables de control: las variables consideradas son la distribución de la cuerda y perfiles a lo largo de las palas del rotor hidrocínético 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.

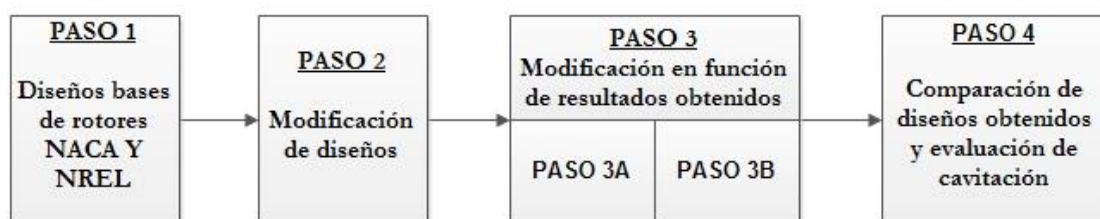
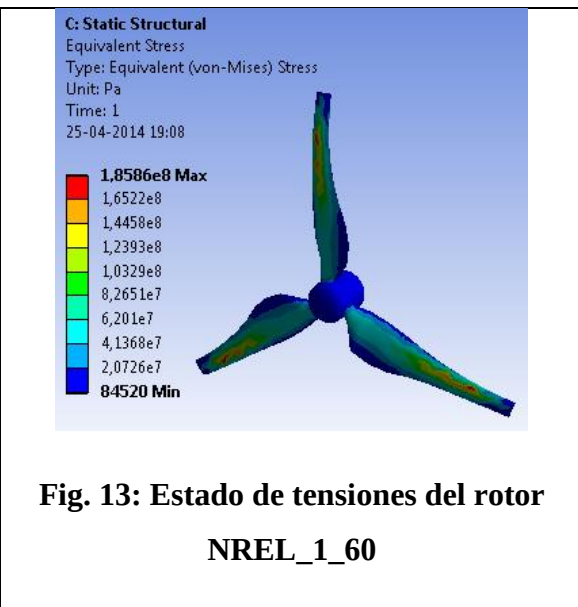
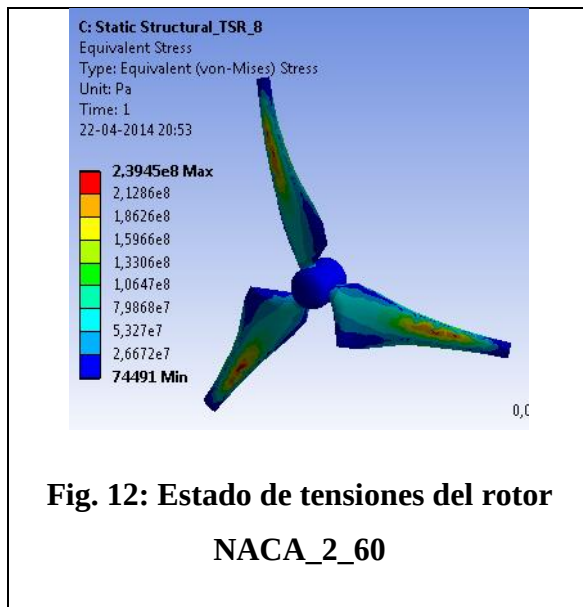
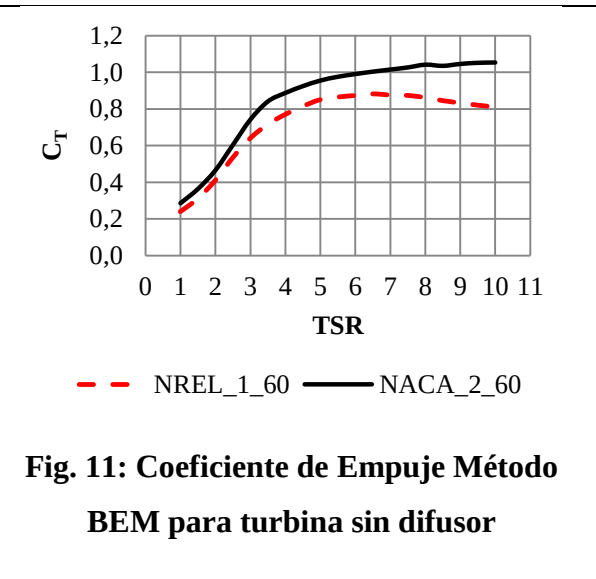
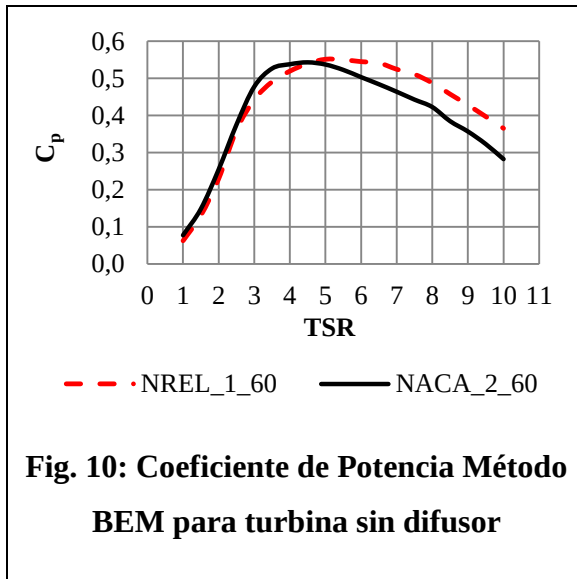


Fig. 9: Diagrama de flujo pasos estrategia de optimización.

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).



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 hidrocínético 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).

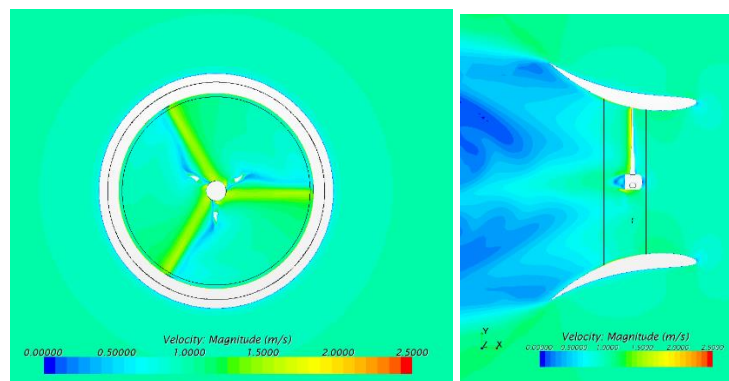


Fig. 14. Vista de corte transversal (izq.) y longitudinal (der.) del conjunto turbina-difusor y magnitudes de velocidad del flujo

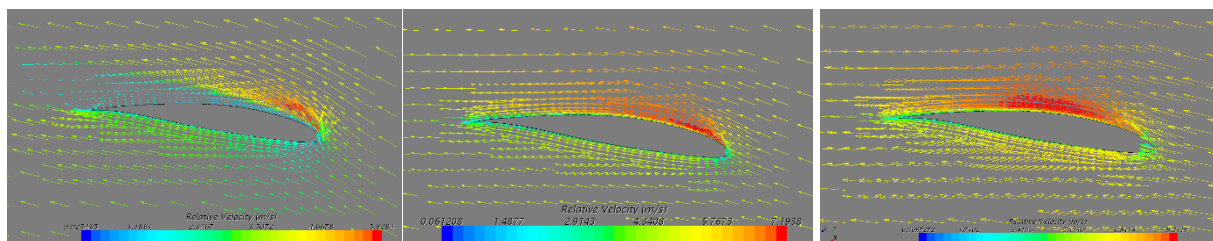


Fig. 15. Vista de corte de vectores de velocidad en $r/R=0,8$ para TSR=4 (izq.) TSR=6 (mitad) y TSR=8 (der.)

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.

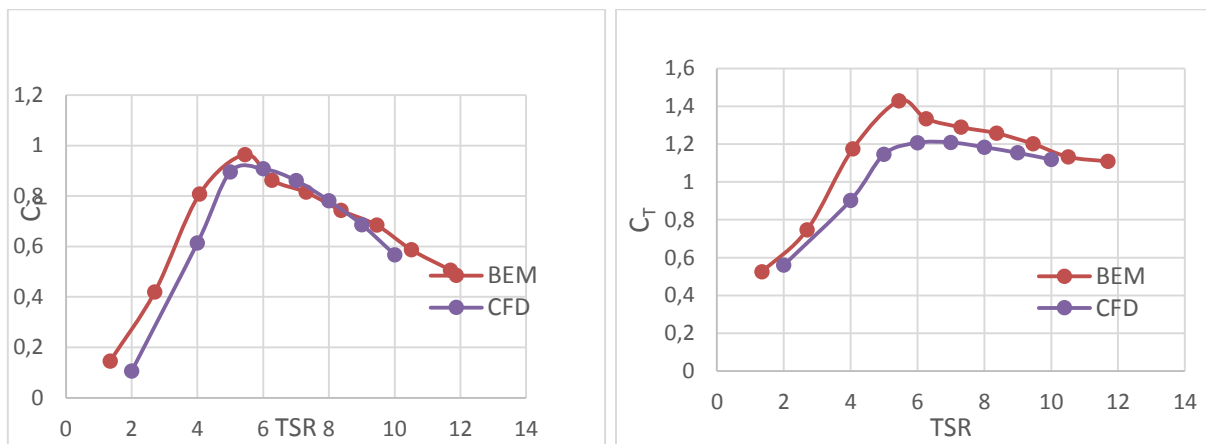


Fig. 16. Comparación de resultados de coeficiente de potencia y empuje para turbina con difusor según método de elemento de pala (BEM) y RANSE-CFD.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo demuestra la aplicabilidad de distintos métodos para el diseño de una turbina hidrocínética 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 hidrocínético 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 selection - 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 Acuicola. 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, n° 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*, n° 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, n° 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, n° 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, n° 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, «Strategies 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 río 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 río 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, Corredora 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 procesamiento 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 paralelo 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 bordo 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 | Circuito CA1 |
| Averías | Circuito CA2 |

• Circuito de navegación y maniobra	Circuito de navegación. NAV Circuito de maniobra. MAN
--	--

La red de intercomunicadores comprende dos circuitos independientes a saber:

- 173

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- Schneider 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

Descripción 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 esta 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 m³, 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.

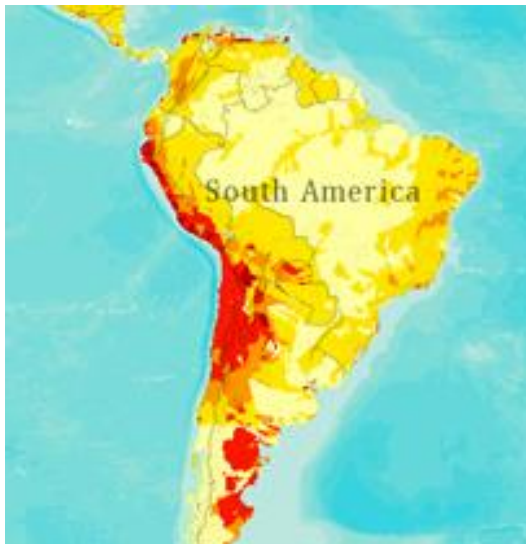


Fig. 1: Zonas de escasez hídrica en Sudamérica [15]



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 m³ [5] aunque hay autores que sugieren que es posible usar contenedores con volumen superior al millón de m³ [14], en este trabajo se usaron, como propuesta inicial 4 volúmenes de contenedores de 1.000 a 20.000 m³, 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].

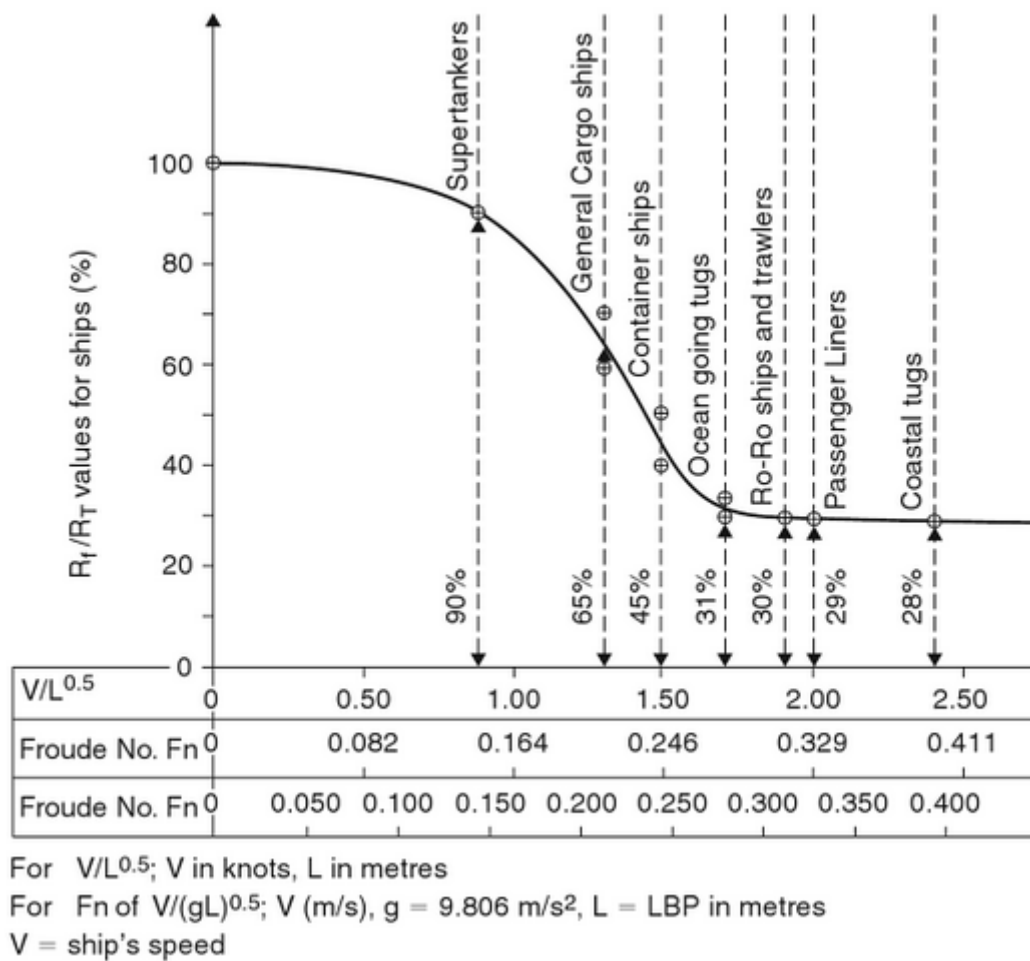


Figura 3: Relación entre resistencia total y resistencia por fricción. Fuente [2]

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 $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$ 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.

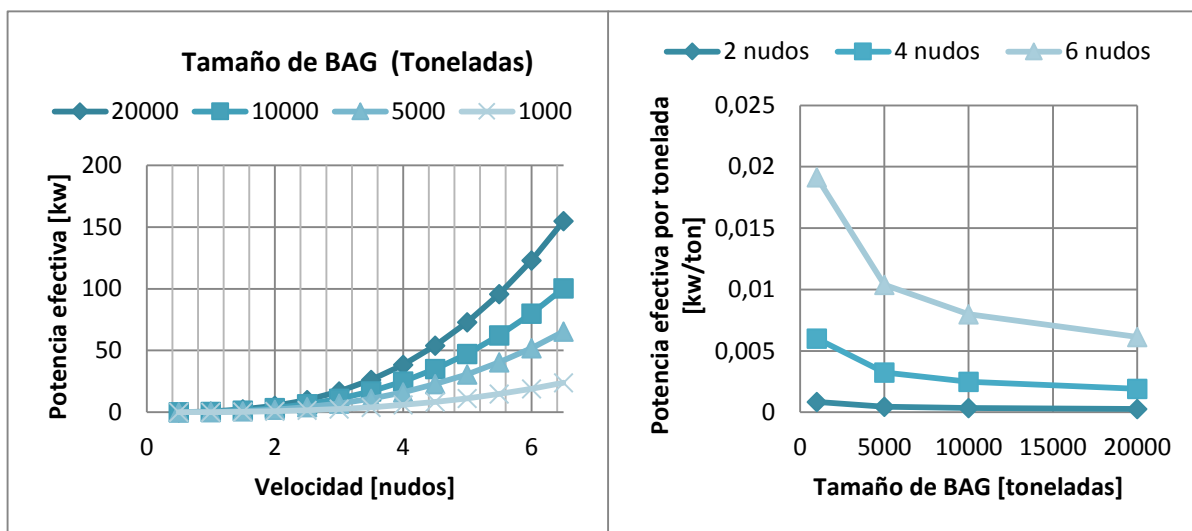


Fig. 4: Potencia efectiva según tamaño de BAG

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 $\eta_P = 0,5$.

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.

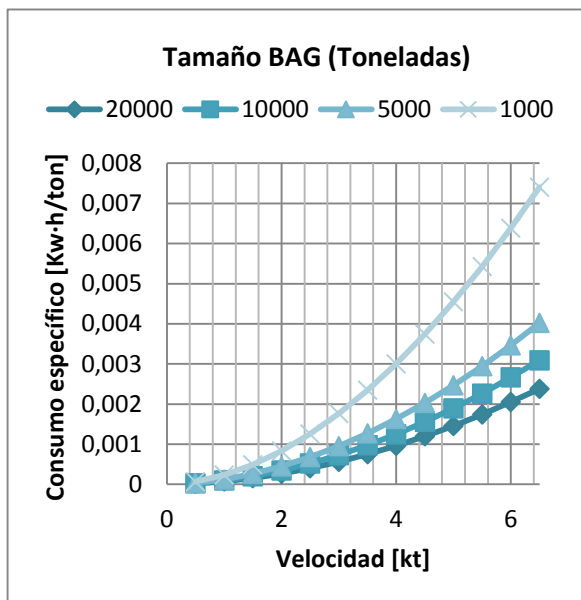


Fig. 6: Consumo específico por tamaño

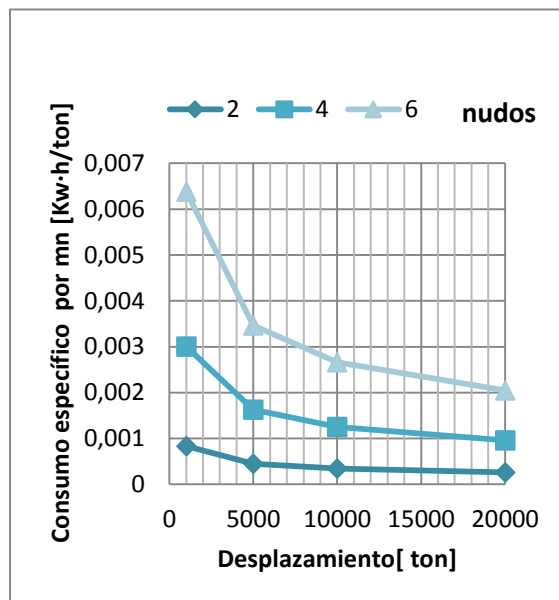


Fig. 7: Consumo específico por velocidad

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.

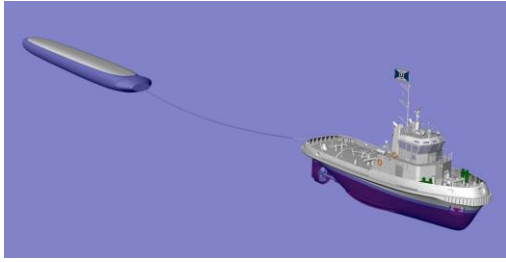


Figura 8: Remolque tradicional.



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 Humboldt, 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. Esta 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. Northern 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:

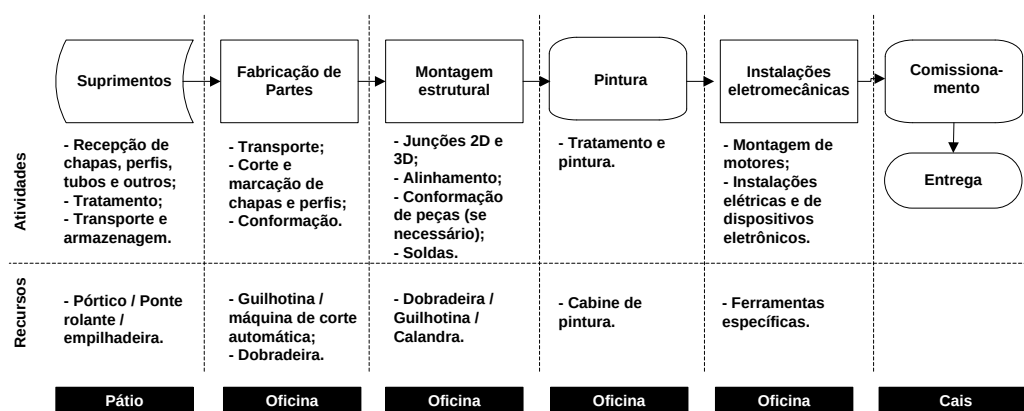


Figura 1: Processos de construção naval de pequeno porte. Fonte: Sales (2012).

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: Department 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: Department 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: Department 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.

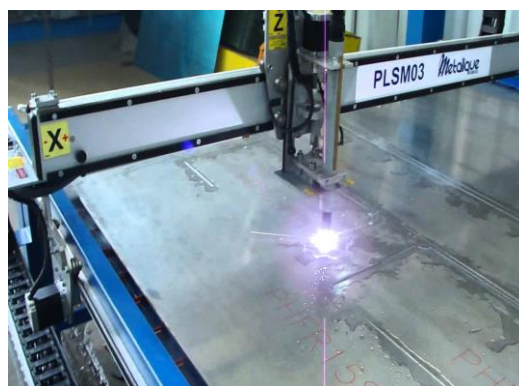


Foto 3: Corte automatizado. Fonte: O autor.

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, conseqüentemente, 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 grãos 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 série 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.

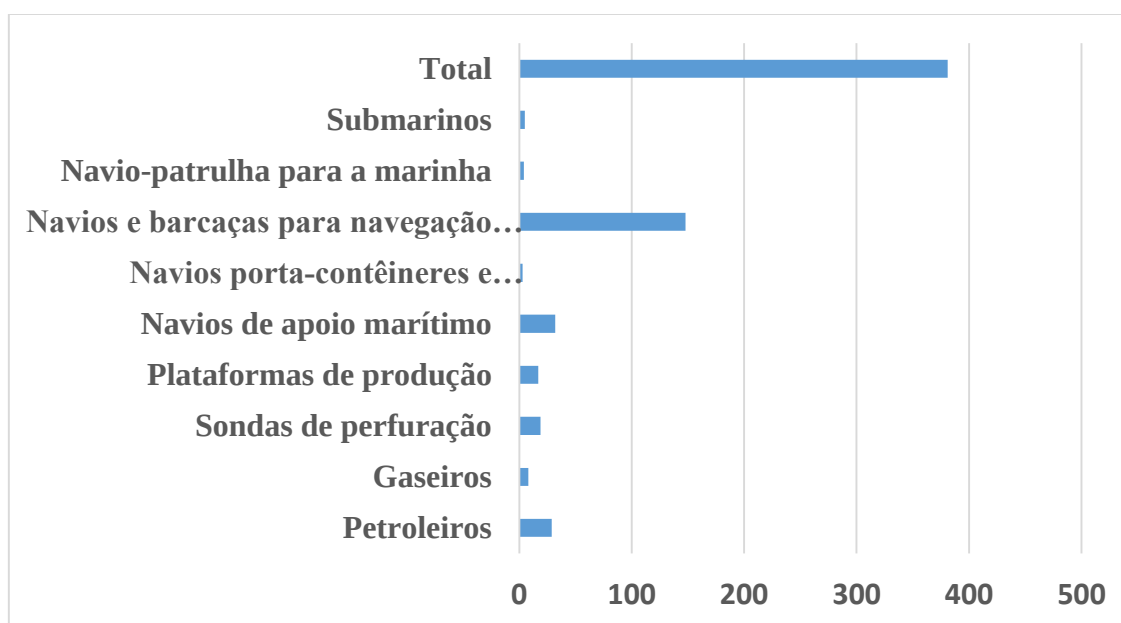


Figura 1 - Resumo da carteira de encomenda dos estaleiros.

Fonte: SINAVAL (2015)

Podemos notar que a quantidade de navios e barcas 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 barcas capazes de alocar vários tipos de cargas. Essas barcas 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 barcas; Proa especial, para a fixação as barcas; 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 inserida) 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 análise 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 ideias 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; análise 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:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon_i \quad (1)$$

Onde:

Y_i = variável dependente;

X_k = variável independente;

β_k = parâmetros da população;

ε_i = erros aleatórios do modelo.

Nesse modelo, X_k é o valor fixo da viável regressora X . Os parâmetros $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ 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 barcas 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 independentes 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:

$$Preço = 172189181 + 20995 \times BHP - 11832583 \times L + 7124589 \times B \quad (2)$$

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.

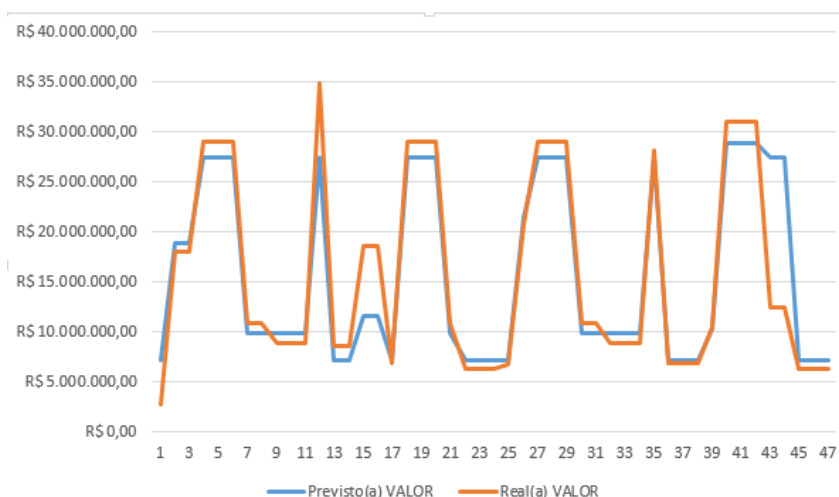


Figura 3: Linhas comparando os valores reais e previstos

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 presente 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, análise 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”- Coritiba: 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 adaptadas à via aplicado à 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 maritime 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 transmisión 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 $\leq 95\%$ dependiendo la configuración específica de cada buque.

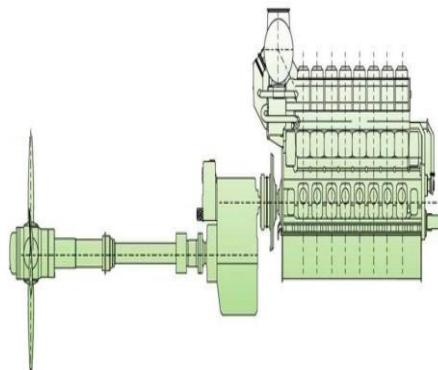


Figura 1 Sistema diésel

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.

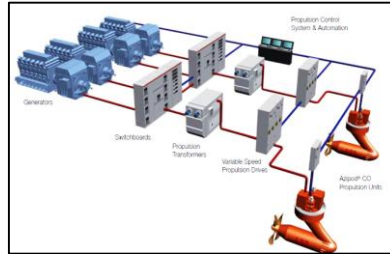


Figura 2 Sistema de Propulsión Eléctrico con Propulsor tipo POD.

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:

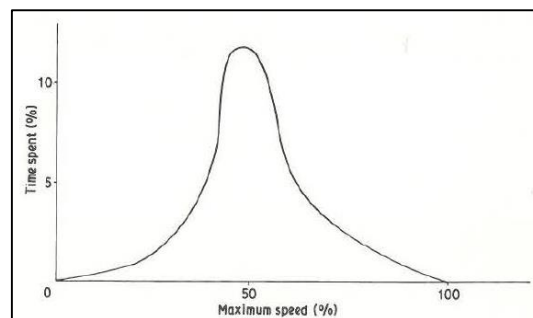


Figura 3 Perfil operacional estándar

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 tensión²⁴.
- Soler & Miranda en 1997 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 mecánicos²⁵.
- Reducción del coste del ciclo de vida mediante la mejora de la economía de funcionamiento con un menor consumo de combustible y costes de mantenimiento²⁶.

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 tecnologías²⁷.
- 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 of 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): Síntese 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 desastrosas²⁸.

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 CO₂ 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 Dólar³⁰. 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

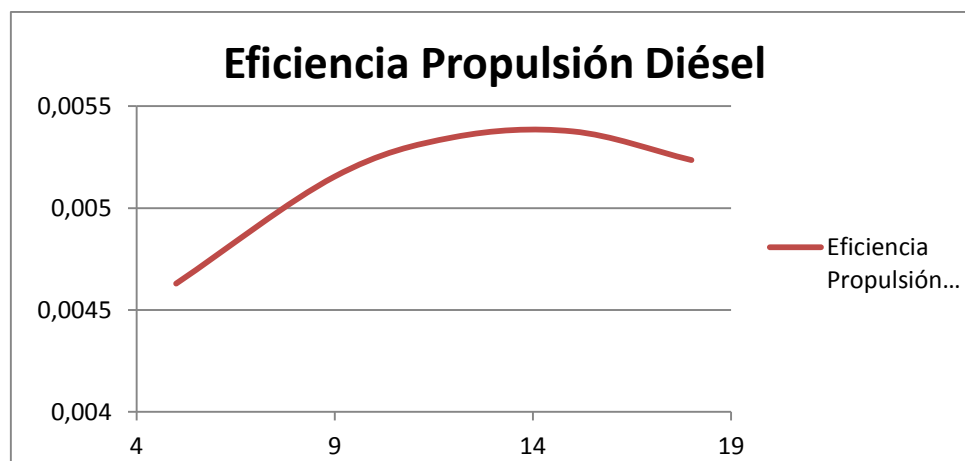


Figura 4. Eficiencia Sistema Diésel

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.

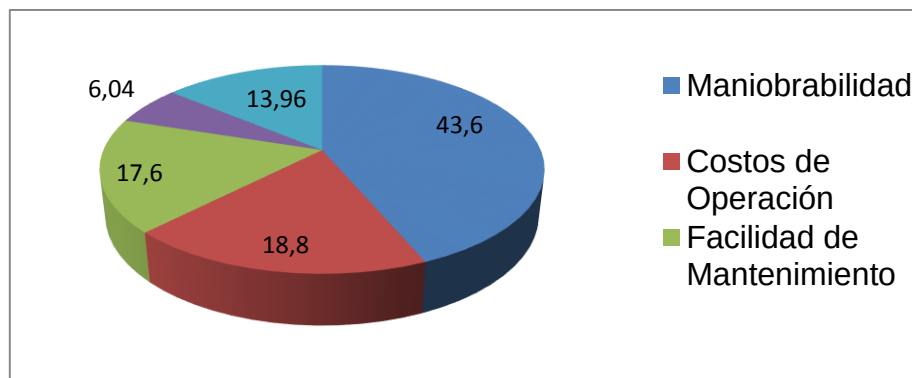


Figura 5 Resultados de Encuesta

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 propulsora 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:. Oslo: 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 spray (fog) apparatus. ASTM B117 - 03. West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos: ASTM.
- American Society For Testing And Materials. (2006). Standard Specification For Reafent Water. ASTM D1193 - 06. West Conshohocken, Pensilvania, 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, Pensilvania, 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,

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 Ingeniería 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%20electronica%20con%20PODS\(1\).pdf](http://www.axomaga.com/uploads/08%20-%20Propulsion%20electronica%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., & Ortiz, 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 Metalurgia, 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 & Maintenance 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., & Borrás, 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_EI%20Prop%20for%20LNG%20Carriers_10_04.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/c1256cc400313660c125721a002947b8/$file/Article_EI%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/inbship/home.htm>.

Internacional Energy Agency. (2008). Combined 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 Platform. Washington: Department of Transportation.

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 Tecnología 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). Velocidad 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 índice de eficiência para apoiar a tomada de decisão sobre aspectos gerenciais envolvendo a frota atual. O transporte misto está intrinsecamente ligado às 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 às 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 exhibe 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 há 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).

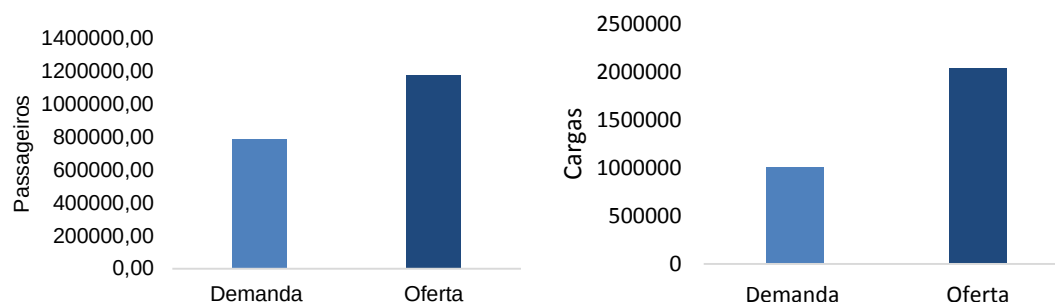


Figura 1 e 2: Relação entre oferta x demanda de Passageiros e Cargas

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 pretende 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 existe que variáveis como *trabalho, investimento e energia* são insumos comuns usados no modelo. *Km rodados pelo veículo, 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 outras despesas operacionais, muitas pesquisas têm utilizado diferentes conjuntos de variáveis de entrada para representar 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 resposta 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 método 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_{js} , $j=1 \dots, s$.

Assim temos

$$Max H_o = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jo}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{io}} \quad (1)$$

Sujeito à

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} \geq 1, k = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall u, v \quad (3)$$

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_o é a eficiência; x_{io} e y_{jo} 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 $n, n=1, \dots, n$, uma unidade de decisão (DMU);

Seja r , a quantidade de insumos $x_{in}, i=1, \dots, r$;

Seja s , quantidade de produtos $y_{is}, j=1, \dots, s$;

$$\text{Max } H_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \quad (4)$$

Sujeito à

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^s u_j y_{jn} - \sum_{i=1}^r v_i x_{in} \leq 0, k = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall u, v \quad (7)$$

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	Quilômetros 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.

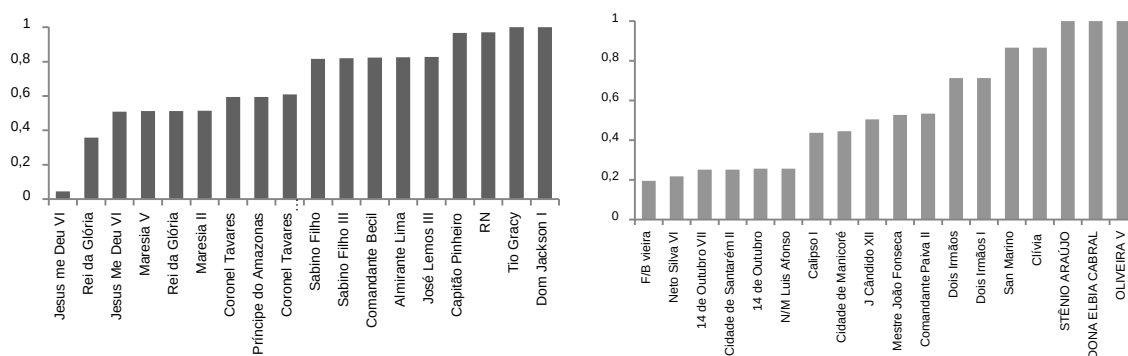


Gráfico 1 e 2: Scores da Classe A e B

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 significativa 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.

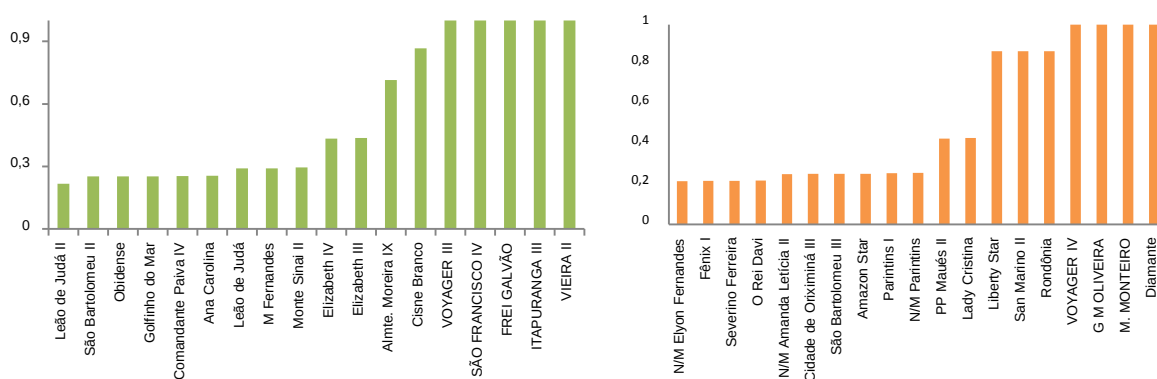


Gráfico 3 e 4: Scores da Classe C e D

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, Lúdia Ângulo (org.). Análise Envolvente 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 Envolvimento 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 trocadores de calor é de fundamental importância para os processos industriais de resfriamento 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 potenciais gerados em todas elas. Essa série de elementos é soldada entre duas placas de cerâmicas em paralelo, o que ajuda a minimizar as perdas de calor para o ambiente e, assim, aumenta o efeito produzido.

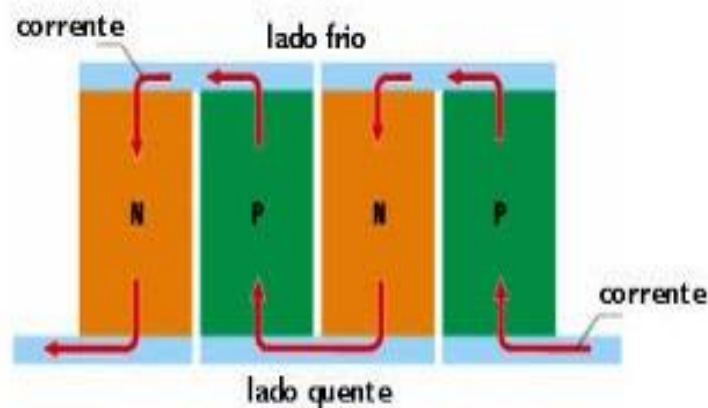


Figura 1: Esquema de uma Célula Peltier em série

Fonte: <http://www.peltier.com.br/>

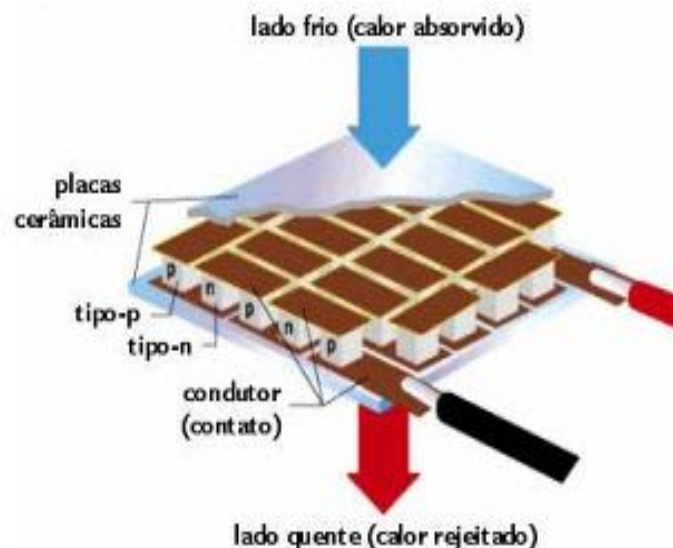


Figura 2: A produção do gradiente de temperatura quando se aplica uma ddp na célula.

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:

$$J = \sigma(-\nabla V + E_{emf}) \quad (V = \text{tensão e } \sigma = \text{condutividade elétrica})$$

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 $\mu\text{V/K}$ a +1000 $\mu\text{V/K}$.”

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 80°C;
- Temperatura de entrada da água salgada de 25°C;
- Célula peltier construída com cobre e Bi_2Te_3 ,(material semiconductor), 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: $-\nabla \cdot (\sigma \cdot \nabla V) = 0$

Balço de energia e calor: $\rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot q = Q$ e $q = -k \cdot \nabla T + PJ$

Relação de Thomson's: $P = -S \cdot T$

Weak form implementation : $\int_{\Omega} \rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} T_{test} d\Omega + \int_{\Omega} (\nabla) T_{test} d\Omega = \int_{\Omega} Q \cdot T_{test} d\Omega$

Aplicação do vetor identidade: $\nabla \cdot (T_{test} q) = q \cdot \nabla T_{test} + T_{test} \cdot \nabla q$

Essas equações são resolvidas pelo *solver* utilizando as físicas de *Heat Transfer in Solid e Electric Currents*, sendo a ligação entre as mesmas feitas pela equação abaixo, introduzindo a contribuição de Seebeck:

$$Weak_s = -(\sigma \cdot \nabla T) \cdot \nabla V_{test} =$$

$$Weak_s = -S \cdot \left(\sigma_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} + \sigma_{xy} \frac{\partial T}{\partial y} + \sigma_{xz} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \frac{\partial V_{test}}{\partial x} - S \cdot \left(\sigma_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} + \sigma_{yx} \frac{\partial T}{\partial x} + \sigma_{yz} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \frac{\partial V_{test}}{\partial y} \\ - S \cdot \left(\sigma_{zz} \frac{\partial T}{\partial z} + \sigma_{zx} \frac{\partial T}{\partial x} + \sigma_{zy} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \frac{\partial V_{test}}{\partial z}$$

Onde:

σ : condutividade elétrica [S/m]

V: potencial elétrico [V]

ρ : densidade [kg/m³]

C_p : capacidade calorífica [J/kg.K]

T: temperatura

q: fluxo de calor [W/m²]

k: condutividade térmica [W/(m.K)]

P: coeficiente de Peltier

S: coeficiente de Seebeck

J: densidade de corrente [A/m²]

Q = J · (-∇V) : Aquecimento Joule [W/m³]

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 Electric 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.

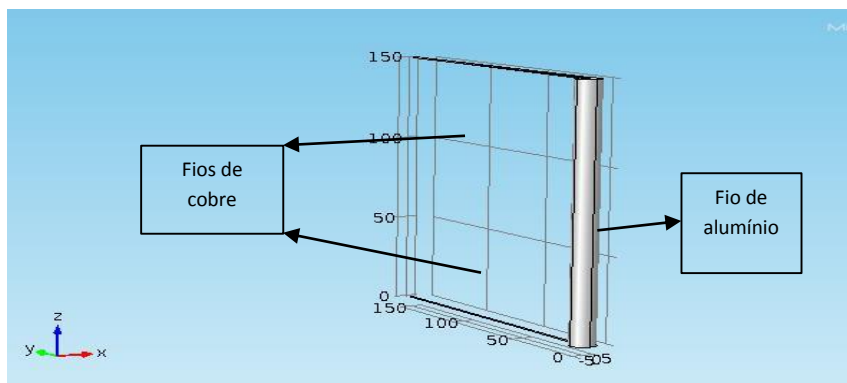


Figura 3: Modelo geométrico utilizado na modelagem

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 feita 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.

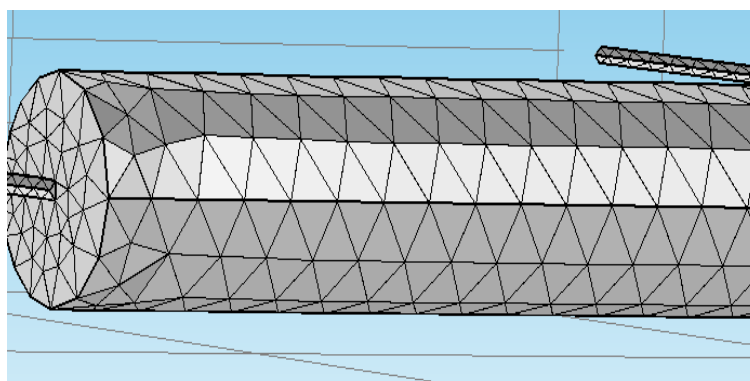


Figura 4: Malha detalhada do cilindro de alumínio

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.

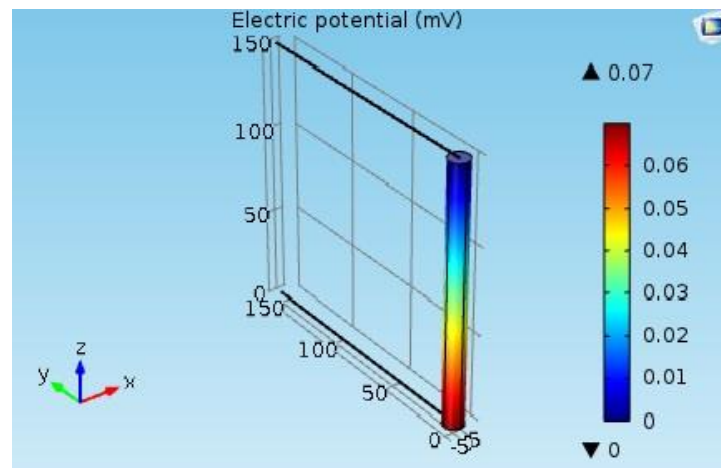


Figura 5: Diferença de potencial gerada nos cilindros devido à diferença de temperatura aplicada nas junções.

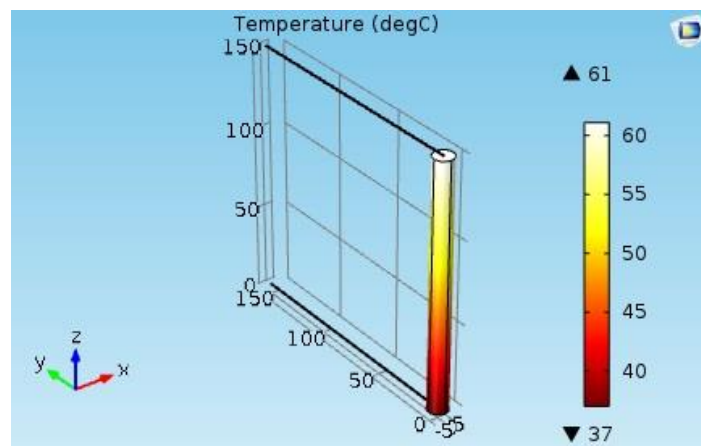


Figura 6: Campo de temperatura na superfície dos cilindros

Pode se verificar que ao aplicarmos uma diferença de temperatura de 24 ° 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 cobre 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

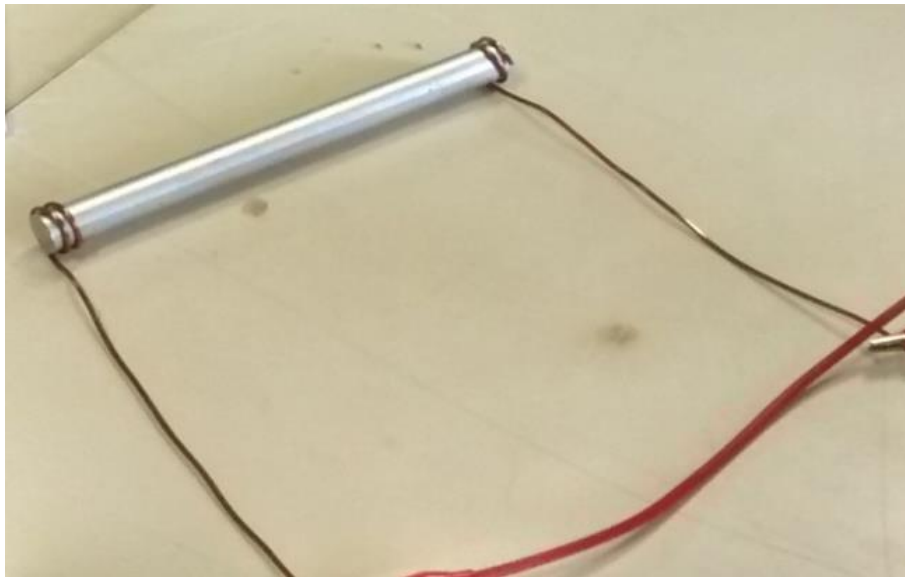


Figura 7: Modelo experimental

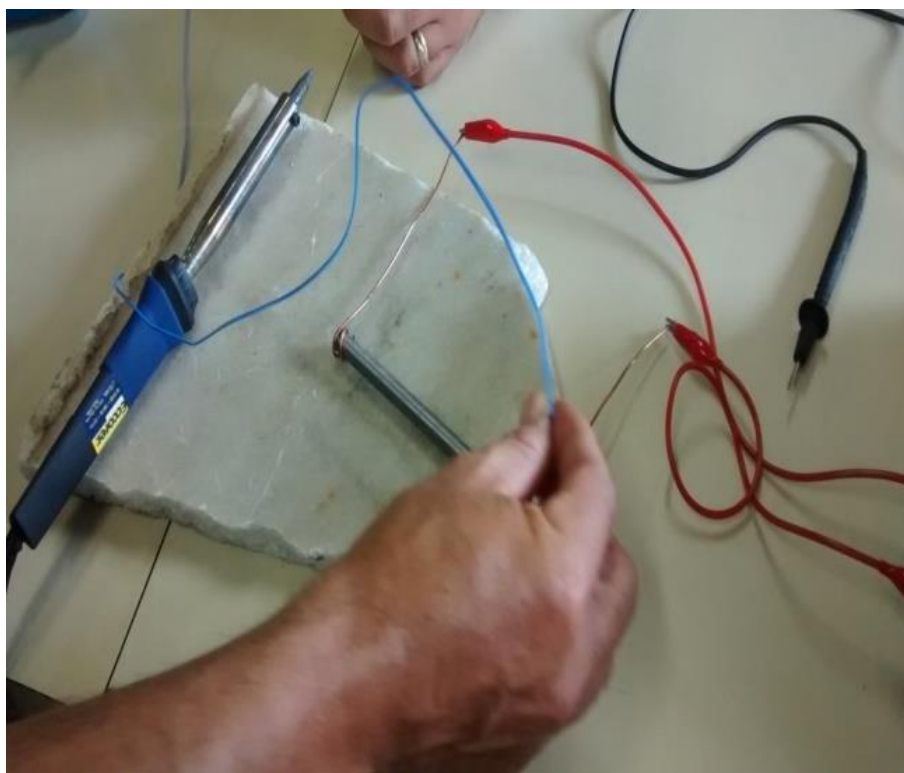


Figura 8: Medição das temperaturas



Figura 9: Medição das temperaturas T_2



Figura 10: Medição das temperaturas T_1

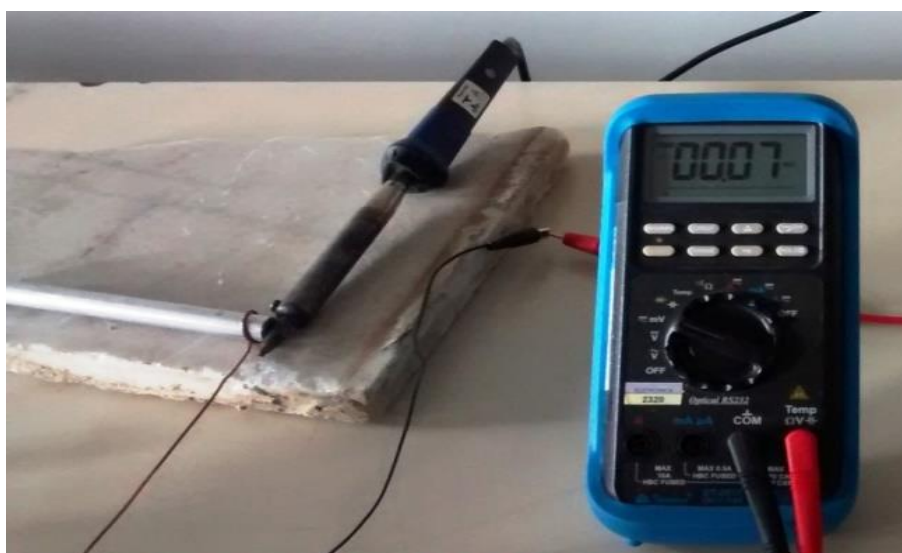


Figura 11: Medição da DDP do modelo simples

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 37°C e 61°C, 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.

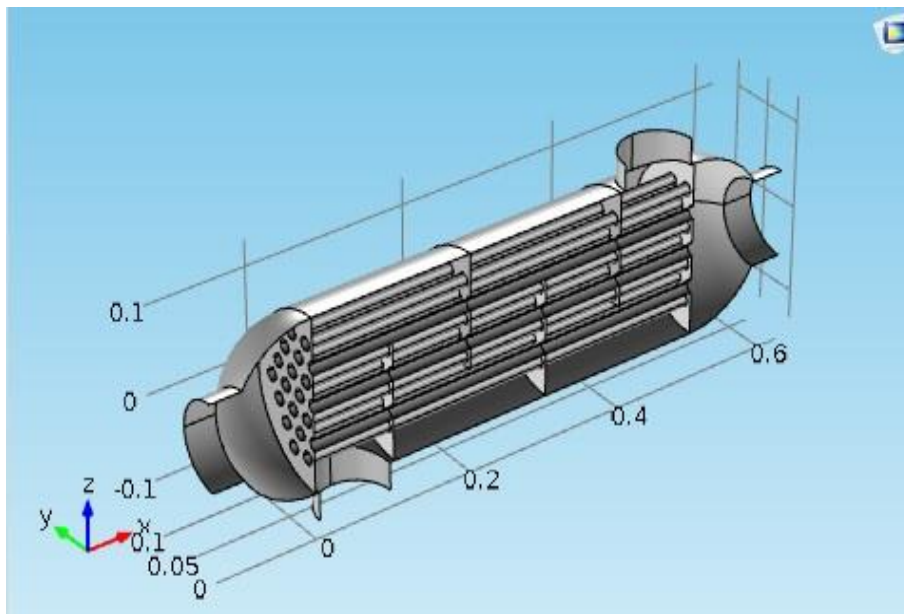


Figura 12: Estrutura geométrica do trocador de calor do tipo shell and tube

Fonte: Geometria shell and tube da model libraries do COMSOL Multiphysics

A geometria usada na modelagem foi importada 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.

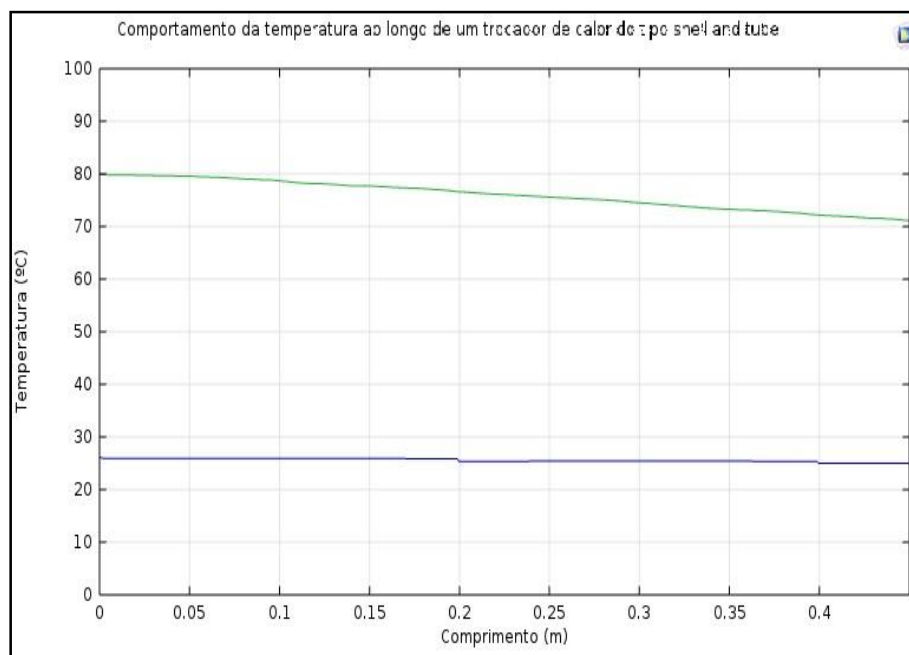


Gráfico1: Comportamento das temperaturas ao longo de um trocador de calor do tipo shell and tube (Fonte: Modelo do shell and tube da livraria do COMSOL Multiphysics)

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).

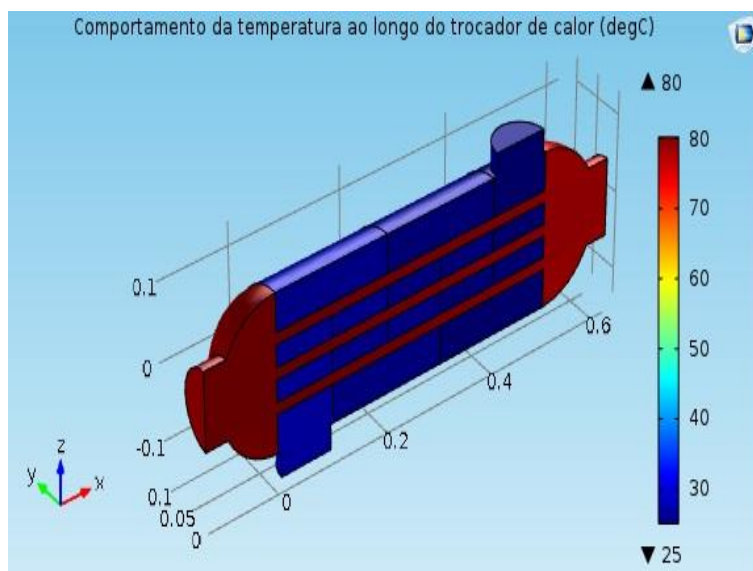


Figura 13: Comportamento 3D da temperatura no trocador de escoamento contracorrente ao longo do comprimento do tubo

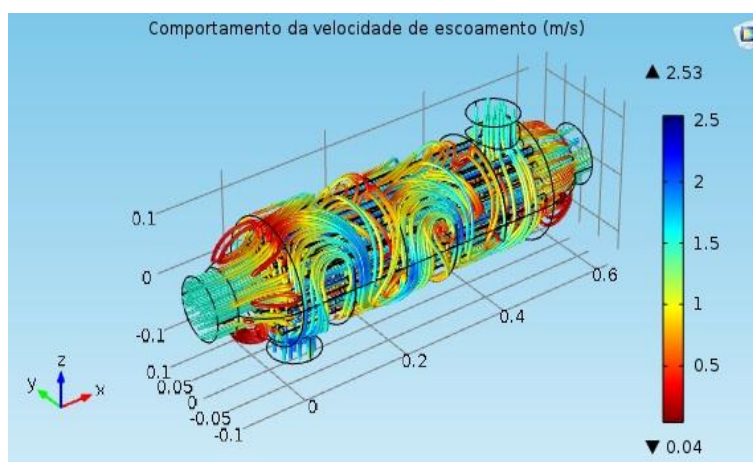


Figura 14 Comportamento 3D da velocidade dos fluidos no trocador de escoamento contracorrente ao longo do comprimento do tubo

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.

Desenhemos a seguinte célula unitária para a construção da pastilha peltier:

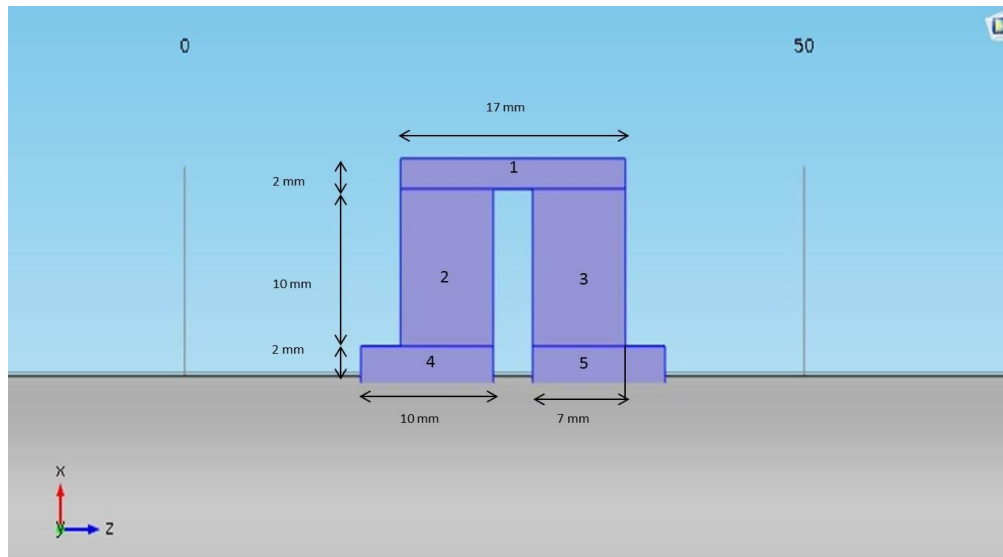


Figura 15: Célula unitária da pastilha peltier usada na modelagem

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 semiconductor). 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).

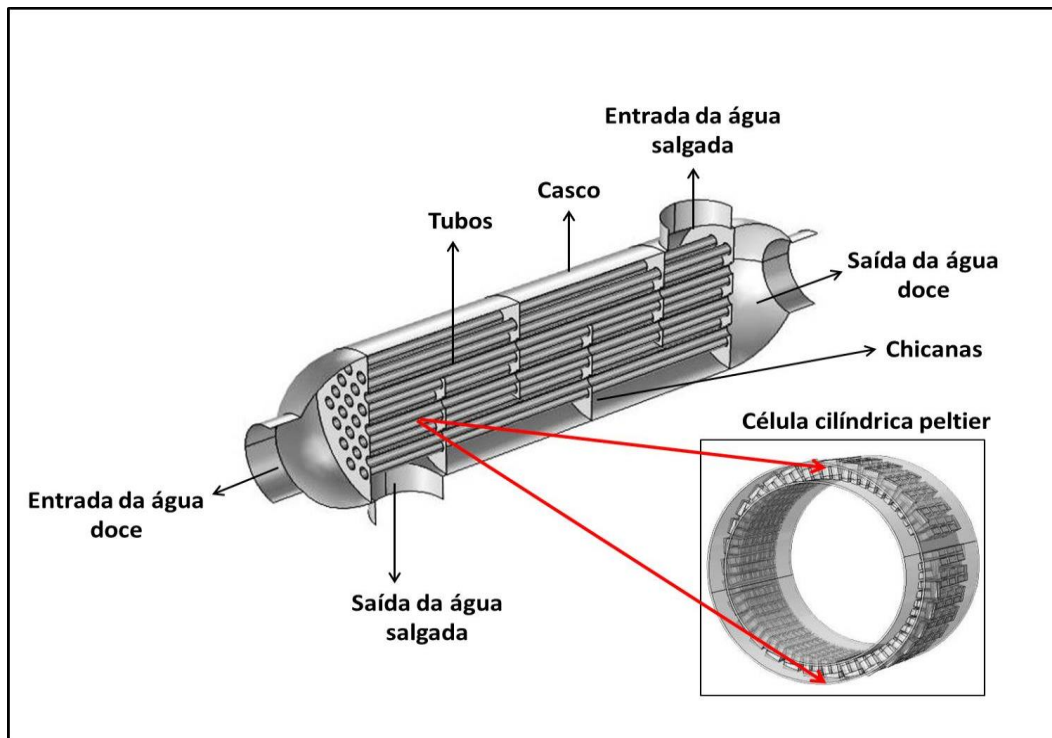


Figura 16: Geometria do shell and tube utilizado na modelagem introduzido a célula cilíndrica peltier no tubo interior

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.

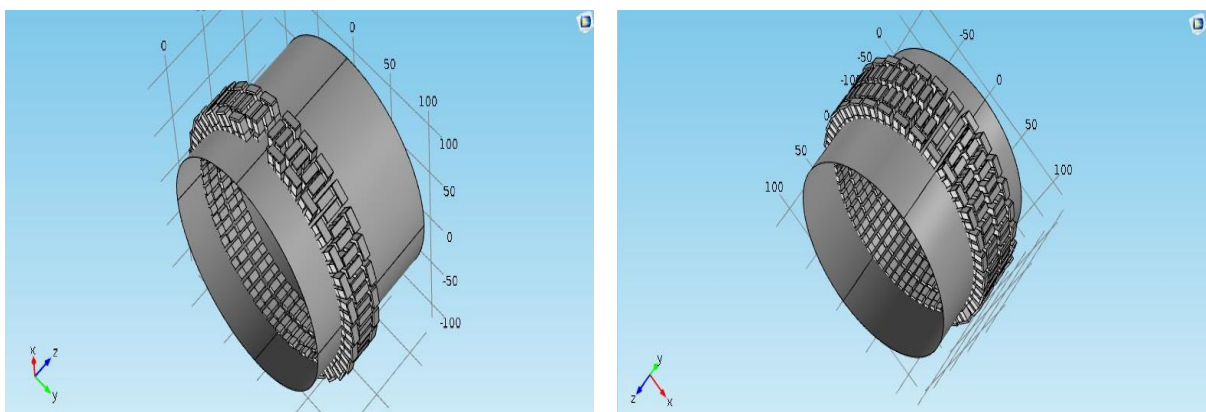


Figura 17: Células unitária colocadas em série para formar pastilha peltier usada na modelagem

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.

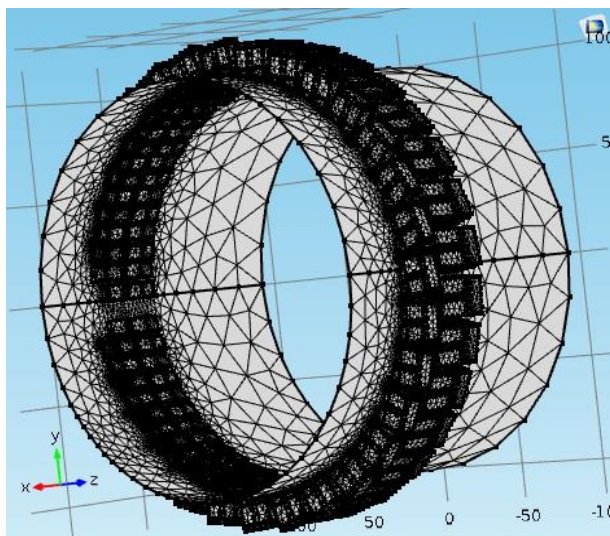


Figura 18: Pastilha com uma fileira transversal: malha com 178565, elementos de domínio, 116334 elementos de fronteira, e 24374 elementos de aresta.

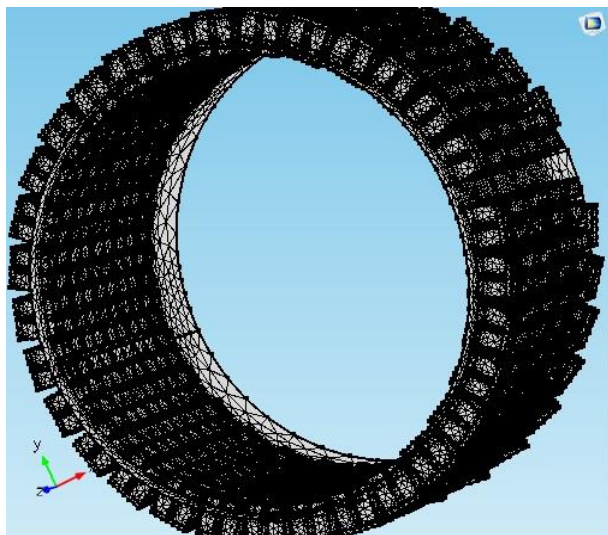


Figura 19: Pastilha com duas fileiras transversais : malha com 367325 elementos de domínio, 254807 elementos de fronteira, e 57450 elementos de aresta

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 25°C a 80°C, 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.

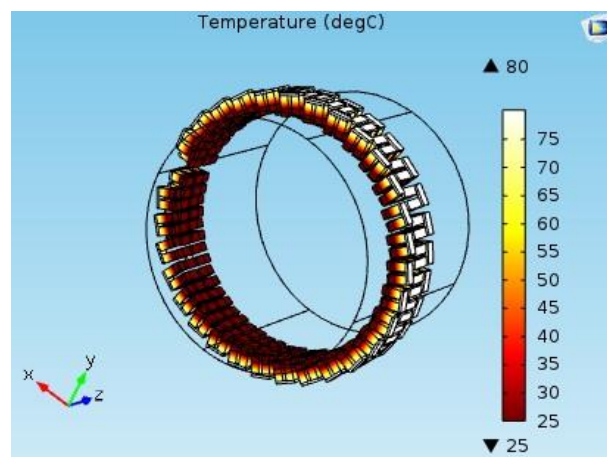


Figura 20: Comportamento da temperatura ao longo da célula com um fileira transversal

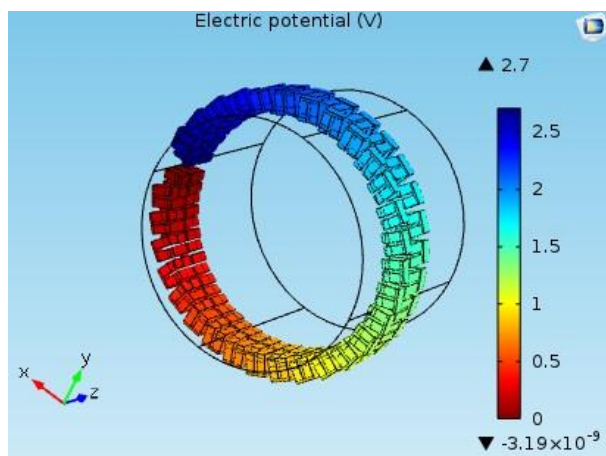


Figura 21: Comportamento e produção da ddp ao longo da célula com um fileira transversal

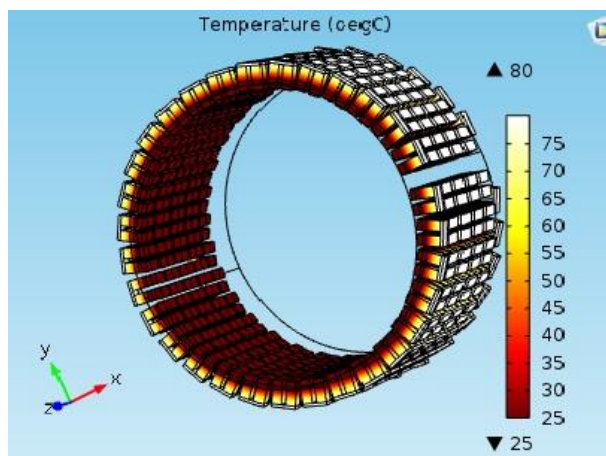


Figura 22: Comportamento da temperatura ao longo da célula com duas fileira transversal

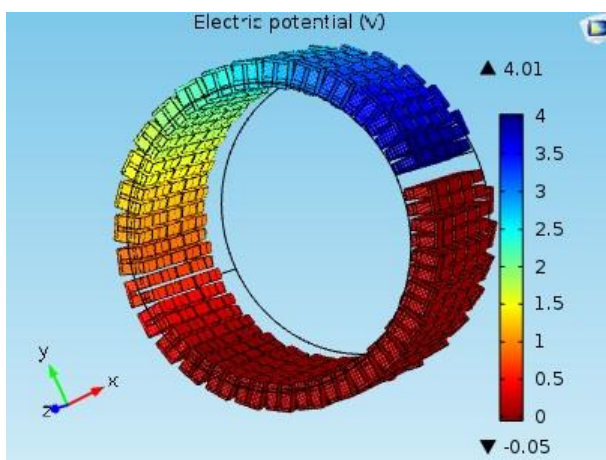


Figura 23: Comportamento e produção da ddp ao longo da célula com duas fileira transversal

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

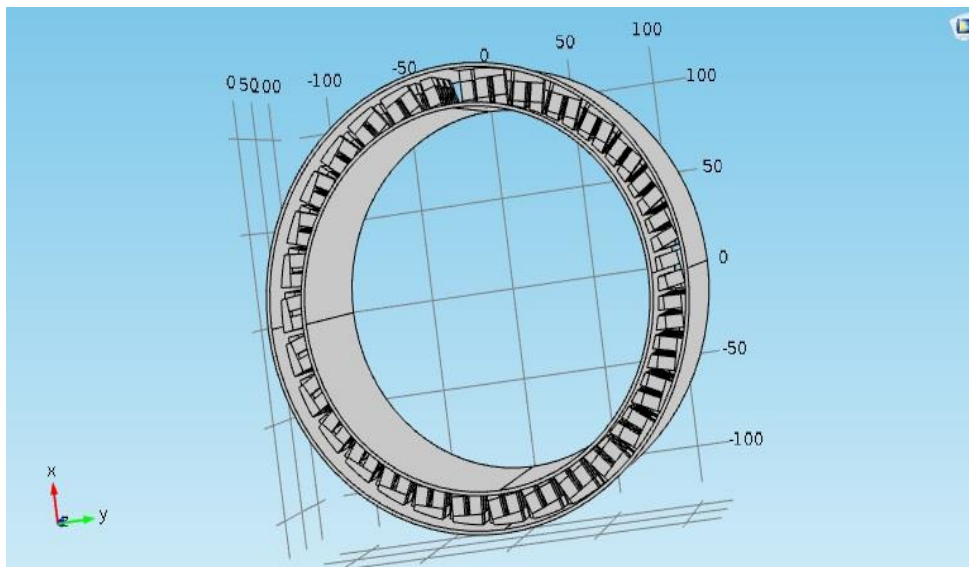


Figura 24: Estrutura da célula cilíndrica peltier construída para revestir o tubo interior do trocador de calor

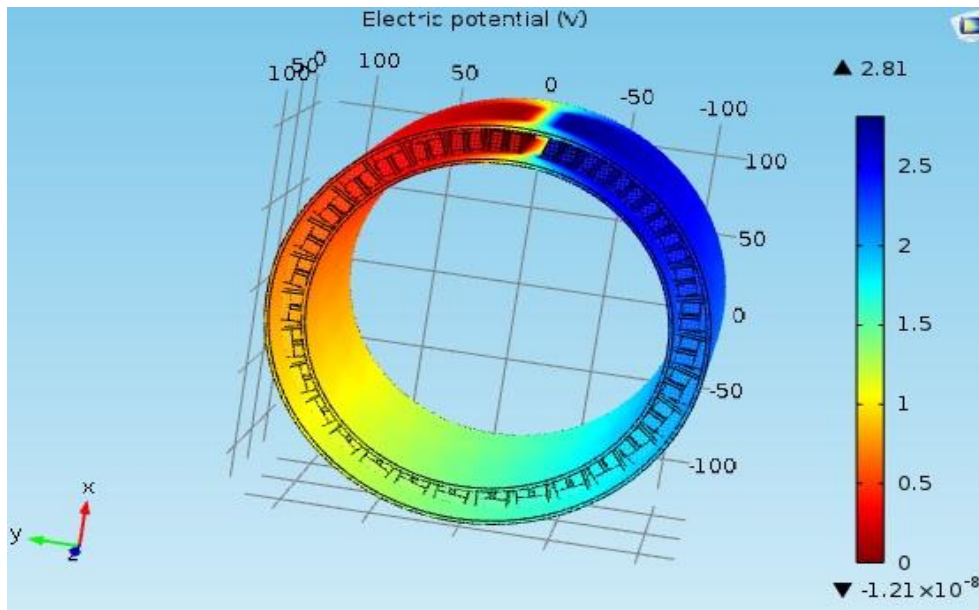


Figura 25: Comportamento da ddp gerada na célula cilíndrica peltier construída para revestir o tubo interior do trocador de calor

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 trocador 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 uma 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 TECNOLÓGICA 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 defensas 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 barcasas, 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 $\delta(x) = 0 \quad \forall x \neq 0$ 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 pérdida 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 pérdida 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 sollicitaciones. 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 práctico 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 citarse 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 término 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 las 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 disipar y la fuerza de impacto lo siguiente: el diseño del funcionamiento, las condiciones del entorno, la posición del ataque, 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 ataque 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 defensas 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 International 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:

$$\nabla \cdot \sigma + b = \rho \dot{v}, \quad (1)$$

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

$$\frac{1}{\rho} \dot{\rho} + \nabla \cdot v = 0. \quad (2)$$

Por último, la ecuación de balance de energía (primer principio de termodinámica) se escribe

$$\rho \dot{u} = \sigma : d + \nabla \cdot h + r, \quad (3)$$

Donde u es la energía interna por unidad de masa, $d = 1/2[\nabla \cdot \mathbf{v} + (\nabla \cdot \mathbf{v})^T]$ el tensor velocidad de deformación, r la densidad de fuentes de calor, y $\mathbf{h}$ el vector de flujo calórico.

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,

$$\boldsymbol{\sigma} = (K - 2G/3)\text{tr}(\boldsymbol{\varepsilon})\mathbf{1} + 2G\boldsymbol{\varepsilon} \quad (4)$$

Donde (K, G) son los módulos elásticos de compresibilidad y corte respectivamente, $\mathbf{1}$ es el tensor identidad de 2° orden y $\boldsymbol{\varepsilon}$ 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 $u(\mathbf{X}, t)$, se suele adoptar una aproximación de la forma:

$$u(X, t) = \sum_{A=1}^N u_A(t) N_A(X), \quad (5)$$

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

$$t_{n+1} = t_n + \Delta t_{n+\frac{1}{2}} \quad (6)$$

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 proviene de los criterios de diseño y selección de defensas

marinas, método establecido en [3], en los que los criterios impulsivos, velocidad de ataque del buque punto de ataque, 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 ataque. El peso del buque, es decir, el desplazamiento que se toma en cuenta es el desplazamiento en condición de ataque Δ_1 (al llegar al puerto y realizar labores de estiba y desestiba), generalmente el desplazamiento a plena carga, cuando 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.

EFFECTOS 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:

$$W_2 = 1/4[\rho L D^2 \pi] \quad (\text{ton})$$

(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:

$$\Delta_f = 1.3 \Delta_1$$

(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:

$$C_H = 1 + 2 D/B$$

(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 varía 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 barcas 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 EXCENRICIDAD Y PUNTO DE ATRAQUE

Al producirse un impacto, atracando 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 líquida si ofrecer resistencia toda la masa se considerará en el cálculo pero si la estructura portuaria ofrece resistencia se descontará 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:

$$E = \frac{\Delta_f V^2 K}{2g}$$

(12)

$$E = \frac{\Delta_1 V_n^2 C_E C_H C_S C_C}{2g}$$

(13)

$$E = \frac{\Delta_1 V^2 C_M C_E C_S C_C}{2g}$$

(14)

Donde V es la velocidad de ataque y V_n velocidad de traslación normal al muelle en m/s. En algunos casos, en la fórmula 14, puede despreciarse C_C .

EFFECTO ANGULAR

En un acercamiento angular se debe considerar las deflexiones no uniformes y la pérdida de energía del sistema.

El ángulo de aproximación del buque es el ángulo entre el casco y la estructura de ataque, 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 ataque 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:

$$E < E_A = E_n \times F_{ae} \quad (15)$$

Donde E es la energía de atraque; E_a energía absorbida por compresión angular; E_n energía absorbida por compresión normal, y F_{ae} es el factor de corrección angular.

Además, debe cumplirse que:

$$R_{ma} > R_n \text{ y } R_a \quad (R_a = R_n \times F_{ar}) \quad (16)$$

Donde R_{ma} es la fuerza de reacción máxima admisible; R_n es la fuerza para compresión normal, R_a es la fuerza de reacción angular y F_{ar} 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 $\frac{1}{4}$ 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 $\frac{1}{4}$ ” 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						
Información Preliminar			Resultados Obtenidos			
Buque de Atraque		Energía estimada			Energía Angular Absorbida	
BUQUE CISTERNA		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. Energía de	0.98		
			Deflexion de la defensa	55.00	%	

Tabla 1.2 Cuadro de Energías 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 Angulares Estimadas para el Caso de Estudio						
Información Preliminar			Resultados Obtenidos			
Buque de Atraque		Energía estimada			Energía 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. Energía 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	=	$1.2 \times 10^5 V_x (DWT)^{0.5}$	[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 muestra 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 Descripción 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	TETRAHEDRAL
N° DE NODOS	11611
N°DE ELEMENTOS	6181
MATERIAL	CAUCHO NEOPRENO

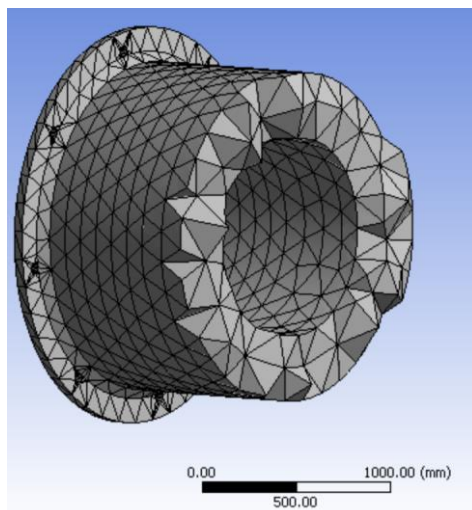
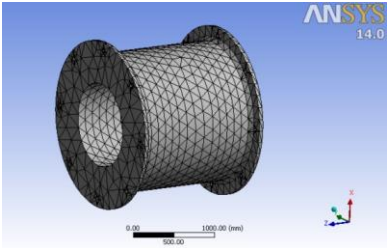


Figura 1. Malla del modelo SUC 1700 H

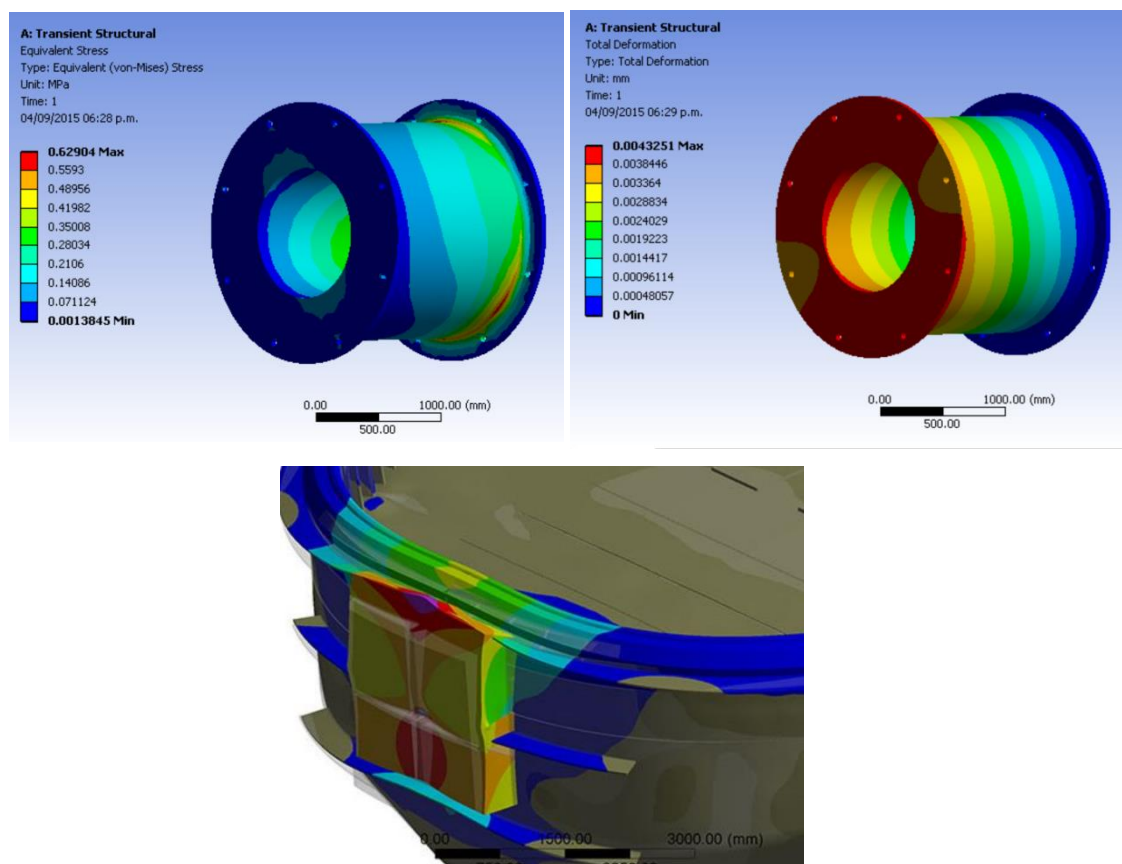


Figura 2. Deformaciones y Esfuerzos del modelo SUC 1700 H



Figura 3. Barcaza y energía Disipada en el tiempo

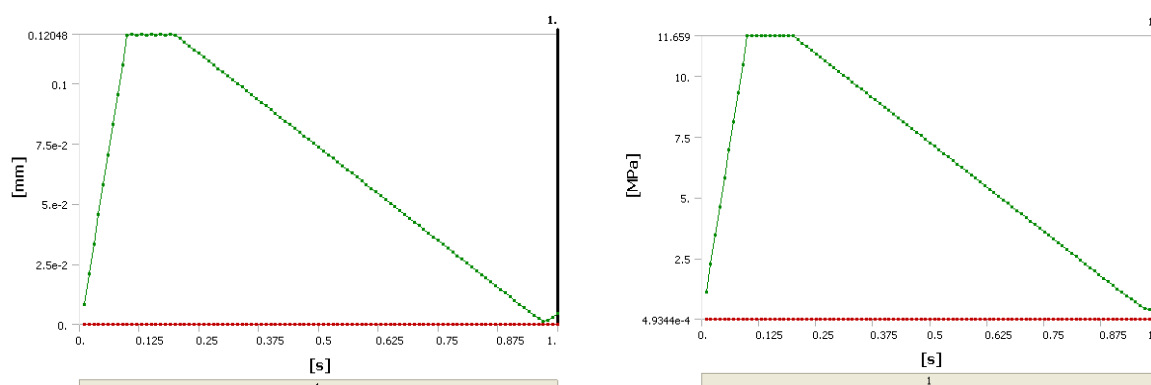


Figura 4. Diagramas de esfuerzos y deformaciones en el tiempo

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 de las propiedades del material.

El punto de atraque a $\frac{1}{4} L$ 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/m².

9. CONCLUSIONES,

Mejorar y realizar un correcto diseño de una 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 ataque 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 Design 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 Dynamics*), 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:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \mathbf{u} \nabla \rho + \rho \nabla \cdot \mathbf{u} \equiv \frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

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:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

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:

$$\rho \frac{D\mathbf{u}}{Dt} = \rho \vec{g} - \vec{\nabla} p + \mu [\nabla^2 \mathbf{u} + \frac{1}{3} \vec{\nabla} (\vec{\nabla} \cdot \mathbf{u})], \text{ para fluidos compressíveis.}$$

Esta é a equação na forma vetorial para fluidos incompressíveis ($\mu=\text{cte.}$), onde $\mathbf{u}$ é a velocidade, ρ a densidade e p a pressão no ponto de análise.

Quando o fluido é incompressível, temos: $\vec{\nabla} \cdot \mathbf{u} = 0$, resultando em:

$$\rho \frac{D\mathbf{u}}{Dt} = \rho \vec{g} - \vec{\nabla} p + \mu \nabla^2 \mathbf{u}$$

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.

Analizando 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**:

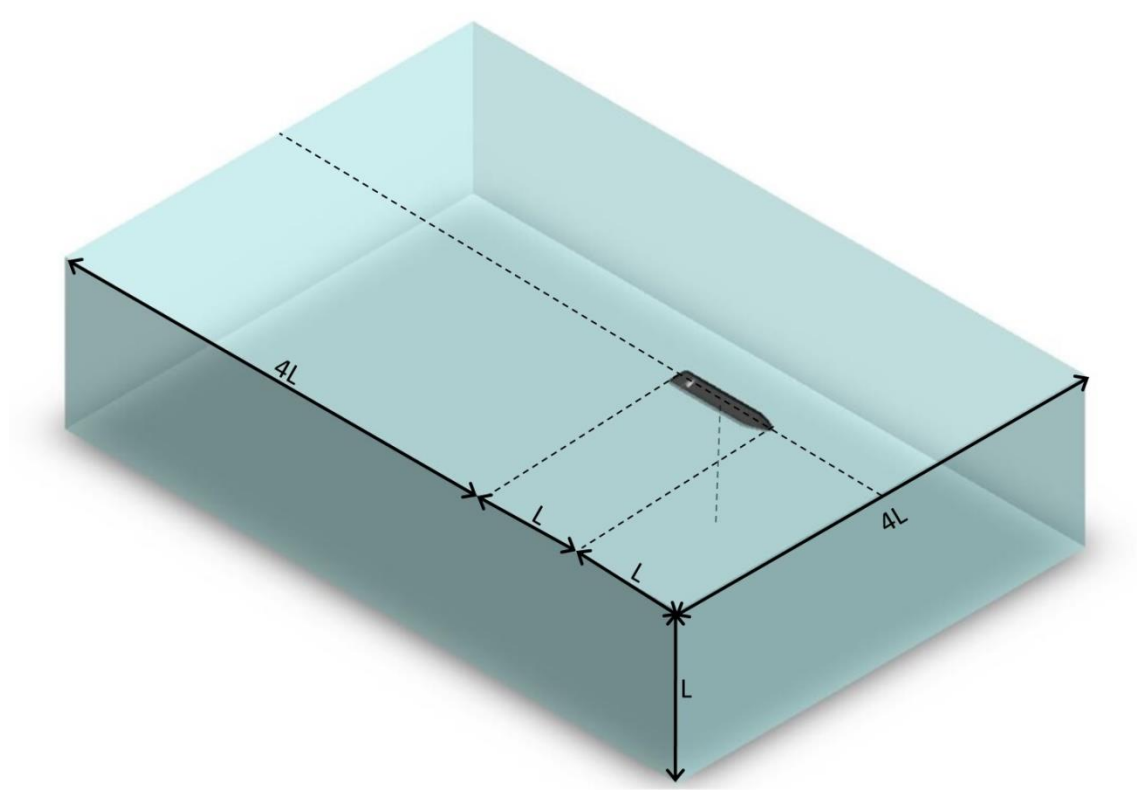


Figura 1

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 escoar 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 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*:

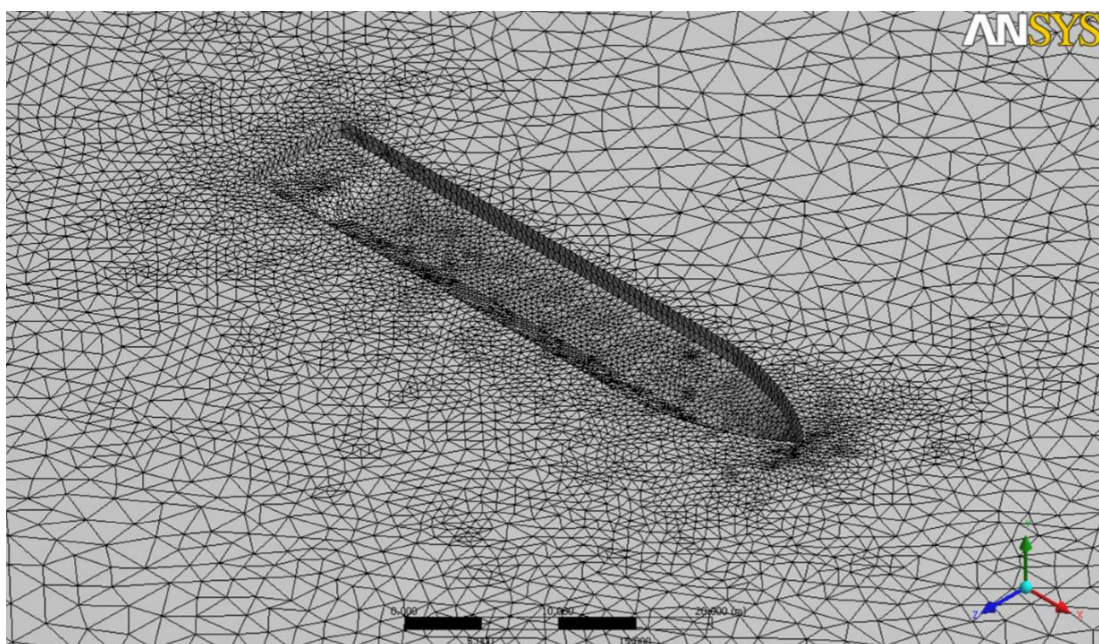


Figura 2: Malha obtida no ANSYS

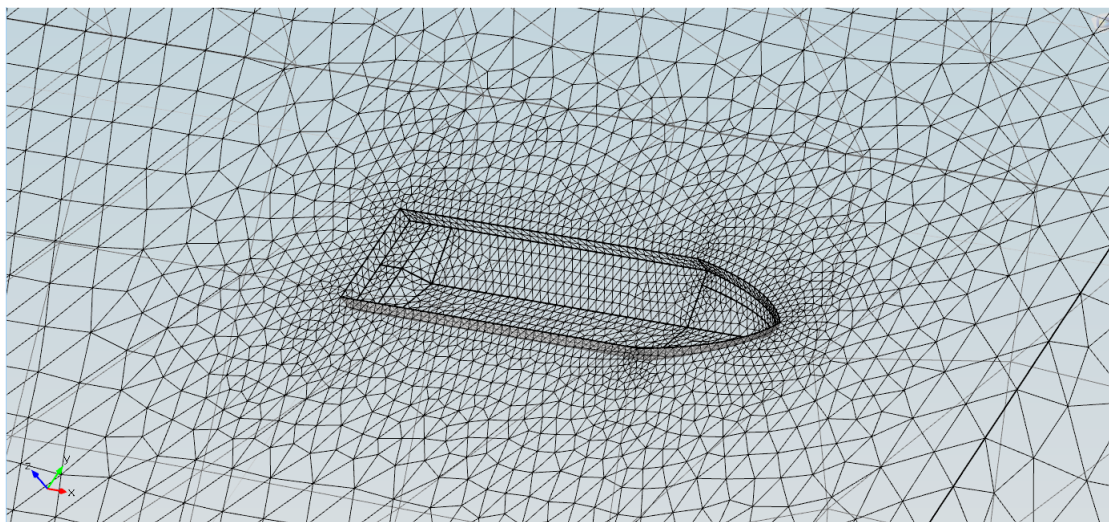


Figura 3: Malha obtida no COMSOL

Também, em ambos os casos, o fluido em questão é água doce, à 25°C.

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:

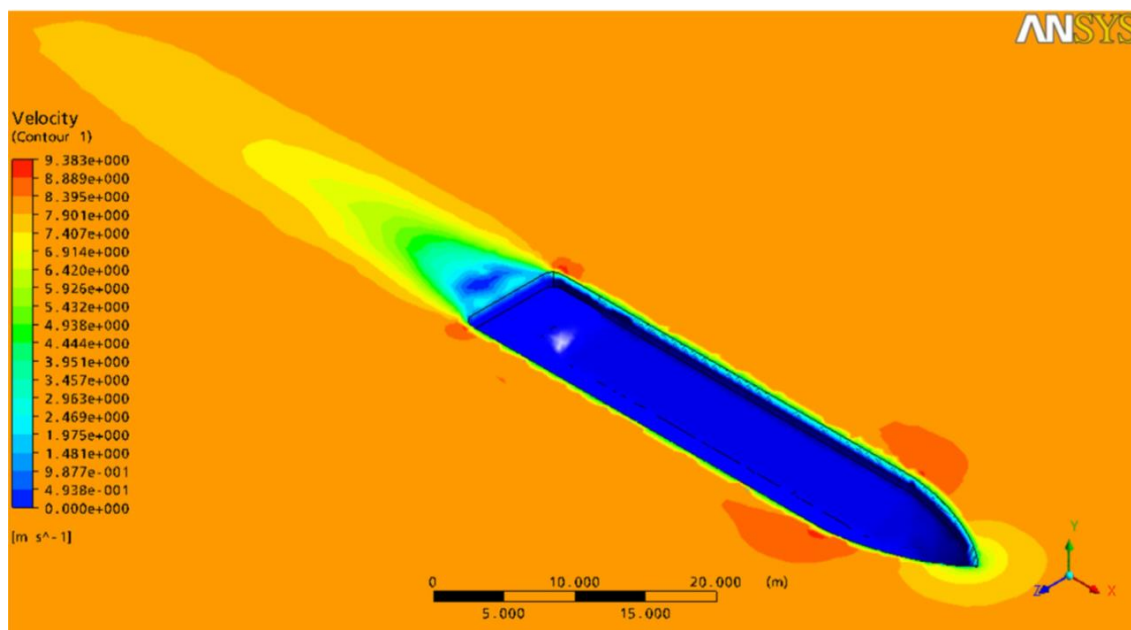


Figura 4 – Velocidade do Fluido (ANSYS)

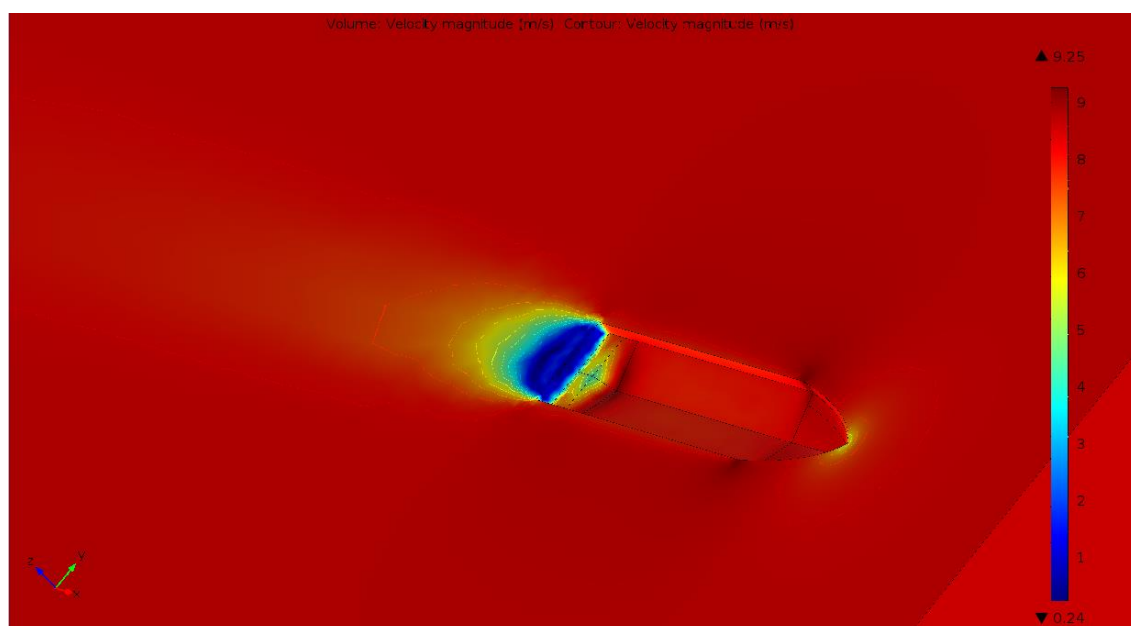


Figura 5 – Velocidade do Fluido (COMSOL)

Na análise de pressão ao redor do casco, se obteve um pico de $2,557 \times 10^4$ no ANSYS e $2,61 \times 10^4$ no COMSOL (diferença de 2,03%) e valores mínimos de $-2,697 \times 10^4$ e $-2,2 \times 10^4$, 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:

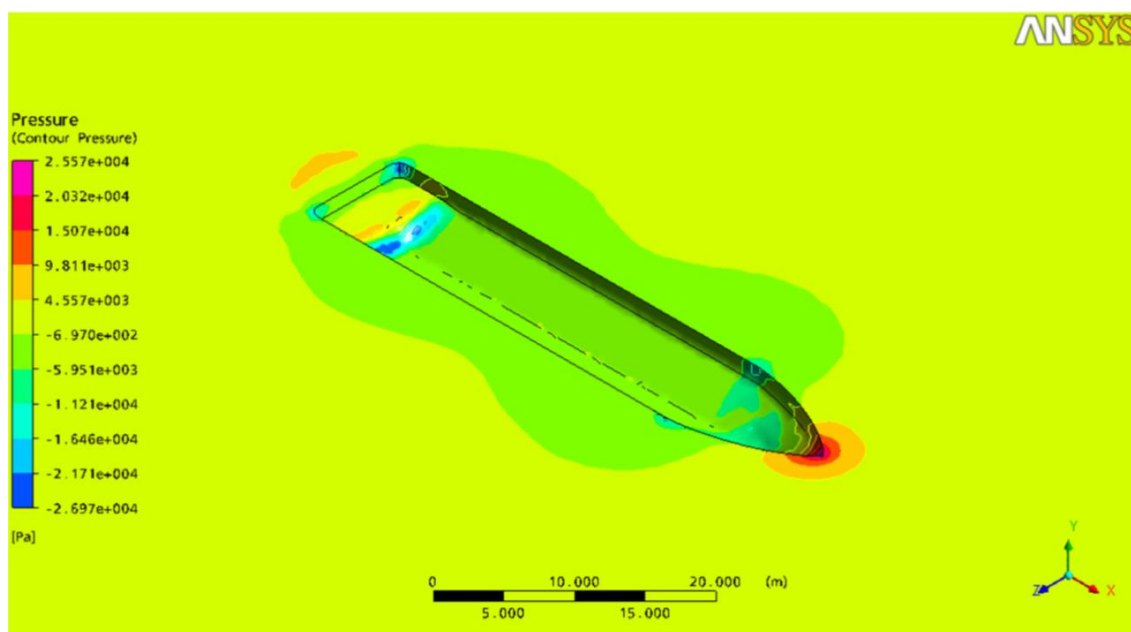


Figura 6 – Pressão do Fluido (ANSYS)

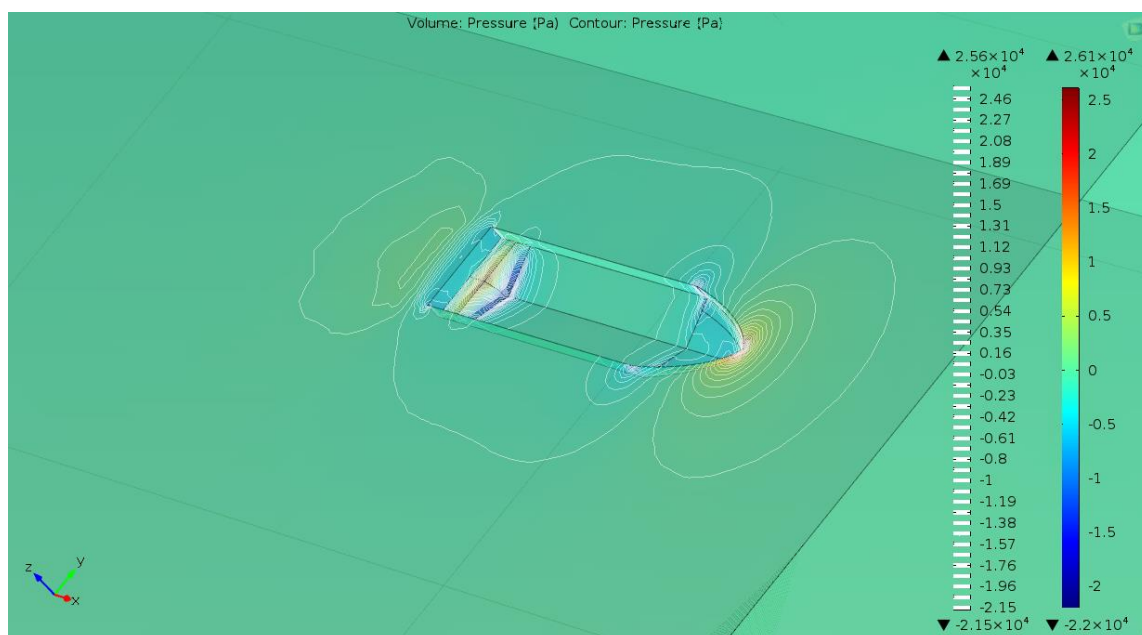


Figura 7 – Pressão do Fluido (COMSOL)

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/pier 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 $PMPM||C_{max}$.

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.

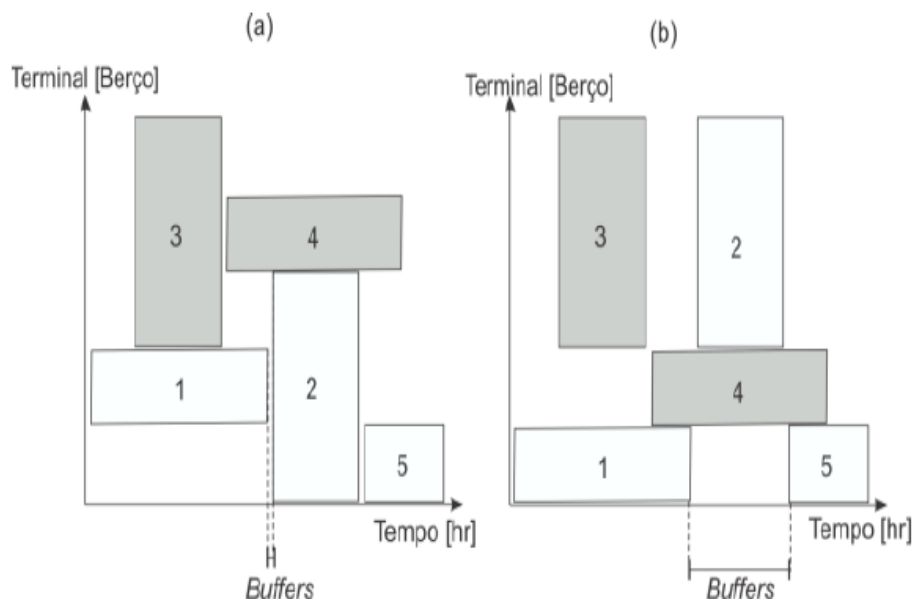


Figura 1: Apresentação de dois exemplos de solução para a alocação de berços.

Fonte: Moorthy (2006).

Este problema consiste em atribuir aos navios uma posição e/ou um tempo de atracação ao longo de um cais/pier (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 atracação de forma que a utilização do cais seja maximizada e/ou o tempo de serviço minimizado, (Mauri et al. 2011).

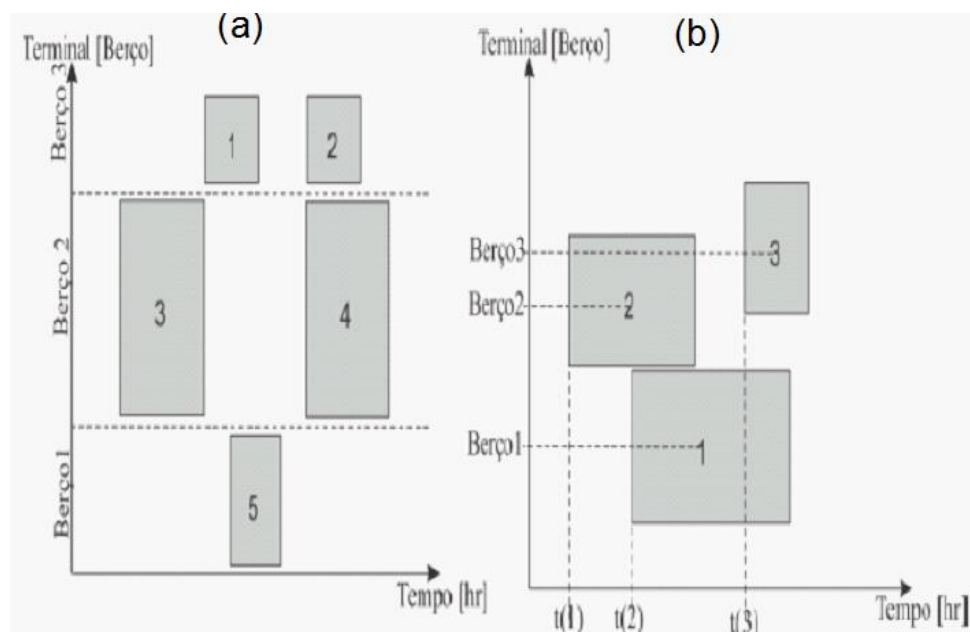


Figura 2: Apresentação do PAB discreto e contínuo.

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:

1º Passo: Definir o problema de alocação de berço em portos fluviais.

2º Passo: Identificar um problema de escalonamento compatível com as características PAB, descrita no item anterior.

3º: Passo: Propor um modelo de programação linear para resolver o problema de alocação de berços, através de problemas de escalonamento.

4º: 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).

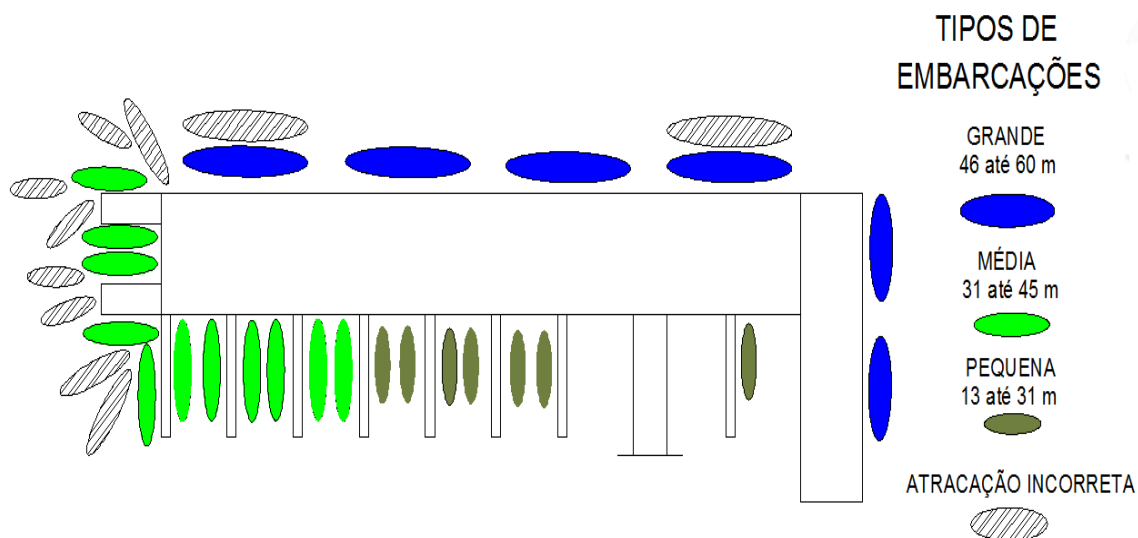


Figura 3: Ilustração da alocação de berços e das restrições do Porto Público de Manaus.

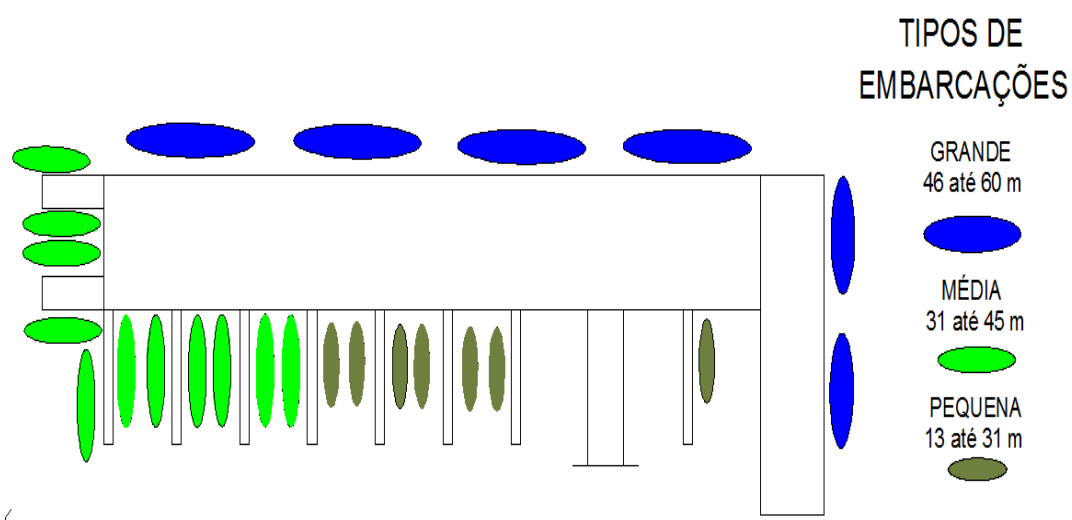


Figura 4: Ilustração da alocação correta dos berços no Porto Público de Manaus.

No Porto Público de Manaus (Figura 3), quando os navios não encontram berços disponíveis, estes realizam atracões "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 atracção 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 contém 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 $P||C_{max}$, são dadas n tarefas, com tempo de processamento p_j , m máquinas e queremos encontrar uma alocação de tarefas a máquinas tal que o maior prazo de completude dentre todas as tarefas (C_{max}) 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 m_j de máquinas, onde $m_j \subseteq M$ (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 Propósito Geral Não relacionadas (equivalente ao ambiente R, pois cada máquina i na qual uma tarefa j não pode ser executada, tem-se $p_{ij} = \infty$).

Os problemas de escalonamento com Máquinas Paralelas de Propósito Geral - PMPM, são uma generalização dos problemas clássicos de Máquinas Paralelas Idênticas - P (Figura 5).

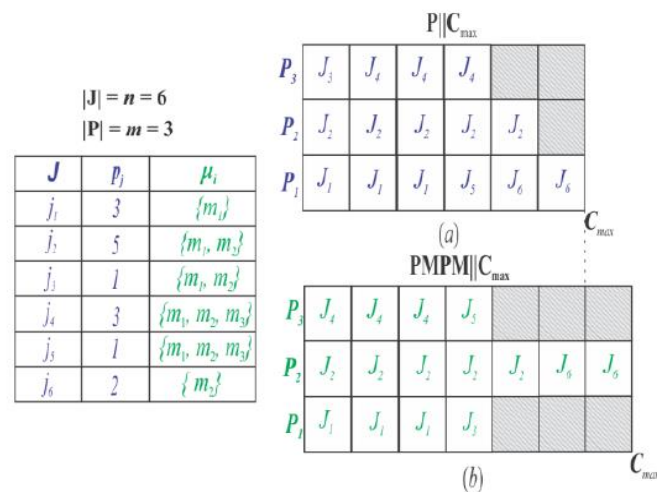


Figura 5: (a) Máquinas Paralelas Idênticas (P). (b) Máquinas Paralelas de Propósito Geral (PMPM).

Examinando as soluções (Figura 5 (a)) para ambos os casos, observam-se nas sequências duas diferenças, sendo elas: trocas entre as tarefas J_3 e J_4 e na tarefa J_6 . A primeira troca não afeta o valor objetivo. Porém a segunda causa uma pequena diferença na viabilidade e no custo ótimo do C_{max} (Figura 5 (b)).

No problema PMPM|| C_{max} , 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 p_j e cada tarefa só pode ser executada em um subconjunto $\mu_j \subseteq M$ 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 p_j , esta associado a subconjunto m_j 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).

$$\text{Minimiza } Z = C_{\max} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i \in m_j} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{i \in J \\ i \in m_j}} p_j x_{ij} \leq C_{\max} \quad \forall i \in m_j \quad (3)$$

$$x_{ij} = \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, n; \forall j = 1, \dots, m \quad (4)$$

A função objetivo (1) minimiza Z o maior tempo de completude dentre todas as tarefas, $C_{\max}$. A restrição (2) garante que cada navio é atendido por apenas um berço. Nessa restrição são considerados os subconjuntos m_j 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 $C_{\max}$ seja no mínimo o maior tempo completude. E por fim, a restrição (4) garante que as variáveis de decisão sejam binárias, onde $x_{ij} = 1$ caso o j -ésimo navio seja designado para o berço i -ésimo, e $x_{ij} = 0$ caso contrário. Para transformar o PMPM||Cmax em P||Cmax a restrição (3) deve ser substituída por (5):

$$\sum_{i \in j} p_j x_{ij} \leq C_{\max} \quad \forall i \in m_j \quad (5)$$

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 - Optimization 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,  
,48,96,120,48,72,24,24,24,48,48,48,192,
```

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 propósito 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.

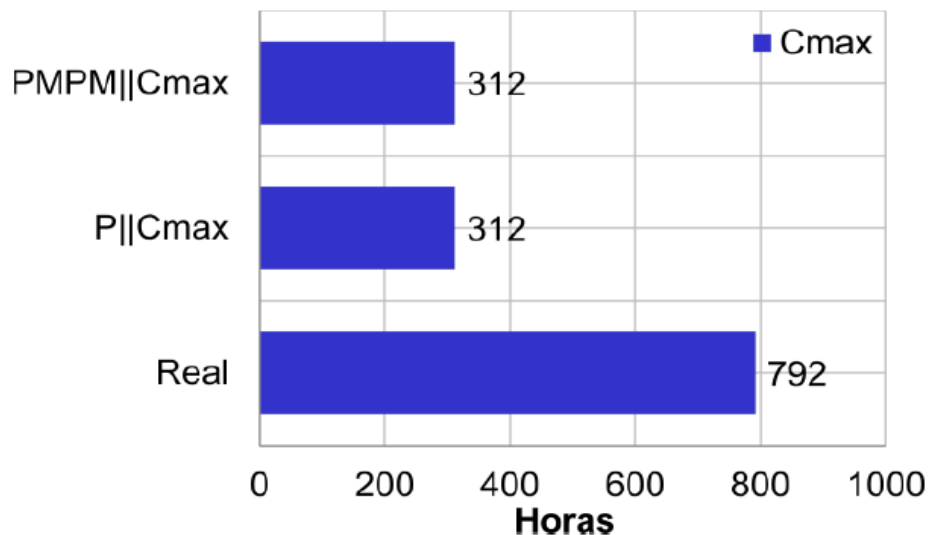


Figura 6: Comparação entre a solução ótima e a real.

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.

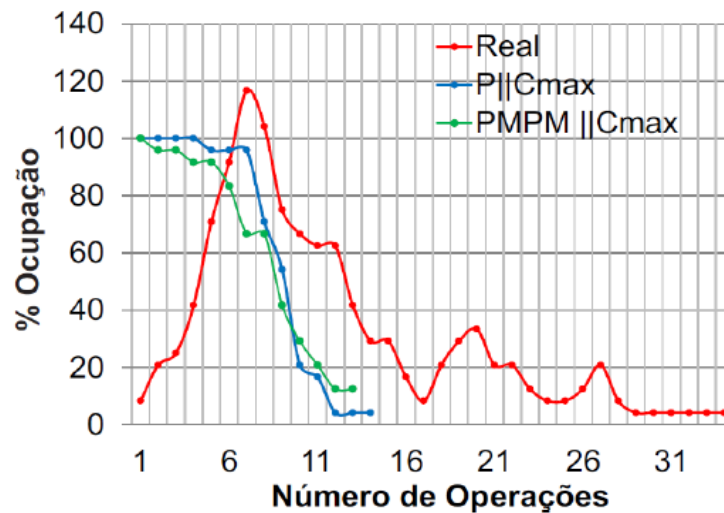


Figura 7: Apresentação da taxa de ocupação do porto.

Em relação à taxa de utilização do porto, os modelos geraram uma alocação uniforme, ou seja, o número 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-pier 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 Conference on 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 algorithms,” Springer, vol. Fifth, 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 a semi-spherical profile.

In the following section a review of 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 critical 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.

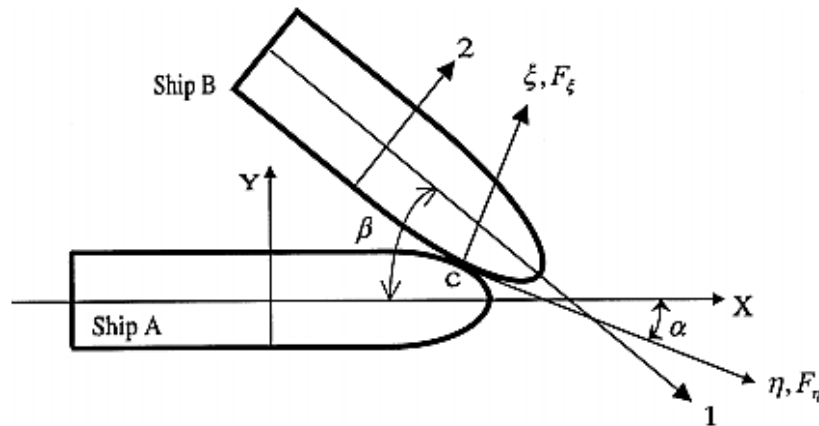


Figure 1 - Schematic of two colliding ships. Zhang (1999).

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

$$M(1+m_x)\dot{v}_x = -F_\xi \sin\alpha - F_\eta \cos\alpha \quad (1)$$

$$M(1+m_y)\dot{v}_y = -F_\xi \cos\alpha + F_\eta \sin\alpha \quad (2)$$

$$MR^2(1+j)\dot{\omega} = -F_\xi[y_c \sin\alpha - (x_c - x_g)\cos\alpha] + F_\eta[y_c \cos\alpha - (x_c - x_g)\sin\alpha] \quad (3)$$

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 ($|\mu_0| < |\mu_n|$):

$$E_{\xi} = \int_0^{\xi_{\max}} F_{\xi} d\xi = \frac{1}{2} \frac{1}{D_{\xi} + \mu_o D_{\eta}} \dot{\xi}(0)^2 (1 - e^2) \quad (6)$$

$$E_{\eta} = \int_0^{\eta_{\max}} F_{\eta} d\eta = \frac{1}{2} \frac{1}{\frac{1}{\mu_o} K_{\xi} + K_{\eta}} (\dot{\eta}(0)^2 - \dot{\eta}(T)^2) \quad (7)$$

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.

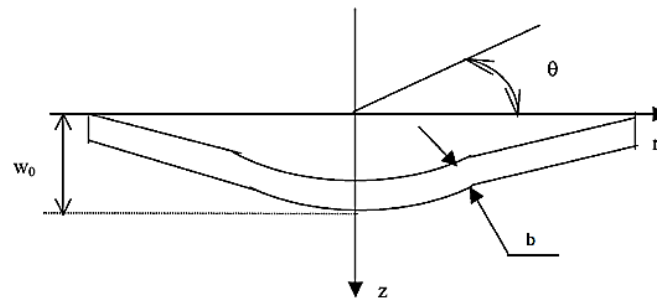


Figure 2 – Profile of the plate deformed by the impact of a projectile

Gonçalves et al. (2004)

Considering that the material satisfact the Hollomon's expression:

$$\bar{\sigma} = A(\bar{\epsilon})^n \quad (8)$$

Where $\bar{\sigma}$ is the effective strain, $\bar{\epsilon}$ 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:

$$E_p = \int_V \left(\int_0^{\bar{\varepsilon}} \bar{\sigma} d\bar{\varepsilon} \right) dV \quad (9)$$

V is the volume of the plate zone which is deformed by the projectile. From the geometry of impact, the volume of the dimple is:

$$dV = 2\pi t r dr \quad (10)$$

Where t is the plate thickness. Using the expression for $\bar{\sigma}$ in equation 9:

$$E_p = \frac{A}{n+1} \int_V (\bar{\varepsilon})^{n+1} dV \quad (11)$$

From the theory of Von Mises:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sqrt{2}}{3} \left[(\varepsilon_r - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_r)^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

For the configuration of deformation it is assumed that $\varepsilon_r = \varepsilon_\theta$ and $\varepsilon_z = -2\varepsilon_r$. Thus, equation 12 becomes

$$\bar{\varepsilon} = 2\varepsilon_r \quad (13)$$

For big deflections and small radial displacements, the radial strain is given by

$$\varepsilon_r = \frac{1}{2} \left(\frac{dw}{dr} \right)^2 \quad (14)$$

Thus

$$\bar{\varepsilon} = \left(\frac{dw}{dr} \right)^2 \quad (15)$$

Substituting the above expression in equation 11:

$$E_p = \frac{2\pi b A}{n+1} \int_0^\infty \left(\frac{dw}{dr} \right)^{2n+1} r dr \quad (16)$$

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

$$w = w_o \exp \left(-k \frac{r}{D} \right) \quad (17)$$

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:

$$E_p = \frac{2\pi t A}{n+1} \left(\frac{w_o k}{D} \right)^{2(n+1)} \times \int_0^\infty \exp \left[-\frac{2kr}{D} (n+1) \right] r dr \quad (18)$$

The above equation can be integrated to yield the final expression for the total plastic energy absorbed by the plate and is given by

$$E_p = B w_o^{2(n+1)} \quad (19)$$

Where

$$B = \frac{\pi t A}{2(n+1)^3} \left(\frac{k}{D} \right)^{2n} \quad (20)$$

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.

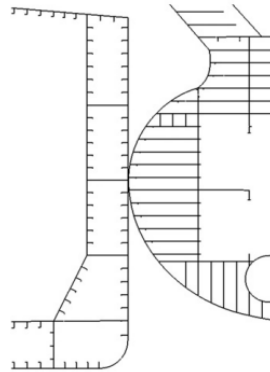


Figure 3 – Ship collision where the striking ship has a bulbous bow. (Haris, Amdahl, 2013)

As presented before, the total energy of the collision is

$$E_T = E_\xi + E_\eta \quad (21)$$

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.

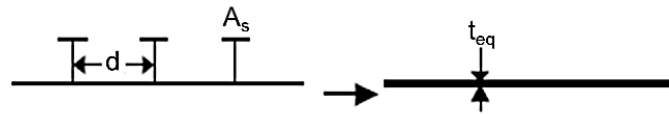


Figure 4 – Equivalent thickness of a stiffened plate.

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 $\mu =$

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.

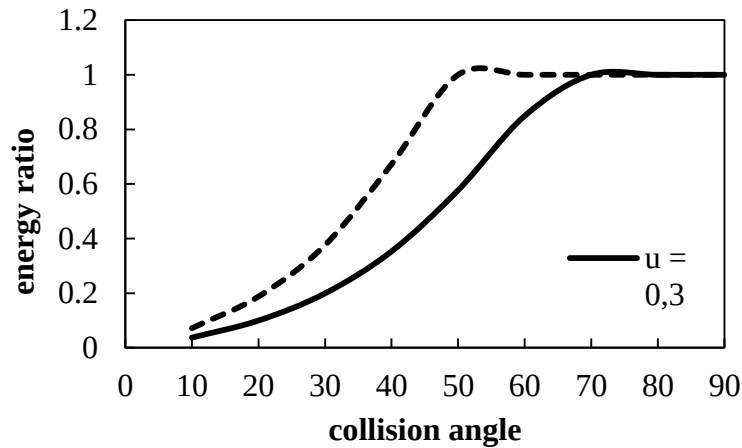


Figure 5 - Relation between the energy ratio and the impact angle

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.

Test	Max. deflection (mm)		
	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.

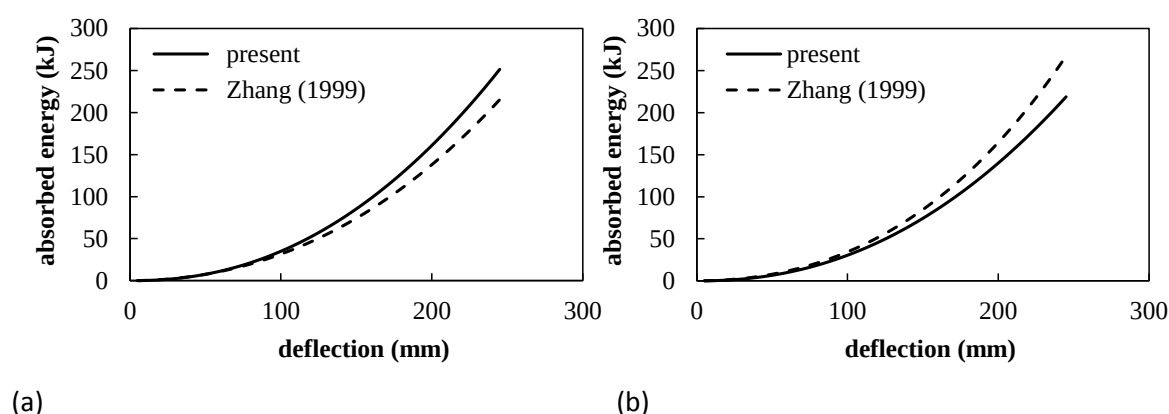


Figure 6 - Energy-deflection curves for a striking bulb with radius of (a) 0,6 m and (b) 1,2 m.

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.

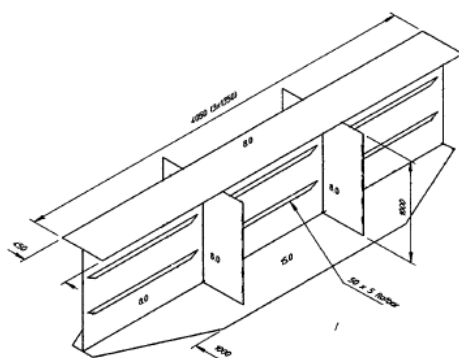


Figure 7 - The test model and parameters. (Qvist e al., 1995).

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

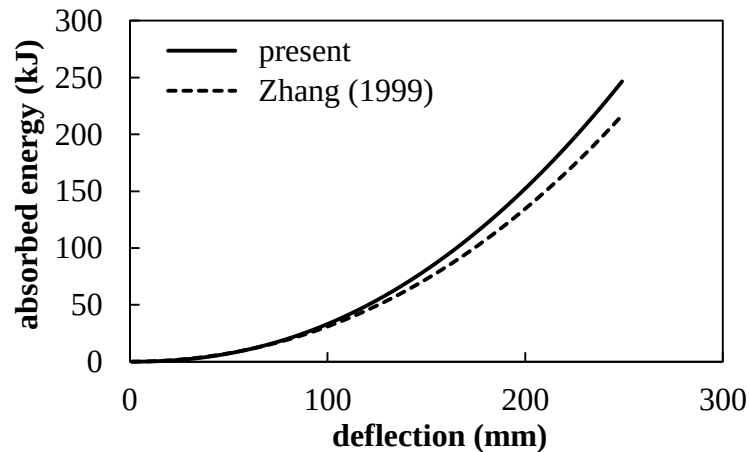


Figure 8 - Energy-deflection curves for a bulb striking a plate with stiffeners.

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.

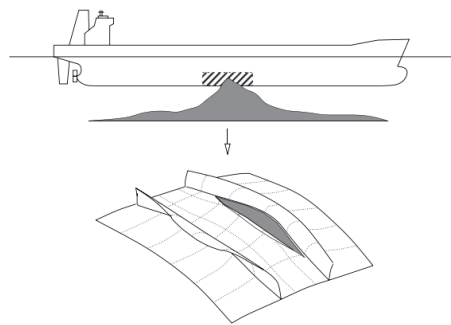


Figure 9 - Ship grounding – penetration of a bottom panel. (Alsos; Amdahl, 2009).

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”.

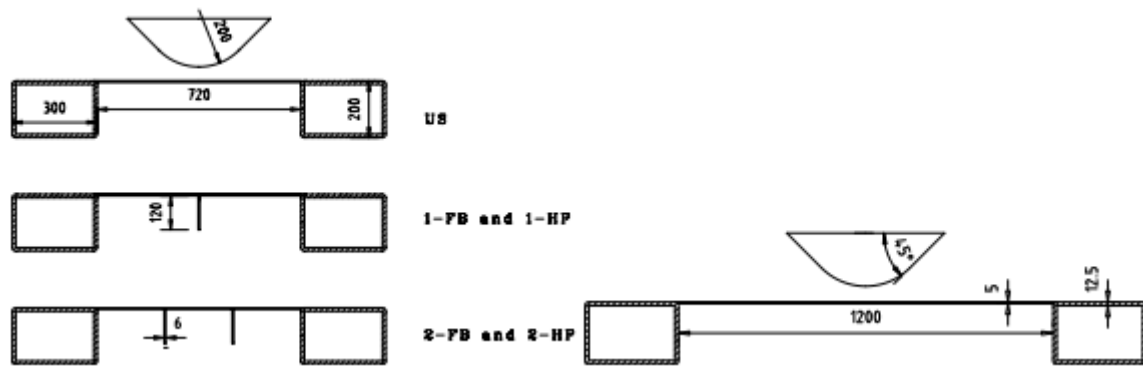


Figure 10 - Transverse and longitudinal cross section with and without stiffeners.

(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 an 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 90° . 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.

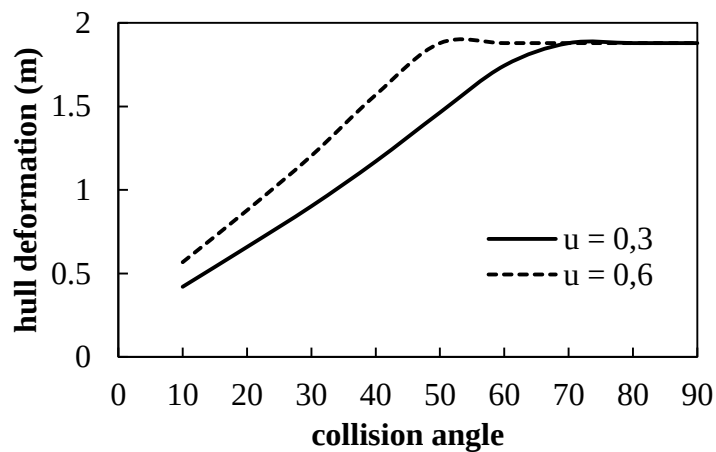


Figure 11 - Deformation of the ship hull caused by the impact with a spherical profiled wall as function of the impact angle.

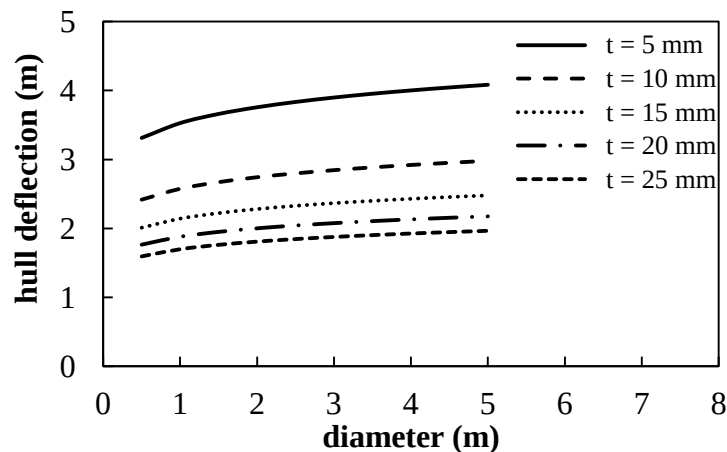


Figure 12 - Deformation of the ship hull caused by the impact with a spherical profiled wall as function of the diameter.

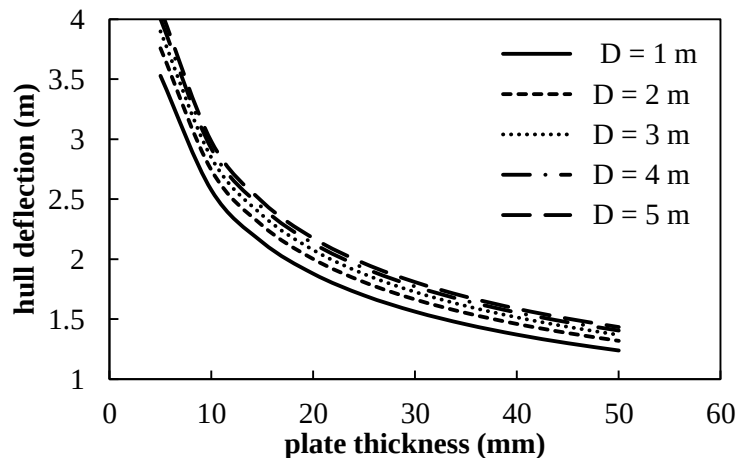


Figure 13 - Deformation of the ship hull caused by the impact with a spherical profiled wall as function of the plate thickness.

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. *Proc 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 & Manufacture*, 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/prevenición 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 N° 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.

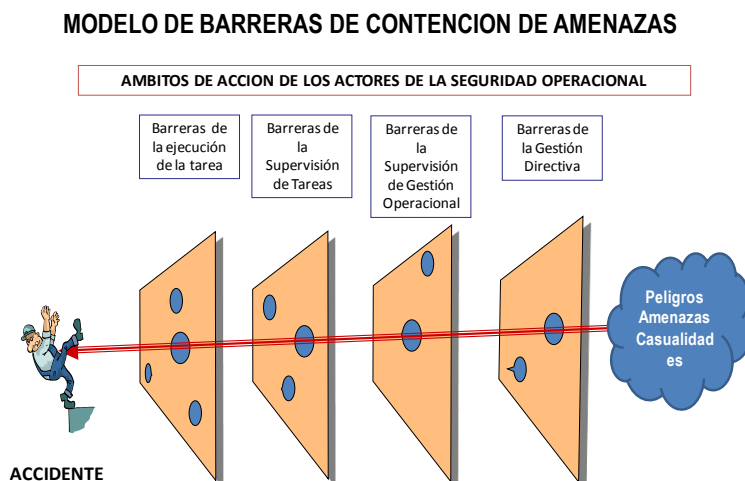


Figura N° 1. Modelo de James Reason para la defensa en profundidad

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 N° 2.

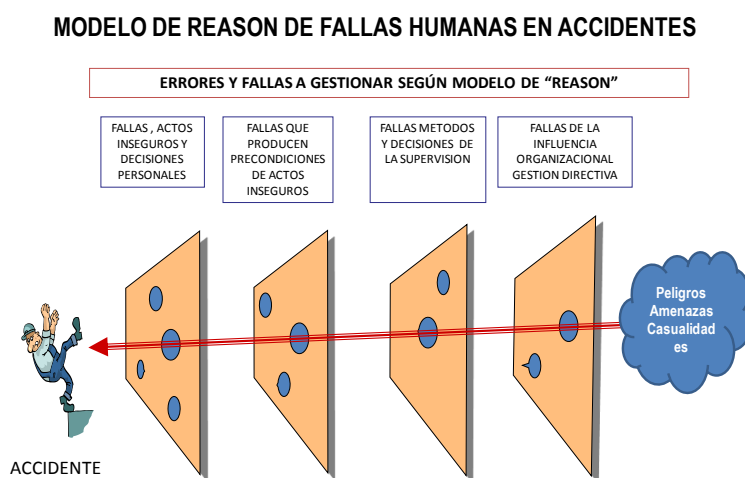


Figura N° 2. Modelo de James Reason para errores humanos

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 N° 3.

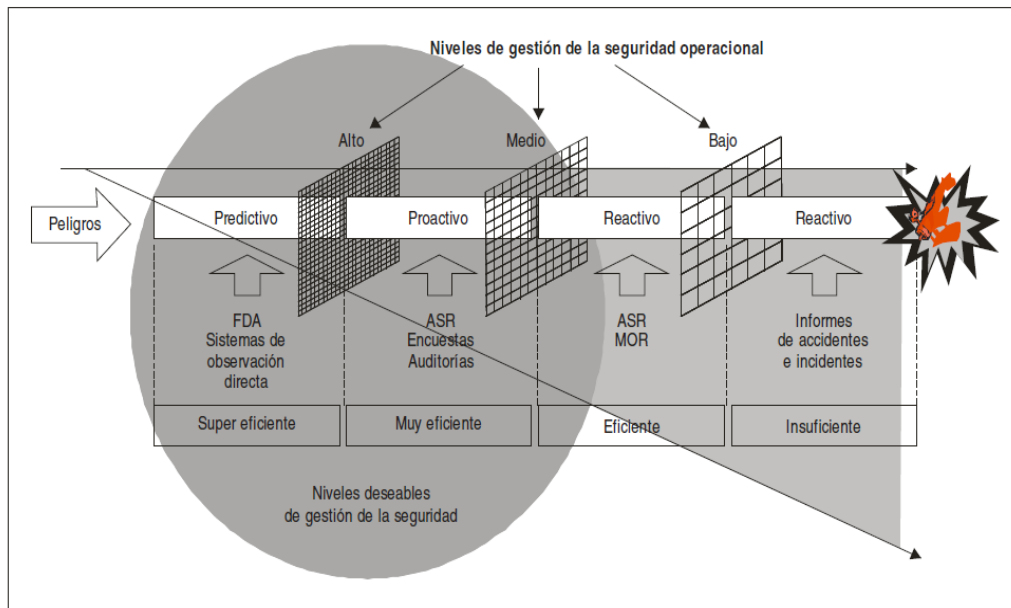


Figura N° 3. Niveles de gestión de riesgo operacional

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.

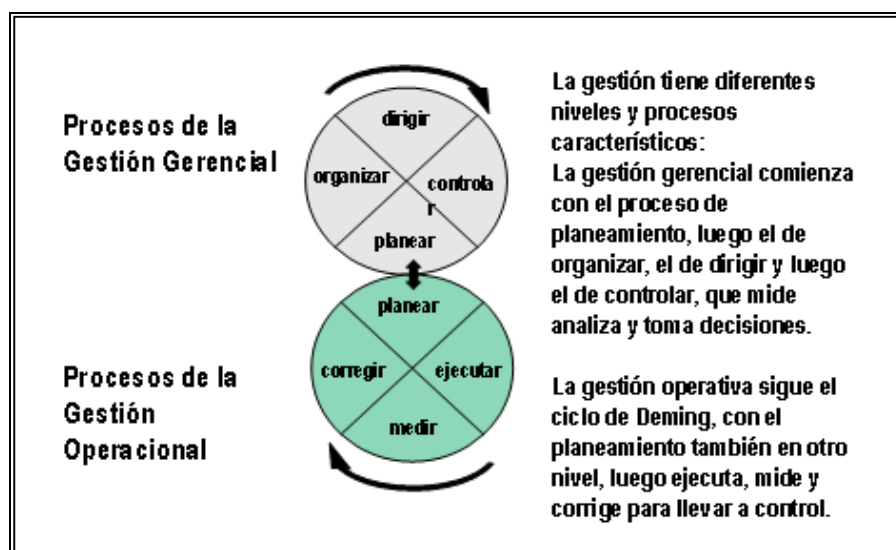
Tal como se muestra en la Figura N° 4, el diseño considera concretar de manera formal, específica y exhaustiva los procesos de la administración científica asociados a la gestión directiva. Esto es definir con claridad los procesos de planeamiento, organización, dirección y control para los tres niveles 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 N° 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 este estándar

³¹ Adaptado del ciclo de Deming.

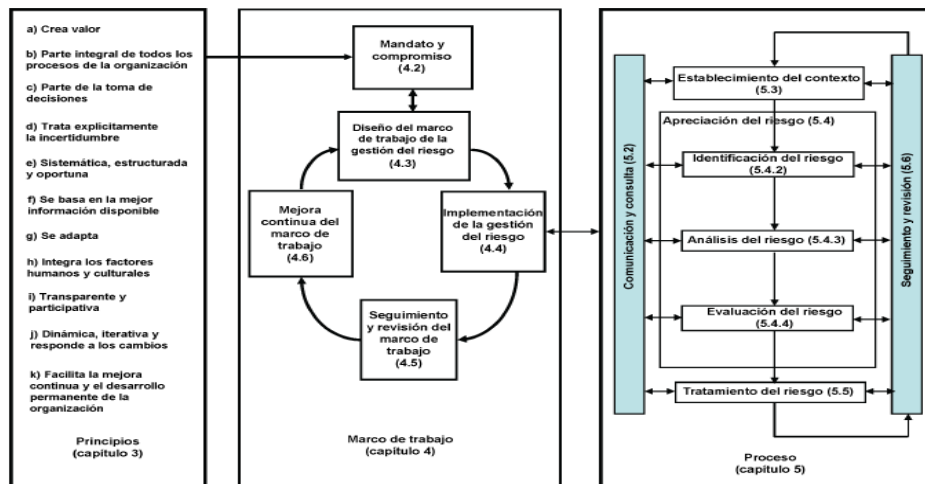
internacional como guía de desarrollo y evaluación que se propone en este caso es la Norma o Guía ISO 31.000 Gestión de Riesgos.

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 N° 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 N° 5. Diagrama de Evaluación de Riesgo de acuerdo a la Norma ISO 31000**

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 N° 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.

La estrategia para enfrentar la amenaza: El Modelo de las 4 Capas



Figura N° 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 para 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 N° 6 se relaciona directamente con la Figura N° 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 N° 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 N° 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.

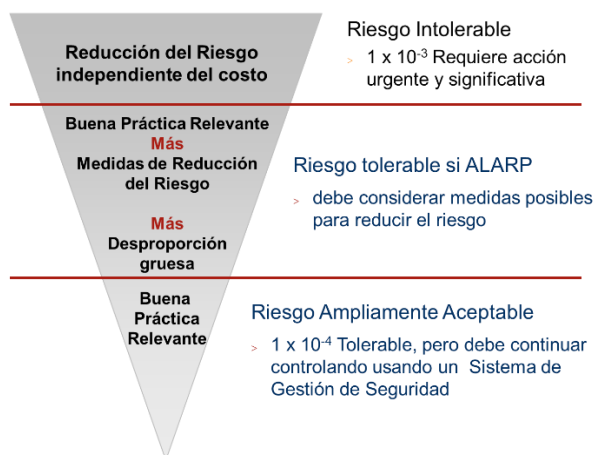
En cuanto a la fase de operación puede surgir la necesidad de establecer los detalles relativos al proceso de producción y los Procedimientos Operacionales, los cuales se pueden desarrollar mediante el empleo del proceso de análisis de riesgos.

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 anterior³³ 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 containerização; 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

Libro de Conferencias Magistrales y Trabajos Libres del XXIV Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Transporte Marítimo e Ingeniería Portuaria COPINAVAL 2015

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
Itaguaí	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
Manaus	53.475	64.035	76.497	66.491	64.146	130.946	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.

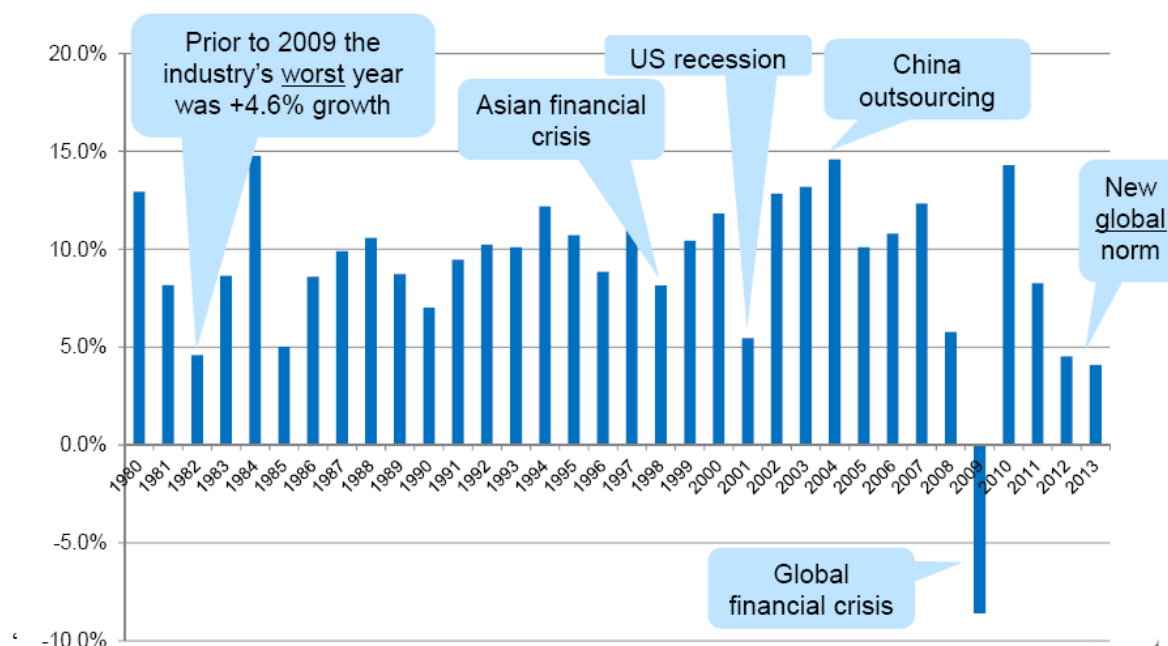


Figura 2 - Evolução histórica do crescimento mundial de movimentação de contêineres

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 108ª 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 containerização 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, conseqüentemente, 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 Maersk 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 “cascadeamento” global de navios nas rotas comerciais existentes e o impacto na infraestrutura e custos dos portos e dos terminais. Clarke (2014) define cascadeamento 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 cascadeamento são aqueles em que os navios estão com alta taxa de utilização; cuja previsão de crescimento foi antecipada ou possuem potência de transshipment. 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 - “Cascadeamento” 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/espço 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 Platforms (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 benefício 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 capítulo 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. DESCRIÇÃO DO MODELO E DIAGNÓSTICO DE AUTOMAÇÃO 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 / Trailer 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 tráfego 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 prática 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 prensados 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

<i>Variáveis</i>	<i>Baixo</i>	<i>Médio</i>	<i>Alto</i>
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.
--	-----------------------------------

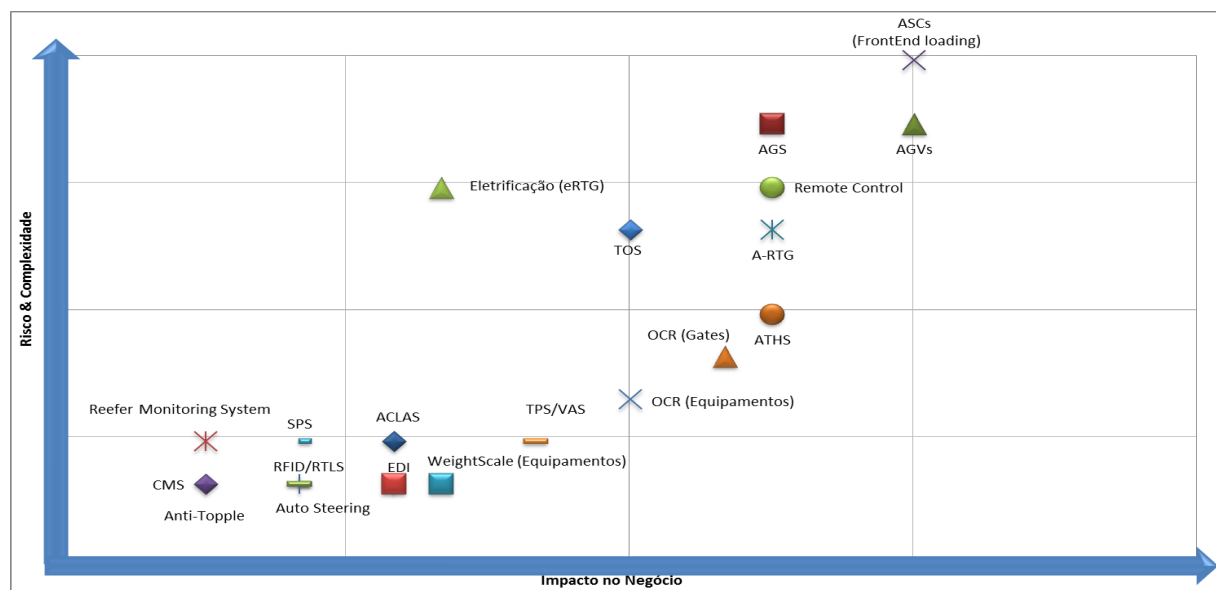
Fonte: Elaborado pelo autor

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 Toopple	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

	<i>BTP</i>	<i>Ecoporto</i>	<i>Embraport</i>	<i>Itapoa</i>	<i>Santos Brasil</i>	<i>TECON Salvador</i>	<i>TECON Rio Grande</i>	<i>TVV</i>
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 RECOMENDAÇÕES

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 horizontal 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 óptima 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 Saga publicada en el B.O. N° 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 abordó, 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. Metodología

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:

$$e_v = \sqrt{\frac{\Phi_m \cdot (\rho_m - \rho_a)}{\Phi_p \cdot (\rho_p - \rho_a)}}$$

$$\frac{\Phi_m}{\Phi_p} = \frac{a_m}{a_p} = e_M$$

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.

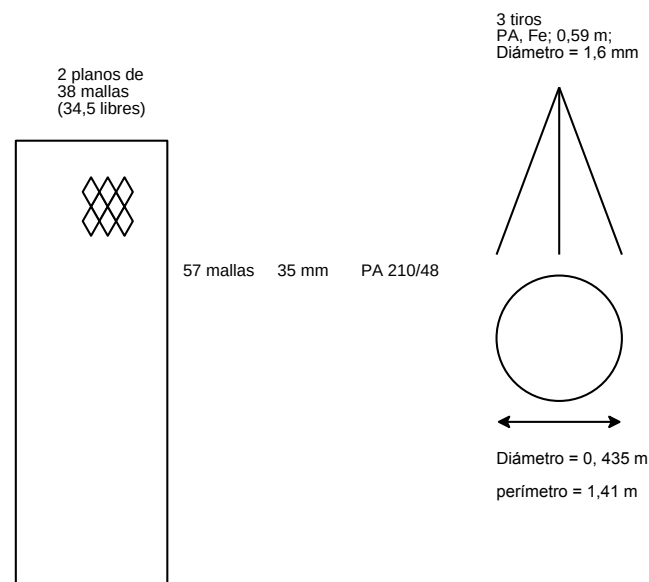


Figura 1: Dimensiones del túnel y copo.

La figura muestra las dimensiones del túnel y copo utilizados, contruidos 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 $\pm 5\%$ 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 (μ_T/μ_L) y se realiza un promedio de los datos obtenidos.

4. Resultados

Las tablas 1 a 3 resumen los valores de μ_T/μ_L en 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 $\mu_T/\mu_L = 1$) fueron encontrados a medida que aumenta la separación entre estrobos y la velocidad; y en la mayoría de los ensayos μ_T/μ_L también 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 $\mu_T/\mu_L = 0,4364$. En las tablas que resumen los valores de μ_T/μ_L solamente 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) n° 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.) N°xxx, 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 41° S para el período comprendido entre el 1° 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°) y la estabilidad dinámica (ED_{30° , ED_{40° , $ED_{30^\circ-40^\circ}$).

Sin embargo existe un criterio que sistemáticamente muestra valores insuficientes, el correspondiente al ángulo donde el brazo de adrizamiento se hace máximo ($\theta_{GZ\text{ MÁX}}$).

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.

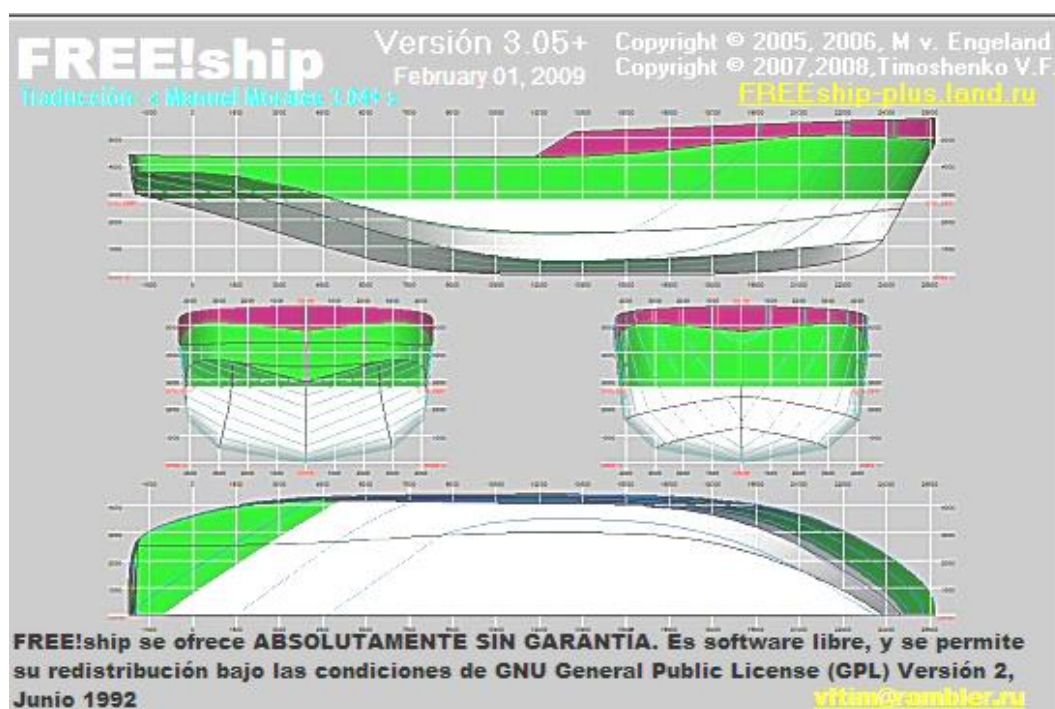


Fig. 1 - Presentación del Software FREE!Ship

Una vez construidos los modelos, se determinaron las curvas hidrostáticas y las curvas cruzadas de cada uno de ellos.

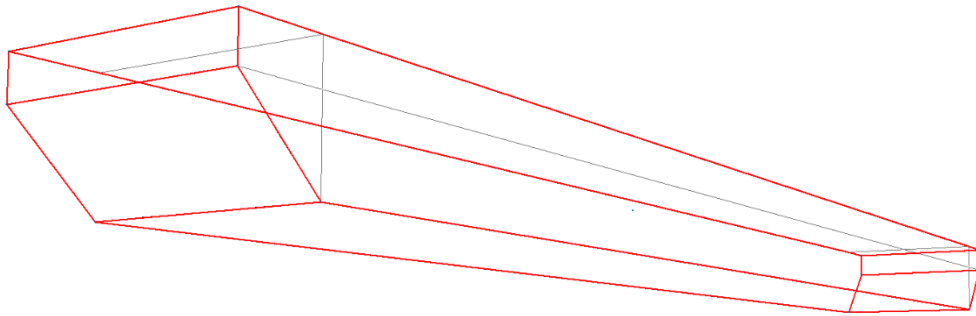


Fig. 2 - Modelo mostrando su estructura de "armadura"

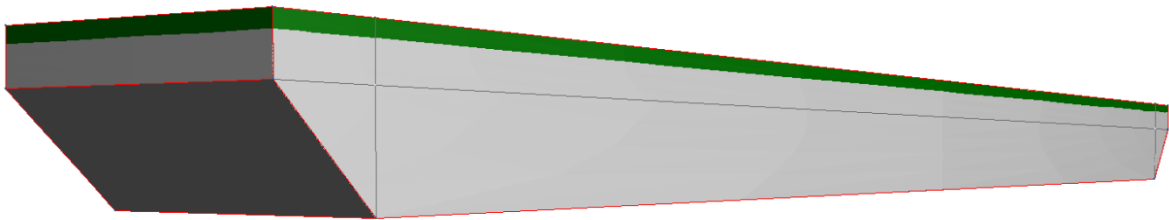


Fig. 3 - Modelo con superficies sombreadas

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)

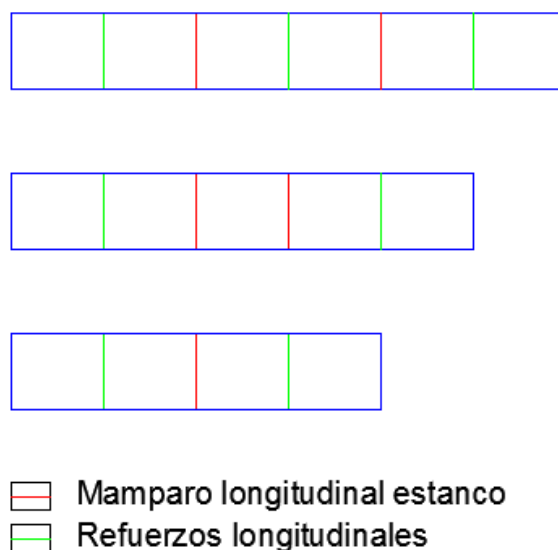


Fig. 4 - Secciones transversales y estructura longitudinal de los pontones según su manga

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

REFUERZOS LONGITUDINALES (VAGRAS)

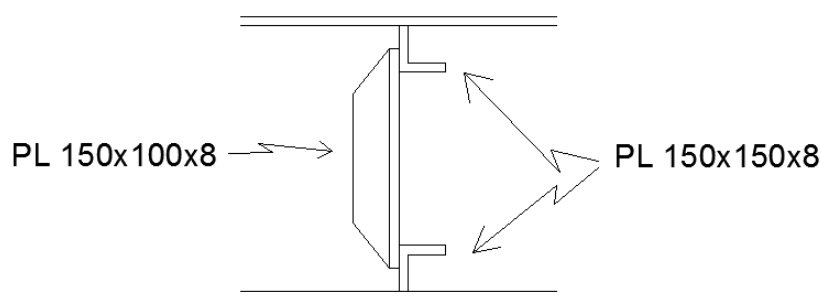


Fig. 5 - Estructura resistente de vagras

Detalle de la estructura transversal utilizada:

Se definieron módulos de seis metros de eslora, en los cuales se encuentran dos bulárcamas y nueve cuadernas, con una luz entre ellas de 500 mm, entre dos mamparos estancos, Fig. 6 y Fig. 7.

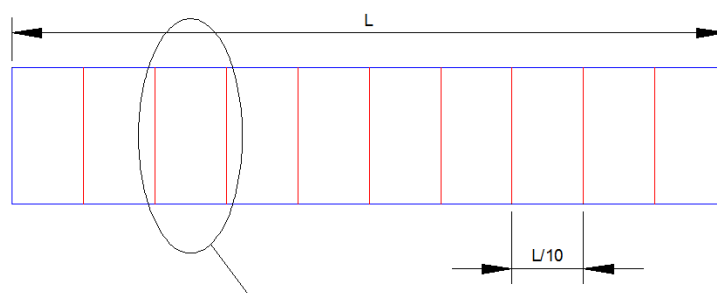


Fig. 6 - Vista de la distribución longitudinal por módulos

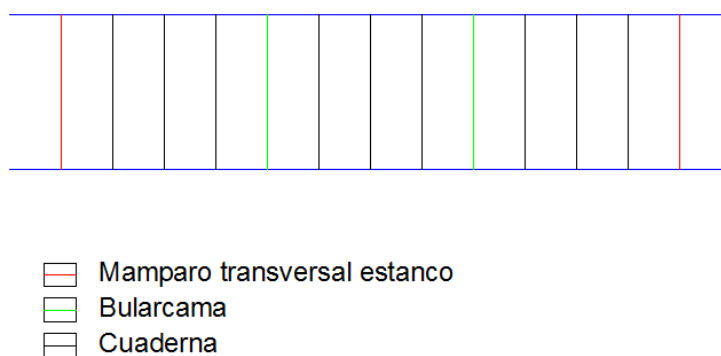


Fig. 7 - Esquema de estructura transversal entre mamparos estancos

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.

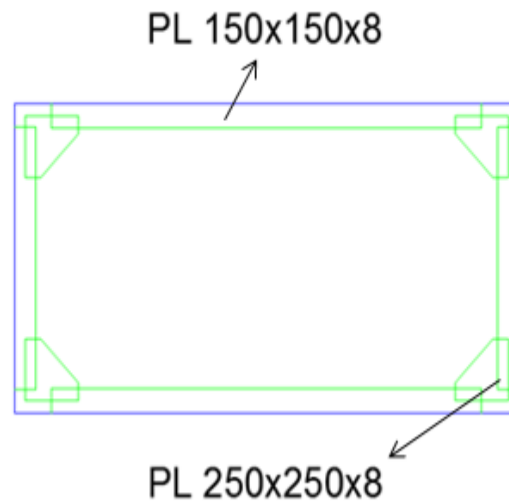


Fig. 8 - Estructura de bulárcamas

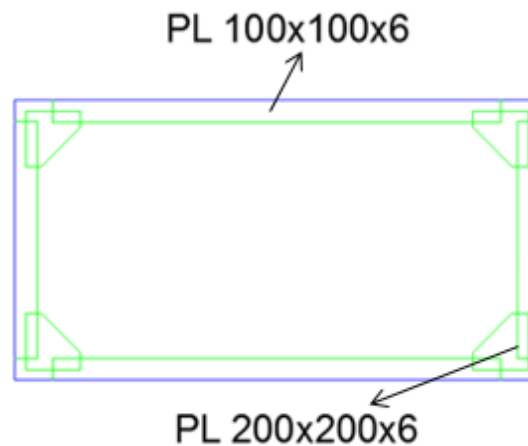


Fig. 9 - Estructura de cuadernas

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:

$$GZ = KN - KG \cdot \sin \theta$$

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 (°)
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 (°)
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 (°)
9	1,17	20,0
10	1,09	23,0
11	0,99	25,0
12	0,83	27,0

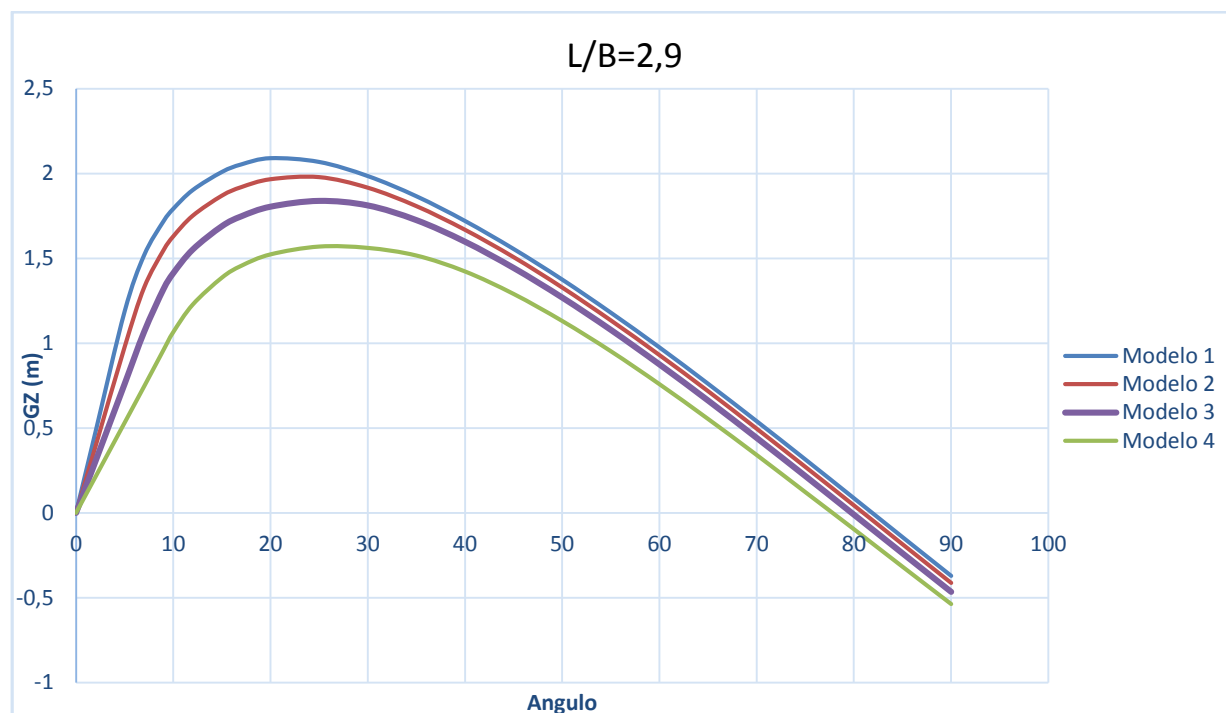


Fig. 10 - Curvas de estabilidad para los modelos 1, 2, 3 y 4 con $L/B = 2.9$

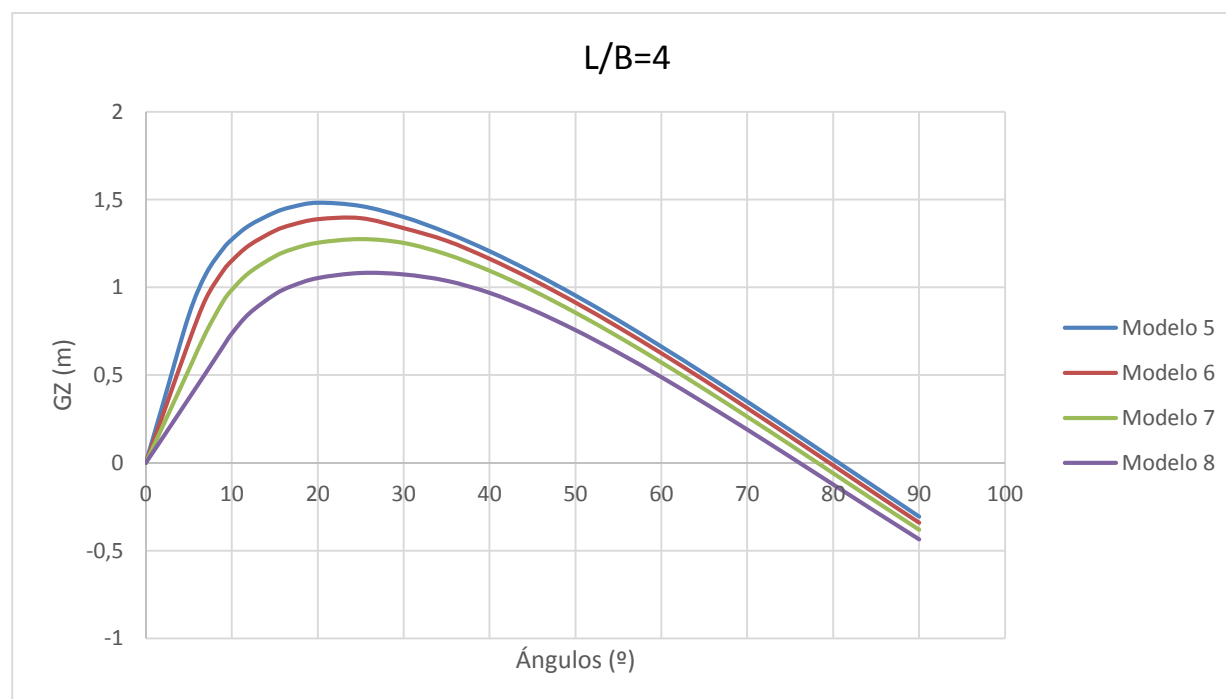


Fig. 11 - Curvas de estabilidad para los modelos 5, 6, 7 y 8 con $L/B = 4.0$

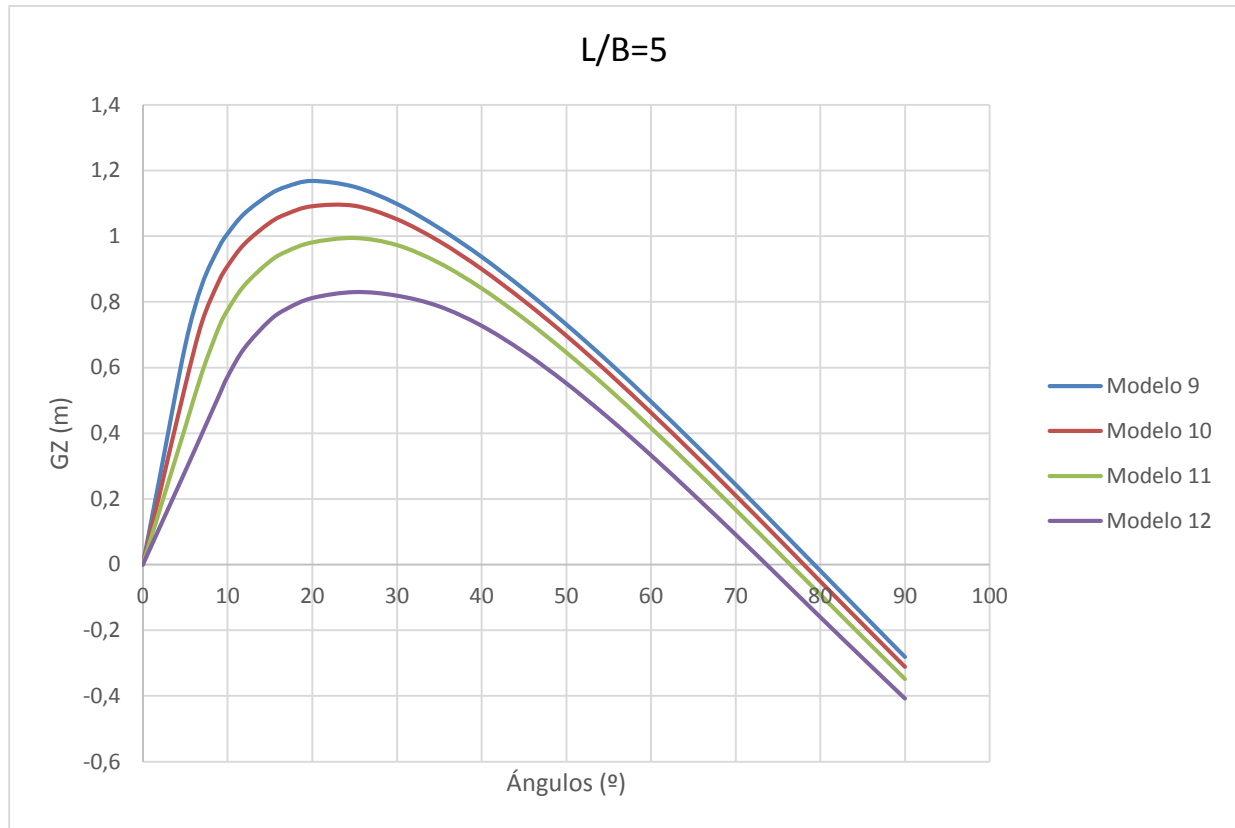


Fig. 12 - Curvas de estabilidad para los modelos 9, 10, 11 y 12 con $L/B = 5.0$

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 (°)
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 (°)
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 (°)
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