

POTENCIALIDADES DE LOS ESTUDIOS DE RIESGOS NÁUTICOS BASADO EN ANÁLISIS PROBABILISTAS DE SEGURIDAD

Lazo Porta, L.¹, Barrera Luque, Z.², Acosta Chipi, F³

¹, ²Empresa GEOCUBA Estudios Marinos, ³Academia Naval “Granma”

¹e-mail: lazoporta76@gmail.com

²e-mail: zuzel@emarinis.geocuba.cu

³e-mail: simu@unicom.co.cu

RESUMEN

La gestión de riesgos constituye un elemento fundamental dentro de los Estudios de Seguridad y Náutica. A nivel internacional se desarrollan importantes avances en cuanto a metodologías y soluciones, que tributan a la efectividad de estos estudios. A partir de investigaciones asociadas al diseño del canal de acceso al Puerto del Mariel, para dar viabilidad operativa a los buques que operaran en la terminal de contenedores allí enclavada, se han desarrollado soluciones innovadoras y creativas, sobre la base de la investigación científica; abordando las problemáticas vinculadas a las simulaciones y riesgos náuticos, desde una nueva perspectiva.

En el presente trabajo se expone, bajo una dimensión panorámica-multifactorial, la implementación de los Análisis Probabilistas de Seguridad en los estudios de riesgos náuticos, derivado del proceso de simulaciones en tiempo rápido y en tiempo real. Se presenta, además un modelo para el cálculo del riesgo de varada dinámico, sobre la base de la entropía de los estados operativos del buque de diseño y las configuraciones de maniobra, modeladas desde la etapa de diseño bajo un enfoque preoperacional-probabilista.

Se exhiben resultados aplicados a proyectos de desarrollo de vías navegables, a nivel nacional, que contribuyen al incremento de la seguridad del buque de proyecto. Se identifican los niveles de riesgo de cada nuevo canal navegable y las estrategias de maniobra diseñadas, bajo criterios de seguridad y riesgo.

Palabras claves: riesgo, maniobra de buques, seguridad, operaciones.

1- INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se exponen resultados relevantes asociado a investigaciones científicas que tributan a Estudios de Seguridad y Náutica, vinculados a importantes inversiones económicas. Por tanto, el objetivo principal del mismo radica en exponer bajo una dimensión panorámica-multifactorial, la implementación de los Análisis Probabilistas de Seguridad en los Estudios de Riesgos Náuticos (ERN), derivado del proceso de simulaciones en tiempo rápido y en tiempo real.

La importancia de las investigaciones realizadas está dada por los aportes científicos a la base de conocimientos del estado del arte, su significación práctica y económica por conceptos de optimización de operaciones y la disminución de costes, vinculado a los proyectos de dragados. Los argumentos que se exponen se limitan a las investigaciones que fusionan las simulaciones náuticas con los Estudios de Riesgos Náuticos (ERN); tomando como aspecto neurálgico la implementación de la metodología de los Análisis Probabilista de Seguridad (APS).

Los Estudios de Seguridad y Náutica (ESN), constituyen análisis e investigaciones de alto impacto por su contribución al ámbito de la ingeniería y gestión portuaria. Nuestro país, en función de lograr avances económicos ha desarrollado y participado en estudios de esta magnitud [1-12]. Cada uno de estos se vinculan a trascendentales inversiones económicas que tiene como elemento común, las maniobras de buques en áreas de aproximación a puertos y canales de acceso a bahías, hasta su interacción con las instalaciones portuarias y obras hidrotécnicas de atraque. Sobresale de estas investigaciones náuticas, los estudios realizados para el diseño y optimización del canal de acceso al Puerto del Mariel, hasta la Terminal de Contenedores Mariel (TCM). Los Estudios de Seguridad y Náutica para la ejecución de esta colosal obra, demandó varias investigaciones, divididos según los avances y etapas de la ejecución. Se destacan los asociados a las simulaciones náuticas que tributan al Proyecto de Dragado [7] y los Estudios de Riesgos Náuticos (ERN) [4], [5]; en correspondencia al alcance de este artículo.

Más recientemente, otro estudio que demandó un Estudio de Seguridad y Náutica integral fue el asociado al proyecto de dragado de un nuevo canal de acceso en la Ensenada de Cajimaya, Bahía

de Nipe para las maniobras de buques tanques hasta el sitio de atraque, en una obra de futura construcción en Felton. El Estudio de Riesgos Náuticos para este proyecto tuvo como aspecto significativo la implementación de un modelo probabilista para la determinación del riesgo de varada dinámico, aporte científico de una tesis doctoral [13]. Este modelo contribuyó a la optimización operativas de las maniobras del buque de proyecto (Buque Tanque Clase Panamax) y del nuevo canal de acceso diseñado, aplicable por su versatilidad a obras de mayor envergadura y buques de proyectos de mayores dimensiones. La efectividad del modelo basa su eficacia, en la conjugación de los Análisis Probabilista de Seguridad (APS) con la entropía de los estados operativos, aplicado a las complejas maniobras de un buque tanque en su tránsito por un nuevo canal proyectado, respecto a sus dimensiones.

Los resultados aplicados significan potencialidades novedosas, en esta área del conocimiento, la cual requirió del análisis crítico de diversas fuentes consultadas, sustentadas en un enfoque holístico mixto [14]. Se presta, especial, atención a los Análisis Cuantitativos del Riesgo (Quantitative Risk Assessment, QRA) vinculados a investigación de accidentes en las vías navegables restringidas. Se analiza la sinergia pertinente de técnicas, métodos, aproximaciones y conceptos tanto cuantitativos y cualitativos expuestas en investigaciones de impacto internacional [15], eventos científicos [16-19] y documentos normativos, en el ámbito marítimo, de instituciones líderes a nivel mundial para este tipo de estudio [20-22].

Para implementar los riesgos náuticos como parte de los Estudio de Seguridad y Náutica, se requiere validar, de forma eficaz, la vía navegable a través de un proceso de simulaciones náuticas asociadas a la maniobrabilidad del buque. En este sentido la primera herramienta utilizada fue el modelo con autopiloto “SHIPMA” “SHIP MANoeuvering” (Modelo Numérico de Maniobra de Buques con Autopiloto), también conocido como Simulador de Maniobra en Tiempo Rápido “Fast Time Simulator”. Esta herramienta de cálculo numérico tributa a la fase experimental definiendo la trayectoria de los buques y las maniobras conjuntas buque de proyecto – remolcadores y su optimización operativa, lo cual se conjuga posteriormente con las simulaciones, en tiempo real.

2- MATERIALES Y MÉTODOS

Los Estudios de Riesgos Náuticos (ERN) desarrollados, son coherentes con las normativas internacionales, tales como el proceso de estudio y análisis de riesgo aplicado a la seguridad, definido en ISO/IEC 51: 2014 [23].

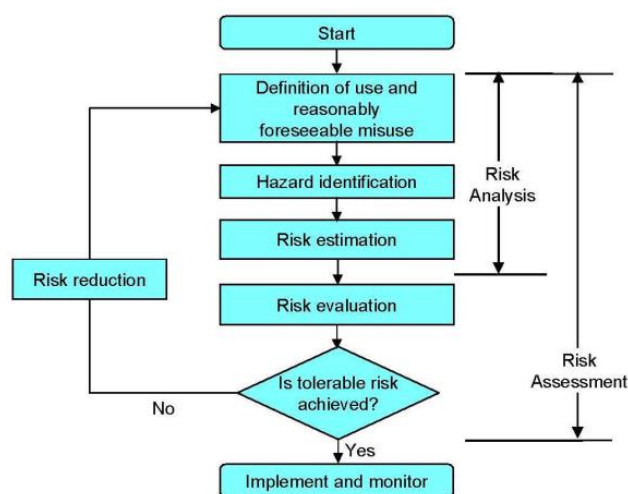


Figura 1. Proceso Iterativo de análisis y reducción de riesgos.

La particularidad, novedad y potencialidad de los análisis y evaluación de riesgos en los modelos desarrollados, es que los mismos utilizan como núcleo central de análisis y cálculo los Análisis Probabilista de Seguridad (APS). El motor de cálculo se soporta en la teoría de sistemas complejos, análisis estadístico de los fallos de componentes, sistemas y álgebra de Boole; aplicadas a las operaciones complejas de las maniobras de buques en su tránsito en aguas restringidas. Su materialización está soportada en códigos de seguridad dinámicos cuya teoría, concepción y desarrollo se visualizan en la teoría de **Monitores de Riesgos** como herramientas de alto impacto para determinar la seguridad desde una etapa preoperacional; es decir desde la etapa de diseño conceptual, hasta la fase de operación. Ello se logra por la reconfiguración operativa de los escenarios, según las particularidades demandada por cada proyecto de dragado.

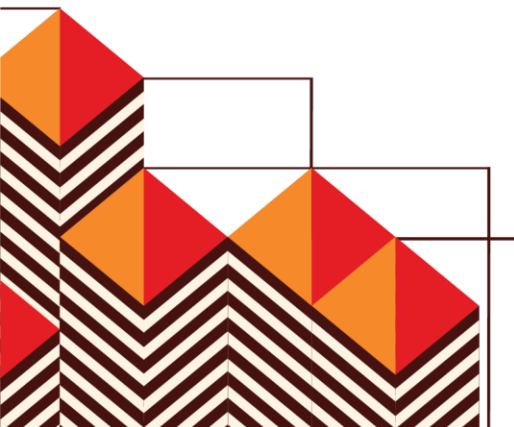
La implementación de los estudios conjuntos del Modelo Numérico de Maniobra de Buques con Autopiloto (SHIPMA) versión 7.4.2, el Simulador Marítimo Avanzado “Full Mission”

NTPro-4000 versión 4.62 y la integración del nuevo sistema desarrollado: Sistema de Evaluación Dinámica de Seguridad (SEDS) del Buque; permite a través de un enfoque dialéctico – tecnológico pasar a un nuevo escalón en el desarrollo de la temática de los Análisis Probabilistas de Seguridad (APS) en el ámbito marítimo.

Este nuevo sistema comprende la evaluación dinámica del riesgo, a través de la creación y desarrollo de un Código de nueva generación, evalúa las condiciones sometidas al proceso de análisis y evaluación en tiempo real “Duplicado”, pues se alimenta de datos del Simulador de Maniobras Avanzado NTPro-4000 (SMA NTPro-4000), en tiempo real y de igual manera se transfieren datos, en tiempo real para otro sistema externo que evalúa las maniobras de un buque en su tránsito por un canal de aproximación a puerto, bajo criterios de confiabilidad y riesgo.

Esta concepción, relaciona el enfoque entrópico de los Estados Operativos y las especificidades de la modelación de los árboles de fallos y árboles de eventos para Monitores de Riesgos consejeros hablados (MRch). La evolución de los sistemas consejeros tutoriales, basados en riesgo y las nuevas aplicaciones de APS bajo este nuevo enfoque, constituyen elementos novedosos para este tipo de investigaciones y Estudios de Seguridad y Náutica (ESN).

La metodología del APS Dinámico, se utiliza en la concepción, diseño y creación de nuevos indicadores probabilistas para la Evaluación Dinámica de Seguridad (EDS) del buque donde se caracteriza la seguridad de las maniobras de este en su tránsito por el canal. Para cumplimentar estas pautas; se desarrolló el Código MRch-VarVN (Monitor de Riesgo consejero hablado para Varadas en Vías Navegables).



2.1- Integración conceptual de la seguridad y riesgo asociada al modelo probabilista de varada.

Estudio de Caso: Nuevo Canal Dragado en la Ensenada de Cajimaya, Bahía de Nipe.

Buque de Proyecto: Buque Tanque Clase “Panamax”

El proceso de integración conceptual del enfoque desarrollado para el análisis de la seguridad y riesgo se compone por cinco etapas, donde cada análisis específico se interrelaciona en una expresión matemática parametrizada. En la figura 2 se muestra la integración conceptual de la seguridad y riesgo asociado al Modelo Probabilista desarrollado.



Figura 2. Integración conceptual de la Seguridad y Riesgo propuesto.

ETAPAS DEL SISTEMA DE INTEGRACIÓN CONCEPTUAL

A: Buque de proyecto (Tipo)

B: Escenario de maniobra (Incluye Clima Marítimo)

C: Normas y recomendaciones internacionales (PIANC, 2014) / (ROM: 3.1-99)

D: Factores humanos en los procesos (Diseño, Simulación y Operaciones)

E: Remolcadores

El Código MRch-VarVN consta de nuevos atributos probabilista donde destaca el **Sistema de Evaluación Dinámica de la Seguridad del Buque (SEDS)**, módulo principal del modelo probabilista. En este sistema se realiza el cálculo multiparamétrico del Riesgo de Varada Dinámico (R_{VD}). Para realizar este cálculo se la personalizó la expresión global del riesgo:

$$R = \sum_{i=0}^n F * C \quad (1)$$

Dónde:

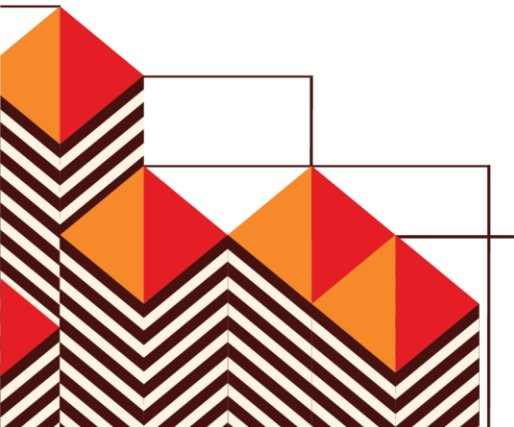
R: Es el riesgo expresado en consecuencias por unidad de tiempo;

F: Es la frecuencia de ocurrencia del evento al que se asocia el riesgo, expresada en eventos por unidad de tiempo;

C: Es la magnitud del evento, expresada en consecuencias por evento.

Bajo este enfoque se diseñó la expresión para el cálculo de Riesgo de Varada Dinámico (R_{VD}). La dimensión dinámica con un alcance multiparamétrico expansivo se logra al ponderar las probabilidades de las funciones en una expresión única, cuya operacionalización matemática, logra el intercepto de funciones a partir de las combinaciones de criterios de riesgo y los factores (Datos de Entrada) al sistema evaluados en la dimensión de probabilidad de fallos. En tal sentido se diseñó la expresión (2) para el cálculo del Riesgo de Varada Dinámico (R_{VD}), soportadas en aplicaciones de Análisis Probabilista de Seguridad en una herramienta de cálculo avanzada (Código MRch-VarVN).

$$R_{VD} = \prod_{I=1}^N \left(1 - ((1 - P_{FSR}) * (1 - P_{EH}) * (1 - P_{EPN}) * (1 - P_{MAN}) * (1 - P_{CM}) * (1 - P_{EDC})) \right) * C \quad (2)$$



Dónde:

- P_{FSR} Probabilidad de Fallo del Sistema de Remolque
- P_{EH} Probabilidad del Error Humano
- P_{EPN} Probabilidad de Error de los Procedimientos Náuticos
- P_{MAN} Probabilidad de la MANiobra
- P_{CM} Probabilidad del Clima Marítimo
- P_{EDC} Probabilidad Efectividad del Diseño del Canal
- C** Consecuencias

3- RESULTADOS

3.1- Diseño del Modelo Probabilista para determinar el Riesgo de Varada Dinámico

Uno de los principales resultados para el Estudio de Riesgo utilizando los APS, es diseño del *Modelo Probabilista para la Determinación del Riesgo de Varada Dinámico* que tiene como elemento de partida la fusión técnica operativa, bajo un enfoque científico, de la Integración Conceptual de los Criterios de Seguridad y Riesgo, abordados. En la figura 3 se expone el diagrama funcional de los diferentes elementos que componen el Modelo Probabilista Propuesto.

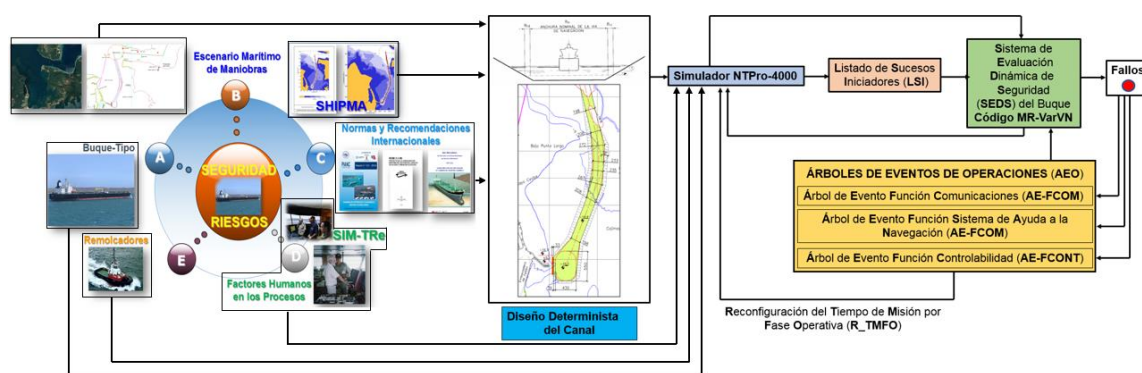


Figura 3. Diagrama Funcional del Modelo Probabilista Simplificado para Determinar el Riesgo de Varada Dinámico (R_{VD}).

En el Diagrama Funcional del Modelo Probabilista para Determinar el Riesgo de Varada Dinámico (R_{VD}), las etapas A, B y C tributan al Diseño Determinista del Canal. El algoritmo general del modelo probabilista tiene concebido varios elementos como requerimiento de entrada para implementar en el modelo SHIPMA y en el SMA NTPro-4000, el diseño en planta del canal de acceso hasta el muelle. En la figura 4 se muestran los datos de entrada y los de salida. En el caso de los datos de salida que entrega el modelo se desglosan en dos zonas: Canal de Entrada y Dársena de Maniobra.

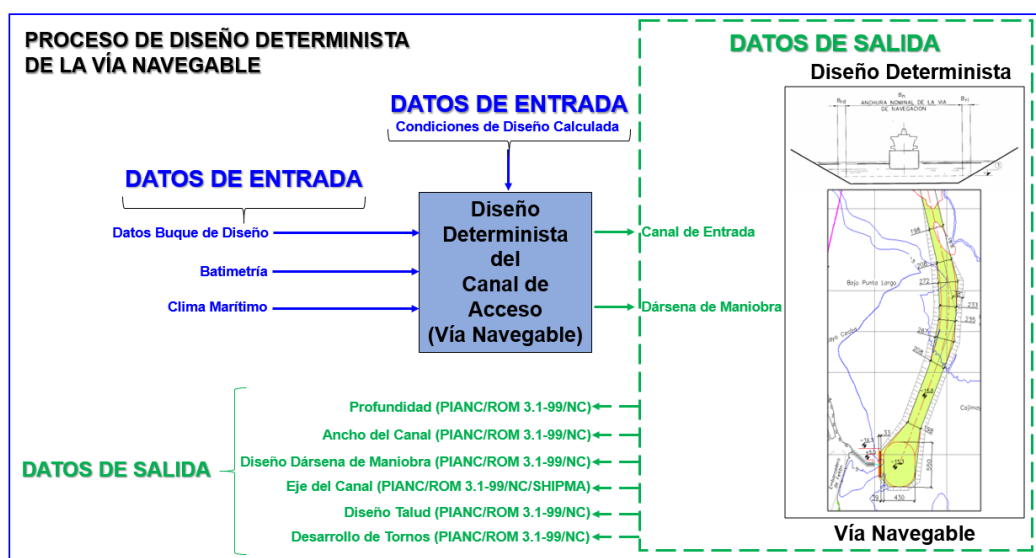
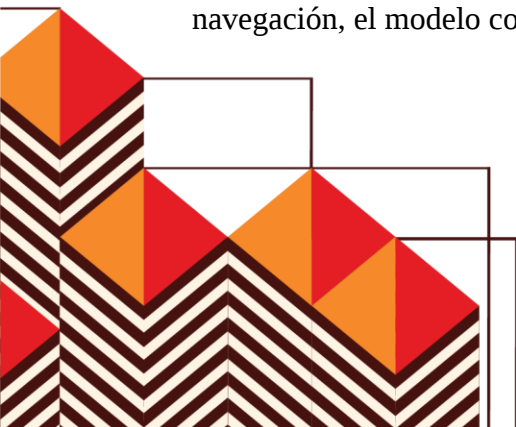


Figura 4. Proceso de Diseño Determinista de la Vía Navegable.

El modelo probabilista, pondera con nivel máximo de importancia el valor del ancho nominal de la vía de navegación, debido a que es el dato que contrasta con la maniobra del buque en tránsito para determinar el “Criterio de Aceptabilidad” a través del Algoritmo de Cálculo de los Umbrales de Aproximación de la Maniobra.

Para determinar el nivel de aceptabilidad de la maniobra del buque en tránsito por el canal de navegación, el modelo considera dos momentos trascendentales.



El primer momento es la **viabilidad náutica y validación del área de navegación** a través del estudio desarrollado con el modelo numérico de maniobra de buques con autopiloto (SHIPMA) y el segundo momento es el **proceso de Simulación utilizando Simulador Marítimo Avanzado de maniobra de buques “Full Mission” NTPro-4000**.

En la figura 5 se expone el proceso de modelación utilizando la herramienta de cálculo SHIPMA. En este modelo se le adiciona los Autopilotos, los remolcadores, la Configuración de Remolque, la trayectoria de referencia definida en el diseño determinista y los procedimientos náuticos para definir la maniobra más efectiva

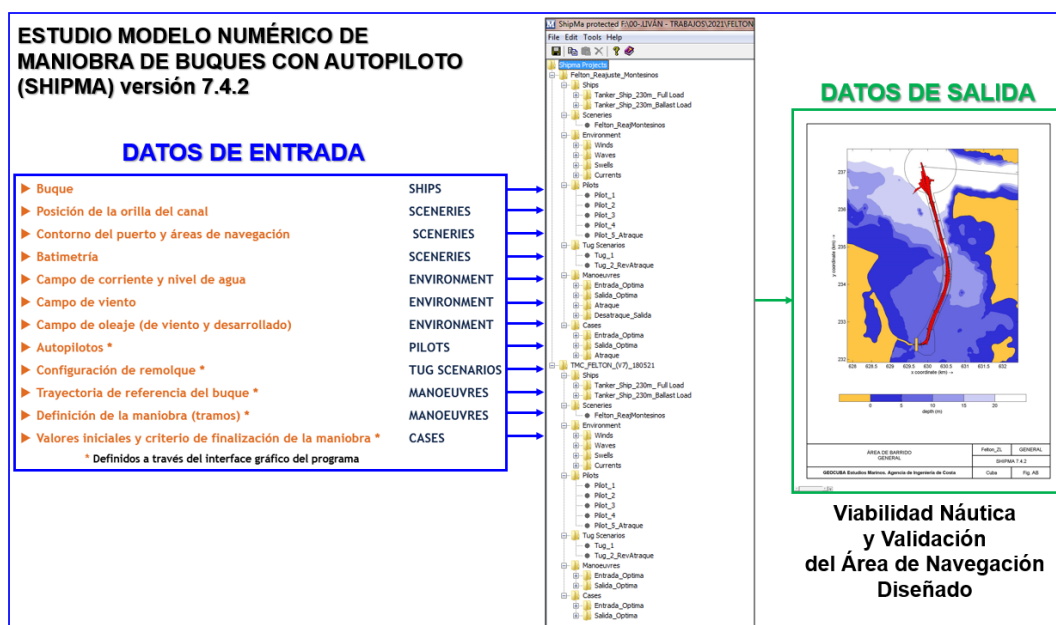
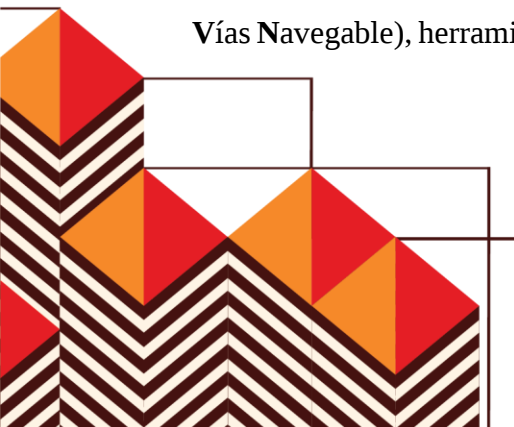


Figura 5. Proceso de modelación utilizando la herramienta de cálculo SHIPMA.

En la figura 6 se presenta la integración en el modelo probabilista el proceso de Simulación, en Tiempo Real y como este intercambia dinámicamente a través de una interfase de acoplamiento con el Código MRch-VarVN (**M**onitor de **R**iesgo consejero **h**ablado para el cálculo de **V**arada en **V**ías Navegable), herramienta diseñada para calcular de manera “On/Off-line” el Riesgo Dinámico.



A continuación, se presentan las variables de entrada al modelo:

- Proceso de Virtualización de los Escenarios
- Diseño Determinista Vía Navegable (Validado en SHIPMA)
- Buque Tipo Seleccionado (Estudio de Correlación)
- Remolcadores Seleccionado (Estudio de Correlación)
- Procedimientos Náuticos
- Factor Humano (Práctico, Instructores, Timonel)
- Clima Marítimo

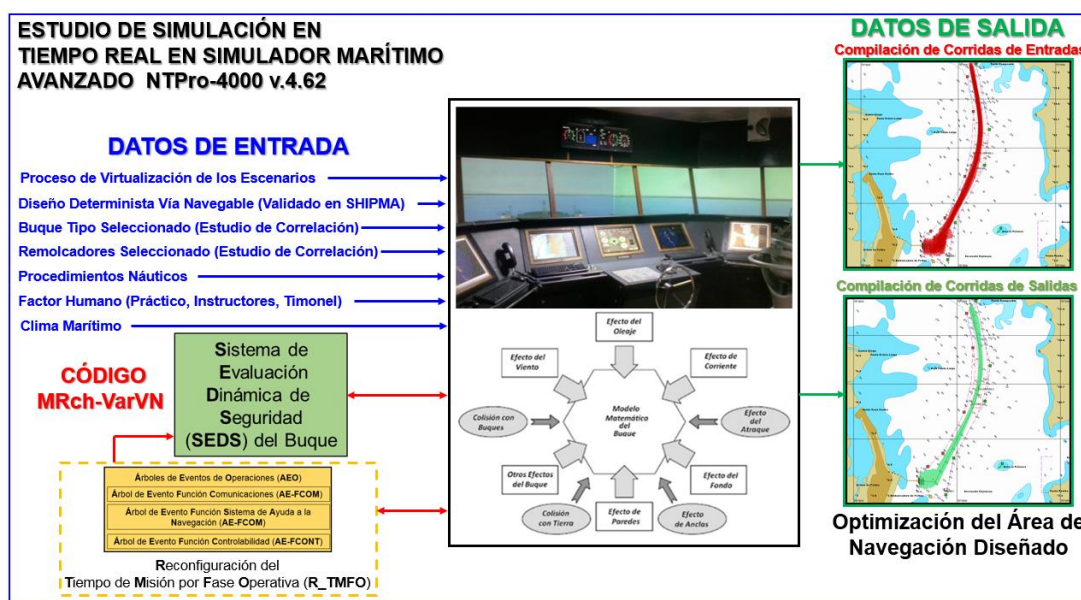


Figura 6. Proceso de Simulación, en Tiempo Real utilizando Simulador de Maniobra NTPro-4000.

Este proceso está caracterizado por el elevado nivel de integración del modelo matemático del buque tipo, durante el proceso de simulación. La virtualización del escenario marítimo constituye un elemento fundamental unido a la inserción digital del diseño determinista de la vía navegable, validada con anterioridad en SHIPMA.

4- DISCUSIÓN

A partir de la composición y desarrollo del modelo probabilista para evaluar dinámicamente el estado operativo y de funcionamiento del sistema, el Código MRch-VarVN evalúa, la precisión de los datos de entrada con relación a las variables de entrada asociada a las corridas de simulación. A través de reconocimiento de patrones de las maniobras del buque respecto al eje del canal y los límites extremos, se verifica el funcionamiento del módulo de adquisición y procesamiento de los datos provenientes de las corridas de simulación. Una vez iniciada la maniobra a través del canal de acceso, el modelo contempla los algoritmos de cálculos y representación de la información que interactúan imprimiéndoles la dinámica – probabilista al sistema.

Este modelo y los resultados intrínsecos al mismo evidencian el salto en la base de conocimientos, en este ámbito de aplicación. Estos resultados constituyen un aspecto novedoso dentro de los Análisis de Riesgos Náuticos, ya que a través de los Análisis Probabilistas de Seguridad (APS) y la entropía de los estados operativos del buque en maniobra; es posible determinar el Riesgo de Varada Dinámico (R_{VD}) desde una nueva dimensión, con un elevado nivel de certeza.

5- CONCLUSIONES

1. El modelo probabilista de seguridad preoperacional para determinar los patrones de maniobra del buque, a partir de la evaluación de los Estados Operativos de las funciones de seguridad, identificadas, permite obtener un grupo de indicadores para evaluar, de manera integral, el Riesgo de Varada Dinámico del buque en tránsito por el canal que se analiza.



2. Se logra desarrollar un algoritmo que trabaja, en tiempo real, para el Sistema de Evaluación Dinámico de la Seguridad (SEDS), acoplados al SMA NTPro-4000 que permite el reconocimiento de patrones de maniobra a partir de un listado de Sucesos Iniciadores de Avería, donde por primera vez se fusionan la teoría entropía de Estados Operativos, la teoría de conjuntos con aplicaciones de confiabilidad y riesgo en un Árbol de Evento Complejo, a partir de la implementación de los Análisis Probabilistas de Seguridad en los Estudios de Riesgos Náuticos (ERN) y las simulaciones náuticas.

6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MARIN/Deltares. "Safety and Nautical Study for the Access Channel of Cienfuegos Port to Receive LNG Carrier. Phase 3: Real-Time simulations". Draft Report. Report No. 23709-1-MSCN/1. The Netherlands. December 2010. 86 pp.
2. MARIN. "Safety and Nautical Study for the Access Channel of Cienfuegos Port to Receive LNG Carrier. Phase 4: Risk Study regarding the handling of large LNG carriers". Draft Report. Report No. 23709.602/1. The Netherlands. December 2010. 47 pp.
3. Lazo Porta, L.; Delgado Viera, F.; Acosta Chipi, F. "Informe determinístico final del Estudio de Seguridad y Náutica del Puerto del Mariel". CSM doc-i.006. Centro de Simuladores Marítimos (CSM). Academia Naval "Granma". La Habana, Cuba. Marzo 2013. 57pp.
4. Lazo Porta, L.; Delgado Viera, F. "Informe sobre la Evaluación de riesgos de las maniobras ejecutadas durante las corridas de simulación en tiempo real del buque virtual Container Ship 17 (MSC DANIELA), aplicando, a través del canal de aproximación al Puerto del Mariel.". Centro de Simuladores Marítimos (CSM). Academia Naval "Granma". La Habana, Cuba. Noviembre 2014. 169 pp.
5. Lazo Porta, L.; Delgado Viera, F. "Evaluación de riesgos de las maniobras ejecutadas durante las corridas de simulación en tiempo real del buque virtual Container Ship 5 (MSC ELA), a través del canal de aproximación al Puerto del Mariel". Centro de Simuladores Marítimos (CSM). Academia Naval "Granma". La Habana, Cuba. Julio 2015. 125 pp.

6. SIPORT21/BEROT-GORRIKO. “Análisis de Viabilidad de la Instalación de una Terminal Marítima de Importación de GNL (Bahía de Matanzas). Análisis Cuantitativo de Riesgos Náuticos e Industriales (ACR)”. Rev. A. Código 2015054. Madrid, España. Diciembre 2015. 86 pp.
7. SIPORT21. “Estudio de Simulación de Maniobras de Grandes Buques post-Panamax de 300 y 335 m de eslora para la Nueva Terminal de Contenedores de Mariel”. Informe Final – Rev. 00. Código 2016035. Madrid, España. Noviembre 2017. 76 pp.
8. SIPORT21. “Estudio de Viabilidad para la Instalación de una Termoeléctrica Flotante en la Bahía del Mariel. Fase 1. Afecciones Náuticas”. Informe Final – Rev. 00. Código 2018163. Madrid, España. Diciembre 2018. 58 pp.
9. SIPORT21. “Estudio de Maniobrabilidad mediante Simulador en Tiempo Real para la Nueva Terminal de Cruceros de La Habana”. Informe Final – Rev. 00. Código 2019037. Madrid, España. Agosto 2019. 60 pp.
10. Lazo Porta, L.; Barrera Luque, Z.; Rondón Yero, H.; Chirino Núñez A. L. “Estudio De Seguridad y Náutica para la construcción de la nueva Terminal Marítima de Combustible en Felton. Fase 1: Estudio de simulación de Maniobra de Buques en Tiempo Rápido (ESMB-TRa) con SHIPMA. Empresa Geocuba Estudios Marinos. Agencia de Ingeniería de Costas. La Habana, Cuba. Marzo 2021. 183 pp.
11. Lazo Porta, L.; Barrera Luque, Z.; Acosta Chipi, F.; Rondón Yero, H. “Estudio de Seguridad y Náutica para la construcción de la nueva Terminal Marítima de Combustible en Felton. Estudio de Maniobrabilidad mediante Simulación de Maniobra de Buques en Tiempo Real (ESMB-TRe) (NTPro-4000 v4.62). Empresa Geocuba Estudios Marinos. Agencia de Ingeniería de Costas. La Habana, Cuba. Noviembre 2021. 147 pp.
12. Lazo Porta, L.; Barrera Luque, Z.; Rondón Yero, H. “Estudio de Seguridad y Náutica para la construcción de la nueva Terminal Marítima de Combustible en Felton. Estudio de Riesgos Náuticos (ERN) asociado a las maniobras del buque en su tránsito por el nuevo canal dragado Ensenada de Cajimaya. Bahía de Nipe. Empresa Geocuba Estudios Marinos. Agencia de Ingeniería de Costas. La Habana, Cuba. Diciembre 2021. 111 pp.
13. Acosta Chipi, F. “Modelo probabilista para la determinación del riesgo de varada dinámico”. Tutores: Dr.C. Liván Lazo Porta, Dr.C. Jesús Salomón Llanes. Tesis de doctorado. Academia Naval “Granma”. La Habana, Cuba. 2022.

14. Carhuanchu, I.M., Nolasco, F.A., Monteverde, L.S., Guerrero M.A. y Casana, K.M. “Metodología para la investigación holística”. Guayaquil, Ecuador. Editorial UIDE. Primera Edición. 2019. 16 pp. ISBN: 978-9942-36-316-9
15. Redondo, P. “Frequency modelling by means of manoeuvres numerical models”. JCSS Workshop on Ship Collision Risk Assessment. Kongens Lyngby. Denmark. 2020.
16. Gilardoni, E. “Condiciones restrictivas de la maniobra en zonas de canales”. Webinar: Maniobras de Buques en canales de alto riesgo. Propuesta de soluciones desde el diseño. Asociación Nacional de Prácticos de Colombia (ANPRA). Bogotá, Colombia. 2021.
17. Iribarren, J. R. “Recomendaciones PIANC WG121 y ROM 3.1-99. Una visión ampliada”. Webinar: Maniobras de Buques en canales de alto riesgo. Propuesta de soluciones desde el diseño. Asociación Nacional de Prácticos de Colombia (ANPRA). Bogotá, Colombia. 2021.
18. Atienza, R. “Diseño de canales de gran complejidad. Necesidad de asesoría náutica”. Webinar: Maniobras de Buques en canales de alto riesgo. Propuesta de soluciones desde el diseño. Asociación Nacional de Prácticos de Colombia (ANPRA). Bogotá, Colombia. 2021.
19. Iribarren, J. R. “Predicción operativa portuaria para reforzar la eficiencia y seguridad: Simulación hacia el gemelo digital”. Seminario Virtual: Seguridad Integral Marítima. Autoridad Marítima Colombiana. Dirección General Marítima. Bogotá, Colombia. 2022.
20. IALA-AISM. “Directriz AISM. G1123 El uso del programa de valoración del riesgo en las vías navegables (IWRAP MKII)”. IALA-AISM. Edición 1.0. Saint Germain en Laye. France. 2017.
21. IALA-AISM. “Directriz AISM. G1124 El uso de la herramienta de valoración de la seguridad de los puertos y las vías navegables (PAWSA MKII)”. IALA-AISM. Edición 1.0. Saint Germain en Laye. France. 2017.
22. IALA-AISM. “Directriz AISM. G1138 El uso del método simplificado de los riesgos de la AISM (SIRA)”. IALA-AISM. Edición 1.0. Saint Germain en Laye. France. 2017.
23. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. "Safety aspects- Guidelines for their inclusion in standards". *ISO/IEC GUIDE 51:2014 (E)* 8 pp. ISO/IEC Office. Geneva, Switzerland. 2014.

