

# DERROTERO



REVISTA DE LA CIENCIA Y LA INVESTIGACIÓN - ESCUELA NAVAL DE CADETES "ALMIRANTE PADILLA"  
ESCUELA NAVAL DE CADETES "ALMIRANTE PADILLA" - SCIENCE AND RESEARCH JOURNAL

ISSN 2027-0658 - Revista Científica Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla" - Volumen 9, Número 9, Año 2015

## Presentación

La Revista Derrotero es una publicación editada anualmente por la Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla" desde el año 2008. Derrotero es un medio de divulgación que está al alcance de la comunidad académica y, en general, al público interesado en la investigación, innovación y desarrollo de la industria naval nacional e internacional. Todos los artículos se someten a revisión por pares académicos con amplia experiencia sobre las siguientes temáticas: Ingeniería Naval, Administración Marítima, Oceanografía Física, Ciencias Navales y Náuticas, Ciencias Básicas y Geopolítica.

## Presentation

Derrotero Science and Research Journal is annually edited by the Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla" since 2008. Derrotero is a disclosure media available to academic community and to the public interested in research, innovation and development of national and international naval industry. All articles are reviewed by academic peers with extensive experience on the following topics: Naval Engineering, Maritime Administration, Physical Oceanography, Naval and Nautical Sciences, Basic Sciences and Geopolitics.

---

## DIRECTIVAS

### DIRECTOR ESCUELA NAVAL

Contralmirante Antonio José Martínez Olmos

### SUBDIRECTOR ESCUELA NAVAL

Capitán de Navío Juan Camilo Forero Hauzeur

### DECANO ACADÉMICO ESCUELA NAVAL

Capitán de Navío Rafael Ricardo Torres Parra, PhD

### DIRECTOR CICEN / JEFE EDITOR

Capitán de Fragata Elkin Fernando Mejía Chaparro,  
M.Sc.

## COMITÉ EDITORIAL

**Capitán de Navío Rafael Ricardo Torres Parra,  
PhD**

Decano Académico Escuela Naval

**Capitán de Fragata José María Riola Rodríguez,  
PhD**

Universidad Politécnica de Madrid, España

**Diofanor Acevedo Correa, PhD**

Universidad de Cartagena

**Marco Salas Inzunza, PhD**

Universidad Austral de Chile

**Marco Sanjuán Mejía, PhD**

Universidad del Norte

**Adriana Puello Alcázar, M.Sc.**

Universidad de Cartagena

**Orlando Zapateiro Altamiranda, M. Sc.**

Líder Grupo de Inv. LOGER Escuela Naval

**Lina Suárez Téllez, M.Sc.**

Cotecmar

## COMITÉ CIENTÍFICO

**Juan Antonio Contreras Montes, PhD**

Líder Grupo de Inv. GCCDN Escuela Naval

**Eduardo Posada Zamudio, PhD**

Universidad Antonio de Nebrija

**Mauro Antonio Maza Chamorro, PhD**

Universidad Carolina del Sur

**Juan Carlos Robledo Fernández, PhD**

Universidad Tecnológica de Bolívar

**Paola Amar, PhD**

Universidad Simón Bolívar, Barranquilla

**Jaime Eduardo Gonzáles Díaz, M.Sc.**

Universidad del Magdalena

**Capitán de Navío (RA) Benito Mayol Carbonell**

Ingeniero Naval - Armada Española

**Capitán de Navío Óscar Tascón Muñoz, M.Sc.**

Armada República de Colombia

## REVISIÓN DE ESTILO/ASISTENTE EDITORIAL

Diana Carolina Colmenares Castellanos

Comunicadora Social – Organizacional

Laura Victoria Ballén Osorio

Ingeniera Industrial

## DISEÑO E IMPRESIÓN

Agencia de Comunicaciones TRION

## PUBLICACIÓN ANUAL

Número de ejemplares: 100

ISSN 2027-0658

## CANJES Y SUSCRIPCIONES

Barrio Bosque, Sector Manzanillo – PBX: 57 + 5 + 6724610 Extensión 229

Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla” Cartagena, Colombia

E-mail: [derrotero@enap.edu.co](mailto:derrotero@enap.edu.co)

A este correo puede enviar sus observaciones y comentarios sobre los artículos y sobre la revista.

Los conceptos expresados son de responsabilidad exclusiva de sus autores.

Se autoriza la reproducción total o parcial de su contenido citando la fuente, volumen, número y título.

**Editorial** Pág. 5

## ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

OCEANOGRAFÍA / INGENIERÍA NAVAL / CIENCIA / EDUCACIÓN / TECNOLOGÍA

**Evaluación Temporal de los Niveles de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en los Sedimentos de la Bahía de Cartagena** Pág. 7 a 12

*Gustavo Tous Herazo  
Gisela Mayo Mancebo  
Joaquín Rivero Hernández  
Hugo Llamas Conteras*

**Aplicación de una Metodología para la Reducción de Ruido y Vibraciones en el Diseño Preliminar de un Buque Hospital Fluvial** Pág. 13 a 23

*Lina Suárez Téllez  
Publio Beltrán Palomo*

**Catamaranes - Cualidades Propulsivas** Pág. 25 a 37

*Amadeo García Gómez  
Juan Jesús Díaz Hernández*

**Desarrollo de un Programa para el Cálculo de la Carga Térmica en Sistemas de Climatización de Embarcaciones** Pág. 39 a 52

*Juan Andrés Ardila Jiménez*

**Implementación de Herramientas Web 2.0 en Procesos de Aprendizaje en la Escuela Naval** Pág. 53 a 66

*Freddy Herrera de Aguas  
Juan Hildebrando Álvarez Santoyo*

## ARTÍCULOS DE REFLEXIÓN

OCEANOGRAFÍA / INGENIERÍA NAVAL / ARQUITECTURA NAVAL / PODER NAVAL / ECONOMÍA

**Avistamiento de Hielos sobre el Mar en la Bahía de Fildes y el Estrecho de Gerlache durante el Verano Austral 2015** Pág. 67 a 83

*Julián Eduardo Trujillo Jiménez  
Julio Cesar Ramírez Cárdenas  
María Fernanda Vargas  
Rosana del Pilar Adames Prada  
Nelson Enrique Murillo Gómez*

**Estudio de Predicción para Periodos de Reposo del Buque Inducido por las Olas** Pág. 85 a 93

*José Girón Sierra  
Cristina Mateos Fernández de Betoño*

**Análisis de la Respuesta a Firmas en Minas Multi-Influencia** Pág. 95 a 110

*José María Riola Rodríguez  
Antonio Sánchez García  
Juan Jesús Díaz Hernández*

<b>Arquitectura de Control Modular y Escalable para la Navegación de Sistemas Autónomos No Tripulados</b> <i>Francisco Javier Lastra</i> <i>Jesús Trujillo</i> <i>Francisco J. Velasco</i> <i>Elías Revestido Herrero</i> <i>Luis M. Vega</i> <i>Enrique Rodríguez</i>	<b>Pág. 111 a 121</b>
<b>Propuesta de Protocolo para la creación de un Batallón de Infantería de Marina para el Desarrollo de Operaciones Humanitarias y Sosténimiento de Infraestructura en la Armada Nacional</b> <i>Ángel Leonardo Rojas Rodríguez</i> <i>Cristian Alexi Solano</i>	<b>Pág. 123 a 129</b>
<b>Crítica a los Modelos IS-LM – Solow</b> <i>Oscar Torres Yarzagaray</i> <i>Roberto Carlos Torres Castellar</i> <i>Diana Osorio Physco</i> <i>Luis Alejandro Lora</i>	<b>Pág. 131 a 138</b>
<b>ARTÍCULO DE REVISIÓN</b>	
<b>TECNOLOGÍA</b>	
<b>Nueva Generación de Hélices CLT ® Optimizadas para su Aplicación en Buques Militares</b> <i>Juan González Adalid</i> <i>Mariano Pérez Sobrino</i> <i>José María Riola Rodríguez, CF PhD</i> <i>Juan Jesús Díaz Hernández</i>	<b>Pág. 139 a 153</b>
<b>Instrucciones a los Autores</b>	<b>Pág. 155 a 158</b>

La Novena Edición de la *Revista Derrotero de la Ciencia y la Investigación*, es muy especial pues coincide con la celebración de los 80 años de la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. Con ocasión de este aniversario, la Escuela a través del proyecto Alfa Sextantis viene realizando importantes obras de infraestructura, las cuales van de la mano con el fortalecimiento de la función sustantiva de Investigación, la cual está experimentando un proceso metódico de reestructuración que se evidenciará en la visibilidad y pertinencia que dicha función tendrá a partir de este año.

La Revista Derrotero es una de las principales herramientas para fortalecer la divulgación de la investigación asociada con las actividades marítimas del país, por lo cual esta edición presenta una selecta compilación de trabajos y resultados de investigación de instituciones de alto prestigio como lo son la Universidad de Chile, la Universidad Complutense de Madrid, la Universidad de Cantabria, el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH), la Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial (COTECMAR), El Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR) y la Armada Española, Instituciones que tienen una amplia y renombrada trayectoria en Investigación, Desarrollo e Innovación.

La Novena Edición de la Revista Derrotero de la Ciencia y la Investigación incluye el artículo: “Avistamiento de Hielos sobre el Mar en la Bahía de Fildes y el Estrecho de Gerlache durante el Verano Austral 2015”, el cual presenta los primeros resultados de la expedición a la Antártida que lideró la Armada Nacional, llevando por primera vez y en un buque construido en Colombia, el ARC “20 de Julio”, a un selecto grupo de investigadores nacionales a estudiar el Continente Blanco. Este estudio hace parte de un proyecto de investigación de la Escuela Naval de Cadetes que busca entender el papel de la Antártida como reguladora del clima en el hemisferio sur, y prever posibles riesgos en las costas colombianas ante escenarios de cambio climático.

Agradecemos a todos los investigadores, estudiantes y profesionales que participaron de esta edición. Así mismo, esperamos que los contenidos empíricos y teóricos presentados en esta revista sean de agrado de nuestros lectores y sirvan de invitación y estímulo para continuar con el fortalecimiento de la Investigación, Innovación y Desarrollo en nuestra Institución, formalizando estos procesos a través de la publicación de artículos científicos en nuestra revista, que son sometidos al proceso de revisión por pares académicos y encuentran un espacio inmejorable para compartir y divulgar nuevo conocimiento relacionado con el océano y las actividades marítimas.

**Contralmirante Antonio José Martínez Olmos.**  
Director Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”



# Evaluación Temporal de los Niveles de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en los Sedimentos de la Bahía de Cartagena

Págs. 7-12

*Gustavo Tous Herazo<sup>a</sup> Gisela Mayo Mancebo<sup>b</sup> Joaquín Rivero Hernández<sup>c</sup> Hugo Llamas Conteras<sup>d</sup>*

<sup>a</sup>Magister. Responsable área Protección Medio Marino, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH. gtous1261@gmail.com

<sup>b</sup>Magister. Investigadora Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH. gisemayo@gmail.com

<sup>c</sup>Especialista. Contratista Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH. rivero0617@gmail.com

<sup>d</sup>Tecnólogo. Analista Laboratorio Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH. hllamas@gmail.com

## Resumen

En el año 2013 se realizó una evaluación temporal de los niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en los sedimentos de la Bahía de Cartagena, seleccionando diez estaciones de muestreo en dos épocas diferentes. Para determinar las concentraciones HAPs se usó un cromatógrafo de gases y un detector de masas selectivos, siendo el fluoreno el compuesto que presentó el valor más alto en la estación cerca de la isla de Tierrabomba en la época seca con 154,78 ng/g, superando los límites aprobadas por el Comité Federal Provincial y Territorial de Agua Potable, la Salud y el Medio Ambiente de Canadá. Mediante estos resultados se podría inferir que existe un aporte de estos compuestos debido al movimiento portuario en esta bahía.

**Palabras claves:** Bahía de Cartagena, sedimentos, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

## Abstract

In the 2013 a temporal assessment of the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the sediments of the Bay of Cartagena was performed, selecting ten stations sampling in two different times. PAH concentrations to determine a gas chromatograph and a mass selective detector was used, with the fluorene compound that showed the highest value at the station near the island of Tierrabomba in the dry season with 154.78 ng / g, overcoming the limits approved by the Federal Provincial and Territorial Water Committee, Health and Environment Canada. With these results it can be inferred that there is a contribution of these compounds due to port movement in this bay.

**Keywords:** Cartagena Bay, Sediment, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

*Fecha de recepción: Junio de 2015*

*Fecha de aceptación: Agosto de 2015*

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este estudio fue conocer los niveles de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en los sedimentos colectados en diez estaciones que fueron muestreadas en la Bahía de Cartagena durante el año 2014, muestreos que abarcaron las dos épocas climatológicas principales que se presentan en el área de estudio (Época seca y Lluviosa), lo anterior con el fin de conocer la concentración de los dieciséis HAPs escogidos para realizar este trabajo y así poder establecer el riesgo ambiental. En relación con otros golfos y bahía del Caribe colombiano y las normas ambientales establecidas a nivel internacional, se usaron las internaciones debido a que Colombia en su legislación aún no ha establecido límites permisibles de estos compuestos.

En el medio marino, los contaminantes pueden estar en la columna de agua, en disolución o adsorbidos a las partículas. Muchos de ellos tienen baja solubilidad en agua y alta afinidad por las partículas y pueden alcanzar el fondo del mar y allí incorporarse a los sedimentos marinos (Singh, Hasnain, & Banerjee, 1999) por lo anterior los sedimentos constituyen una matriz integradora en el tiempo de los cambios químicos y equilibrios de solubilidad de los compuestos orgánicos e inorgánicos, contenidos en la columna de agua. La adsorción de compuestos orgánicos a partículas, la formación de complejos y/o la formación de precipitados, son mecanismos de transferencias de compuestos químicos a los sedimentos (Rudolph, Franco, Becerra, Barros, & Ahumada, 2002).

Durante el transcurso del siglo XX se produjeron innumerables cambios en el ritmo de crecimiento y producción de la civilización humana. El desarrollo de la agricultura intensiva, la concentración a gran escala de las zonas urbanas y la creciente industrialización han contribuido a la contaminación global de los ecosistemas marinos. Las principales sustancias introducidas por la actividad del hombre incluyen compuestos organoclorados, productos derivados del petróleo y metales pesados (Garay & Giraldo, 1997) y (Orozco, López, & Cañon, 2006).

Los compuestos aromáticos son motivo de preocupación ya que son altamente tóxicos y algunos, en particular, PAHs, son potencialmente cancerígenos (Tong, Goh, Rani, Tahir, & Wang, 1999). El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que es razonable predecir que algunos HAPs son carcinogénicos. Ciertas personas que han respirado o tocado mezclas de HAPs y otros compuestos químicos por largo tiempo han contraído cáncer. Ciertos HAPs han producido cáncer en animales de laboratorio que respiraron aire con HAPs (cáncer al pulmón), comieron alimentos con HAPs (cáncer al estómago), o se les aplicó HAPs en la piel (cáncer a la piel) (Departamento de salud y servicios humanos de los EE.UU, 1996).

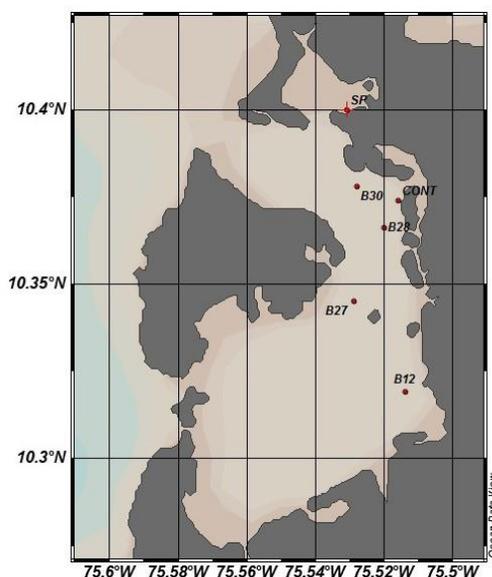
## 2. ÁREA DE ESTUDIO

La bahía de Cartagena es un estuario ubicado en la costa Caribe colombiana, aproximadamente en los 10° 16' - 10° 26'N y 75° 29'-75° 35' W. Es considerado un estuario por aportes continentales del Canal del Dique un brazo artificial del Río Magdalena. Esta descarga desde 1950 ha introducido a la bahía una carga de sedi-

mentos y materia orgánica, que ha causado durante años deterioro ambiental a este ecosistema (Tatsukama, Hashimoto, & Wakimoto, 1990) y (Pinilla, Gutiérrez, & Ulloa, 2007). Por otro lado también recibe desechos industriales y hasta hace aproximadamente unos dos años atrás recibía aproximadamente 40 % de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Cartagena sin ningún tipo de tratamiento.

### 3. METODOLOGÍA

Los estudios fueron realizados el 13 de marzo y 24 de septiembre de 2014. Considerando las dos épocas climatológicas que se presentan en la zona estudiada, se seleccionaron seis estaciones dentro de la Bahía de Cartagena (Figura. 1). Para su colecta fue empleada una draga, y las muestras se almacenaron en botellas de vidrio boca ancha con tapa de vidrio esmerilada que fue debidamente rotulada y depositada en una nevera con hielo.



**Figura 1.** Ubicación estaciones Bahía de Cartagena

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación de los HAPs se usó el método establecido por la Comisión Oceanográfica internacional (COI) a través de sus Manuales y Guías No. 11 denominado “Determinación de los hidrocarburos del petróleo en los sedimentos” (Comisión Oceanográfica Internacional, 1982), métodos de la Environmental Protection Agency (EPA) 3500B (Environmental Protection Agency, 1996) 3540C (Environmental Protection Agency, 1996); 3630C (Environmental Protection Agency, 1996) y 8100 (Environmental Protection Agency, 1996) y el validado método validado por el Laboratorio del CIOH dentro de su sistema de gestión de calidad “Procedimiento para la determinación de HAPs en sedimento”. Se tomaron aproximadamente 5 gramos de sedimento previamente liofilizado y tamizado (250  $\mu\text{m}$ ), al cual se le adicionó en un balón de digestión, una mezcla de 1.5 ppm acenafteno d10, fluoranteno-d10, y perileno-d12, posteriormente fueron agregados 100 mL de metanol y 3 g de hidróxido de potasio y se sometieron a 1,5 horas de digestión.

Luego que se enfrió la digestión mediante un embudo de decantación fue separada la fase alcohólica, que se sometió a una extracción líquido – líquido con 25 mL de n – hexano, por dos veces. Esta fase orgánica se concentró usando un rotavapor y el extracto (2 mL aprox.) se pasó por una columna empacada con 8 g de silica activada y finalmente desactivada con 5 % p/p de agua extraída con n – hexano. En la parte superior de la columna de silica desactivada se colocó una capa de 1 cm aproximadamente de sulfato de sodio anhidro, con el fin de retener posible humedad, la elusión se realizó inicialmente con 20 mL de n – hexano solvente que disuelve la fracción alifática, siguiendo la elusión con 50 mL hexano – diclorometano (1:1) y, finalmente se

usó como disolvente 20 mL de diclorometano, estas dos últimas fracciones se combinaron asegurándose la fracción aromática, que fue concentrada inicialmente a través de un rotavapor y posteriormente con una corriente de gas nitrógeno puro hasta un volumen próximo a sequedad.

A cada una de estas fracciones se les adicionó 50 µL de una solución de 10 ppm de 4,4' - diclorobifenilo, que es empleado como control interno en la determinación de los HAPs. Finalmente cada una de estas fracciones fue analizada mediante la técnica de cromatografía de gases y espectrofotometría de masa (CG – MS).

#### 4. RESULTADOS

De las estaciones monitoreadas en la época seca se observó que el fenantreno es uno de los HAPs que reportó la mayor concentración de los 16 compuestos determinados. La escogencia de estos compuestos se basó en establecidos por el EPA debido al potencial de toxicidad y la frecuencia de ocurrencia de los residuos peligrosos (Abbey, Nicholas, Beshr, Kathryn, & Lee, 2011), sus concentraciones oscilaron entre 1,70 a 28,45 ng/g, los compuestos presentes en todas las estaciones fueron el fluoranteno (Flu) y el pireno (Pi), mientras que el acenaftileno (Ac) se observó para esta época seca en las estaciones ubicadas en el muelle de la Sociedad Portuaria (SP), Muelle de Contecar (CONT), Boya 30 (B30) y la Boya 12 (B12).

Las concentraciones detectadas fueron 4,36 ng/g; 1,05 ng/g ; 1,09 ng/g y 3,30 ng/g respectivamente. Entre los compuestos que no fueron detectados por este método, es decir, que estuvieron por debajo del

límite de detección están el Naftaleno (N), Acenafteno (Ace), Antraceno (A), Benzo[a]antraceno (BaA), Criseno (C), Benzo[b]fluoranteno (BbF), Benzo[k]fluoranteno (BkFl), Indeno[1,2,3-cd]pireno (IPi), Dibenzo[ah]antraceno (DBA) y Benzo[ghi]perileno (Bghi-Per). Con relación al Acenafteno y el Fluoreno solamente fueron reportados en las estaciones de la Boya 12 (B12) y Sociedad Portuaria (SP), para el caso del Benzo [a] pireno este fue encontrado en las estaciones Boya 27 y Boya 30, en la tabla 1 se pueden observar las diferentes concentraciones de los HAPs determinados en la época seca. Ninguno de estos datos reportados para época seca no superan los límites establecidos por la Directriz de la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática de Canadá, sus siglas en inglés (SQG) (Canadian environment quality guidelines, 2001).

Para las muestras colectadas en la época húmeda se observó a lo largo de las estaciones monitoreadas en esta época. Las concentraciones de los 16 HAPs determinados, oscilaron entre 1, 27 y 101,58 ng/g, este último valor fue del Fluoreno (Flu) detectado en estación ubicada en Contecar (CONT\_EH), valor que sobrepasa los niveles establecidos por SQG para este compuesto, siendo este el único valor de todas las estaciones monitoreadas que supera lo establecido por SQG.

En las estaciones Boya 27 y Boya 30 la concentración de Fluoreno (Flu) fue de 13,42 y 7,44 ng respectivamente; el Criseno (C) fue el compuesto con la siguiente concentración más alta de las reportadas 34,87 ng/g en la estación Boya 12 (B12\_EH), seguido del Benzo [a] pireno (BaPi) que presentó las siguientes concentraciones: 13,83 ng/g y 15,22 ng/g en las estaciones Boya 30 (B30\_EH) y Contecar (CONT\_EH)

respectivamente, otras de las concentraciones Naftaleno (N), Acenaftileno (Ac), Acenafteno (Ace), Fluoranteno (Fl), Pireno (Pi), Benzo (a) y Antraceno (BaA). Para este muestreo sus concentraciones variaron entre 2,82 y 6,40 ng/g; 1,27 y 5,71 ng/g, 0,67; 2,22 ng/g y 1,65 y 2,02; 1,49 y 3,59 ng/g y 3,41 y 4,80 ng/g respectivamente, encontrándose en los ensayos realizados a las muestras colectadas en la época húmeda donde Fenantreno (F), Antraceno (A), Benzo [b] Fluoranteno (BbF), Benzo [k] Fluoranteno (BkFl), Indeno[1,2,3-cd] Pireno (IPi) y Dibenzo [ah] Antraceno (DBA) estuvieron por debajo del límite de detección del método empleado. Ver Tabla 1.

Con el fin de establecer una aproximación del origen de estos compuestos en cada una de las muestras analizadas por estación se usó la relación Fluoranteno / (Fluoranteno Fl + Pireno)  $[Fl / (Fl + Pi)]$ , establecida por Benlahcen y otros en 1997, la cual describe que muestras donde la relación arroje valores  $< 0,5$  se consideran muestras contaminadas con hidrocarburos de petróleo y cuando el resultado sea  $> 0,5$  la fuente principal serían procesos de combustión o pirolisis. (Vanea, y otros, 2014)

## 5. DISCUSIÓN

La concentración más alta (101,58 ng/g) encontrada en los dos muestreos realizados (época seca y húmeda) fue de la del Fluoreno (Flu) detectado en estación ubicada en Contecar en la época húmeda (CONT\_EH), resultado que posiblemente esté asociado al elevado movimiento portuario y marítimo del sector, lo que se corrobora cuando se observa el resultado obtenido de la relación  $Fl / (Fl + Pi)$  que para esta estación arroja valores de 0,33; lo que indica predominancia de fuentes

de origen petrogénico en este sector, igualmente sería para el caso de la siguiente concentración más alta obtenida en esta misma época para el Criseno (C) 34,87 ng/g, en la Boya 12 (B12) que se atribuye posiblemente también al elevado movimiento portuario y marítimo y a la cercanía de la refinería de Ecopetrol. Para esta estación no se pudo realizar la relación  $Fl / (Fl + Pi)$  debido a que los valores del Fluoranteno (Fl) estuvieron por debajo del límite de detección del método empleado.

## REFERENCIAS

- Abbey, F., Nicholas, W., Beshr, F., Kathryn, C., & Lee, D. (2011). Remediation of PAH-Contaminated Soils and Sediments: A Literature Review.
- Arias, A., Marcovecchio, J., Freije, R., Ponce - Velez, G., & Vázquez, A. (n.d.). Análisis de fuentes y toxicidad equivalente de sedimentos contaminados con PAHs en el estuario de Bahía Blanca, Argentina.
- Canadian environment quality guidelines. (2001). Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables.
- Comisión Oceanográfica Internacional. (1982). Determinación de los hidrocarburos del petróleo en los sedimentos.
- Departamento de salud y servicios humanos de los EE.UU. (1996). Polycyclic aromatic hydrocarbons.
- Environmental Protection Agency. (1996). Organic extraction and simple preparation.
- Environmental Protection Agency. (1996). Polynuclear Aromatic Hydrocarbons.

- Environmental Protection Agency. (1996). Silica Gel Cleanup.
- Environmental Protection Agency. (1996). Soxhlet Extraction.
- Garay, J., & Giraldo, L. (1997). Influencia de los aportes de materia orgánica externa y autóctona en el decrecimiento de los niveles de oxígeno disuelto en la Bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH*, 1 - 13.
- Orozco, F., López, R., & Cañon, M. (2006). [3] Garay J, Giraldo L. Influencia de los aportes de material orgánica externa y autóctona en el decrecimiento de los niveles de oxígeno disuelto en la Bahía de Cartagena, Colombia. *Boletín Científico CIOH* 1997;(18):1-13. *Boletín Científico CIOH*, 1 - 26.
- Pinilla, G., Gutiérrez, A., & Ulloa, G. (2007). Efectos ecológicos de la derivación de aguas y sedimentos hacia la Bahía de Barbacoas.
- Rudolph, A., Franco, C., Becerra, J., Barros, A., & Ahumada, R. (2002). Evaluación de la materia orgánica e hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales, Bahía Concepción. Chile. *Boletín de la sociedad Chilena de Química*, 403 - 410.
- Singh, A. K., Hasnain, D. K., & Banerjee, D. K. (1999). Grain size and geochemical partitioning of heavy metals in sediments of the Damodar River a tributary of the lower Ganga, India. *Environmental Geology*, 90 - 98.
- Tatsukama, R., Hashimoto, S., & Wakimoto, T. (1990). PCDDs in the sediments accumulated about 8120 years ago from Japanese coastal areas. *Environmental Science and Technology*, 24, 825 - 835.
- Tong, S., Goh, S., Rani, A., Tahir, N., & Wang, C. (1999). Asean marine water quality criteria for oil and grease. Marine Environment Division, Water Quality Management Bureau, Pollution Control Department, 1 - 28.
- Vanea, C., Kima, A., Beriroa, D., Cavea, M., Knightsa, K., Moss-Hayesa, V., & Nathanail, P. (2014). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and polychlorinated biphenyls (PCB) in urban soils of Greater London, UK. 1 -24.

# Aplicación de una Metodología para la Reducción de Ruido y Vibraciones en el Diseño Preliminar de un Buque Hospital Fluvial

Págs. 13-23

*Lina Suárez Téllez<sup>a</sup> Publio Beltrán Palomo<sup>b</sup>*

<sup>a</sup>Magister DPEA en Arquitectura Naval de la Escuela Nacional Superior de Arquitectura de Nantes. Arquitecta de la Universidad Piloto de Colombia. COTECMAR. Cartagena de Indias, Colombia. lsuarez@cotecmar.com

<sup>b</sup>Magister en Métodos cuantitativos de Gestión de la Escuela de Organización Industria. Ingeniero Naval (Especialidad en Arquitectura Naval) de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Navales de Madrid. TSI SL. Madrid, España. publiobp@tsisl.es

## Resumen

El Proyecto de diseño preliminar de un Buque Hospital nació de la necesidad de contar con un centro médico itinerante que pudiera atender diferentes poblaciones Colombianas con difícil acceso y reducida atención médica ubicadas en la cuenca de las arterias fluviales del país. Debido a la solicitud de diversas entidades, se realizó un diseño preliminar de un buque hospital que estuviera en capacidad de navegar en los principales ríos colombianos. Durante el proceso de diseño y gestión de los requerimientos se encontró que uno de los mayores impactos negativos en sus características ergonómicas, eran los generados por el Ruido y las Vibraciones en diferentes zonas del buque, especialmente en espacios destinados a los servicios de atención médica, los cuales son generados tanto por la Maquinaria Principal y Auxiliar del buque como por otros sistemas secundarios. Por lo que se desarrolló un análisis con ayuda de expertos, para mitigar dicho impacto y así diseñar un buque hospital que cumpla la misión y funcionalidad asignada y responda a los estándares de un buque “Silencioso” de vanguardia.

**Palabras claves:** Ergonomía, ruido, vibraciones, innovación, buque silencioso

## Abstract

The preliminary design project of a hospital ship was born of the necessity to have an itinerant medical center appropriate to look after different Colombian populations with difficult access and limited medical attention located in the basin of fluvial arteries of the country. Proper to request of various organizations, it was started a preliminary design of a hospital ship able to navigate in the principal Colombian rivers. During the design process and requirement management, it was found that one of the negative impacts to his ergonomic features are generated cause to noise and vibration in the different spaces of the ships, especially in medical attention zones, it is produce to the main machine and propulsion system and others such auxiliary systems. Therefore it was included an study with experts help to mitigate that impact and so design a hospital ship that meeting the mission and assigned functionality and also meets the standards of a ship “noiseless” cutting edge.

**Keywords:** Ergonomic, noise, vibration, innovation, silence ship

*Fecha de recepción: Mayo de 2015*

*Fecha de aceptación: Agosto de 2015*

## 1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto tuvo como finalidad realizar un diseño preliminar de un buque hospital, a partir de la definición de ED&RD (Especificaciones de Desempeño y Restricciones al Diseño) requeridas para suplir las necesidades funcionales y operacionales médicas de algunos pueblos ribereños mejorando las condiciones de salud de sus habitantes.

El desarrollo de la embarcación inicio a partir de la reorganización del sistema nacional de salud, (Congreso de Colombia, 1990), sistema de seguridad social integral (Congreso, 1993) y el llamado de atención a urgencias en el país (Superintendencia Nacional de Salud, 1994), por lo que se produjo la demanda de embarcaciones que pudieran apoyar zonas de difícil acceso. Las demandas fueron realizadas al astillero colombiano COTECMAR y se produjeron por parte de entidades como Ciudadela Salud S.A (2007), la Agencia Logística de la Armada Colombiana (2009), la Sociedad Portuaria Santa Cruz y la Orden de Malta (2013), por lo que a medida de este tiempo se desarrolló y mejoró el producto en la Gerencia de Diseño e Ingeniería de dicho astillero.

Dentro del proceso se determinó una metodología de desarrollo de las fases iniciales de diseño basados en el SWBS – *Ship Work Breakdown Structure*. En este procedimiento se determinó el alcance del proyecto; se generaron las mejoras y actualizaciones adaptadas a los requerimientos de los interesados; se actualizaron las especificaciones técnicas acordes a modificaciones; se generó la especificación de servicios que proporcionaría la embarcación; se analizaron procedimientos especiales del proyecto como manejos de

impactos tales como los residuos hospitalarios, ventilación de espacios y del que se hablara en este artículo “ruido y vibraciones”.

Por lo que este último aspecto de ruido y vibraciones se definió como gran impacto negativo, no solo desde el punto de vista ergonómico y de confort para pasaje sino también para la tripulación dado que la embarcación contaría con quirófano, sala de cuidados y observación; así como desde el punto de vista operativo dada la existencia de equipos científico-médicos delicados y muy sensibles a las vibraciones. Por todo ello, en el enfoque del estudio preliminar se ha tenido en cuenta, desde las fases tempranas del proyecto, el manejo de la mitigación de dicho impacto generando una propuesta aceptable de niveles de ruido y vibraciones para los diferentes espacios del buque, así como por medio de la exploración de actuaciones de Control de Vibraciones y Ruido en las diferentes fuentes generadoras de estos; en los “caminos de propagación” y en los Receptores: Espacios vulnerables. Estableciendo en cada caso, las medidas de diseño más adecuadas de determinados espacios dentro del esquema de acomodación general, proponiendo los aislamientos tanto a vibraciones como a ruido de las diferentes fuentes generadoras, caminos de transmisión “estructura” y por último de los espacios vulnerables al ruido y vibraciones. Todo ello se ha realizado sin afectar el funcionamiento adecuado de la embarcación.

## 2. METODOLOGÍA

Se realizó un análisis de diferentes ítems tales como el estado del arte, análisis de requerimientos por parte de los interesados, análisis de ambiente operacional, conceptos funcionales y regulaciones nacionales e

internacionales previos a la realización del diseño conceptual con el fin de listar una serie de características técnicas diferenciadoras de una plataforma de usos diferentes a los civiles o militares, las cuales fueron incluidas dentro de las ED&RD; dando así claridad en la definición de problemáticas que afectaran el buen funcionamiento del buque no solo en de forma técnica u operacional, sino también de forma ergonómica.

## 2.1. Especificaciones de Desempeño y Restricciones al Diseño

### 2.1.1. Requerimientos Generales

El Buque Hospital deberá ser diseñado para desarrollar misiones de salud que incluyan promoción, prevención e intervención, siguiendo las condiciones estipuladas para un nivel II.

Este deberá garantizar seguridad fluvial, seguridad en la navegación, apoyo a la protección del medio ambiente y apoyo logístico fluvial, dentro de una ruta de misión estipulada acorde con las condiciones y capacidades del buque. De acuerdo a la reglamentación Colombiana (Ministerio de Salud, 1994) el Nivel II contempla: *NIVEL II Médico general con interconsulta, remisión y/o asesoría de personal o recursos especializados.*

Determinado como ATENCIÓN AMBULATORIA ESPECIALIZADA y definido como *Atención médica, NO quirúrgica, NO procedimental y NO intervencionista, brindada por un profesional de la medicina, especialista en una o más de las disciplinas de esta ciencia y en la cual ha mediado interconsulta o remisión por el profesional general de la salud. Tendrá el mismo carácter técnico-administrativo para los niveles II y*

*III de complejidad atención, es decir consulta ambulatoria de cualquier especialidad o subespecialidad.*

- Laboratorio Clínico Especializado.
- Radiología Especializada.
- Otros procedimientos diagnósticos y/o terapéuticos.
- Procedimientos quirúrgicos derivados de la atención ambulatoria de medicina especializada en áreas como cirugía general, ginecobstetricia, dermatología y otras.

### 2.1.2. Misiones

Las funciones primarias son las de desarrollo de actividades de control, seguimiento, promoción y fomento de la salud, considerando desarrollo de actividades como:

- Consulta médica general de primera vez o revisión.
- Consulta paramédica de primera vez o revisión.
- Consulta médica especializada de primera vez o revisión.
- Interconsulta médica especializada.
- Junta médico-quirúrgica.
- Atención odontológica, pediátrica y ginecológica.

Las funciones secundarias del buque estarán ligadas al desarrollo de operaciones de ayuda en desastres naturales o tecnológicos, conflicto armado y otras emergencias.

### 2.1.3. Operación

#### 2.1.3.1. Área de operación

en ríos como el Magdalena, el Atrato o el Amazonas.  
Durante la navegación marítima no podrá separarse de  
la costa más de 12 millas náuticas.

### 2.1.3.2. Filosofía operacional

La autonomía del buque en agua, víveres, materiales, medicamentos y útiles de uso de los equipos, será tal que le permita realizar operaciones de patrullaje cuando navegue con la tripulación total de 31 (treinta y un) personas por un periodo de tiempo no superior a veinticinco (25) días.

La maquinaria principal, deberá ser seleccionada con base en una operación anual de 3.000 horas, el buque deberá tener una velocidad crucero de 8 Nudos y velocidad máxima de 15 Nudos.

### 2.1.4. Requerimientos Ambientales

El buque estará diseñado para manejar temperaturas de agua de río de 12 a 20 °C, temperatura de aire de 24 a 37 °C, humedad relativa del aire 40-50%, fuerza de viento de 3 -5, corrientes de 0.6 a 1.6 m/s y ondulaciones de la superficie del río de 1 a 2 metros; en general este deberá ser resistente a las condiciones ambientales del Trópico y el Mar Caribe.

### 2.1.5. Impacto Ruido y Vibraciones

Como se ha mencionado el impacto de ruido y vibraciones en este tipo de buques es uno de los aspectos esenciales que pueden llegar a condicionar no solo la operatividad sino incluso la funcionalidad de los mismos. Basta recordar, como experiencia operativa importante, la experiencia acaecida en este tipo de buques hospitales durante la guerra de las Malvinas. La ausencia de buques especializados de este tipo llevó a ambos bandos en combate, a la adaptación de buques mercantes para el desarrollo de estos cometidos. Nadie pensó que los niveles de vibraciones en este tipo de buques adaptados pudiesen ser un problema. La gran sorpresa ocurrió cuando se pudo comprobar que las

bolsas de plasma sanguíneo, esenciales en el cometido de estos buques, quedaban completamente inutilizadas por efecto de las vibraciones a las que estaban sometidos estos elementos y que llegaban a romper las moléculas del referido plasma.

En paralelo, es de sobra conocida la alta sensibilidad a las vibraciones de todo el equipamiento médico y de reconocimiento: microscopios, Rayos X, etc; de los que suelen ir dotados este tipo de buque. Una rápida lectura de las especificaciones de este tipo de equipamiento permitirá comprobar que existen limitaciones muy restrictivas con relación a los máximos niveles de aceleración a los que pueden someterse estos equipos sofisticados para que existan garantías de su funcionalidad.

Por último, no puede entenderse un Buque Hospital sin unas condiciones mínimas de confort, desde el punto de vista de vibraciones y ruido, no solo para los pacientes sujetos de atención médica y recuperación sino incluso del propio personal médico y sanitario, poco habituado a la navegación y su entorno generalmente ruidoso.

Por consiguiente de todo lo expuesto previamente, y según se ha detallado en la introducción, el estudio preliminar del proyecto del Buque Hospital ha puesto especial énfasis en la aplicación de técnicas de Control de Vibraciones y Ruido desde las etapas tempranas del proyecto con la finalidad, dado su carácter crítico, de garantizar la funcionalidad y desempeño del referido Buque Hospital. En los siguientes apartados se detallan los aspectos que deberán considerarse.

### 2.1.5.1. Ruido a bordo

Si bien lo habitual para un buque de estas características sería el requerimiento de un Comfort Class Grado 1 0 2 de una Sociedad Clasificadora, los niveles de ruido en los diferentes locales del buque deberán cumplir, como mínimo con los límites definidos (IMO, 2012) y que con fecha 1 de Julio de 2014 ha sustituido y reemplazado al antiguo Código IMO, Resolución A.468(XII). En la Tabla.1 se recogen, a título orientativo, los límites de algunos espacios más representativos para condiciones de navegación a máxima potencia.

**Tabla 1.** Límites de Ruido

<b>Espacio</b>	<b>Límite dB(A)</b>
<b>Espacios de Acomodación</b>	
Camarotes y Hospital	<b>60</b>
Comedores	<b>65</b>
Espacios Públicos de Recreo	<b>65</b>
Espacios abiertos de recreo	<b>75</b>
Oficinas	<b>65</b>
<b>Espacios de Navegación</b>	
Puente de Navegación	<b>65</b>
Espacio de Radio	<b>60</b>
<b>Áreas de Trabajo</b>	
Espacios de Maquinaria desatendida	<b>110</b>
Control de Maquinaria	<b>75</b>

Fuente: Elaboración propia

Para obtener garantías del cumplimiento de estos “límites máximos”, se hace recomendable la utilización de técnicas de simulación mediante el empleo de la más moderna metodología SEA (Statistical Energy Analysis) que permite la determinación del “ruido aéreo” (propagado a través del aire) y “ruido estructural” (propagado a través de la estructura del buque) que llegan a cada compartimento y de esta forma, definir en cada caso el aislamiento acústico apropiado y la parti-

ción en la que es más efectiva su aplicación.

Mediante la aplicación de esta metodología que permite aplicar los tratamiento acústicos más efectivos en las particiones que requieran su aplicación, se logra una reducción significativa del peso de esta partida: aislamiento, así como del peso muerto del buque, lo que se traduce en reducciones de costes y de consumos del buque.

A efectos de alturas disponibles de los diferentes espacios, se deberá considerar que los pisos de los espacios críticos desde el punto de vista de niveles de ruido y localizados en la cubierta por encima de los espacios de máquinas, serán de tipo sándwich o flotante constituidos por material amortiguante, tipo viscoelásticas y material aislante de ruido aéreo (Beltran, 2011), asimismo, para evitar “puentes acústicos”, toda la habilitación será del tipo “flotante”, sin conexiones rígidas a la estructura del buque. Adicionalmente y para garantizar la “privacidad” de determinados espacios como consultas, cabinas, etc; el material de los mamparos divisorios deberá entre espacios cumplir, como mínimo, con los Índices de Reducción Sonora (IMO.2012).

Por último, el Diseño Acústico del buque además de contemplar los cálculos de simulación, anteriormente mencionados, deberá incluir los planos finales de aislamiento acústico así como los procedimientos de ejecución e instalación de dicho aislamientos. Experiencias operativas, han evidenciado que una incorrecta ejecución de estos montajes pueden ser la causa raíz de incumplimiento con los límites de ruido especificados.

### 2.1.5.2. Vibraciones

La experiencia ha evidenciado que la forma más efectiva y menos costosa de atacar un problema de Vibración y/o Ruido, es actuando sobre las fuentes. Por ello, en el Buque Hospital, la maquinaria principal y auxiliar del buque irá montada sobre asientos elásticos o resilientes, debidamente calculados para garantizar la transmisibilidad mínima a la estructura del buque. Los elementos de conexión a esta maquinaria: tuberías, exhaustaciones, etc; se harán mediante las correspondientes juntas elásticas.

Por todo lo expuesto previamente, todo el equipamiento médico sofisticado y de reconocimiento, deberá ir montado sobre plataformas elásticas que eviten la transmisión de vibraciones a los mismos que pueden afectar a su integridad y funcionalidad.

Para evitar fenómenos de resonancias: locales y globales en la estructura del buque, entre frecuencias propias de estos elementos y las frecuencias excitadoras procedentes de las diferentes fuentes: Hélice y Maquinaria, se hace recomendable la realización de un estudio de Predicción de Vibraciones mediante el empleo de la metodología de los Elementos Finitos (FEM). Se pretende con ello conocer los Niveles de Vibración esperados en las diferentes localizaciones del buque, a partir de la comparación de estos “niveles de vibración esperados”, con los valores límites de la regulación correspondiente para decidir en la fase temprana del proyecto las actuaciones estructurales que se precisen. Actuaciones que, de tenerse que realizarse en un buque construido, pueden ser inviables tanto técnica como económicamente, generando también gran impacto de costos y plazos de entrega del buque.

En cualquier caso los niveles de vibración en los diferentes espacios del buque deberán cumplir con los límites exigidos por la Normativa Estándar (ISO, 2000). Asimismo, toda la maquinaria rotativa y alternativa del buque deberá cumplir con los valores límites como “maquinaria nueva” establecidos por la Normativa Estándar (ISO, 2014) y el grupo correspondiente para cada tipo de máquinas.

### 2.1.6. Habitabilidad

El diseño de espacios habitables para la tripulación del buque, deberá ser dirigido a obtener condiciones ambientales confortables, así espacios adecuados para la tripulación y el cuerpo médico. La disposición general deberá contemplar:

- Espacios de descanso y reunión como cámaras de tripulación y médicos y salón de TV).
- Espacios de servicio como baños para tripulación, cuerpo médico y pacientes, Cocina, cuarto de desechos hospitalarios, lavanderías, local para basuras, almacén víveres secos y frescos y cuarto para gases medicina- les).
- Espacios médicos como espacios de consulta especializada de ginecología, pediatría y odontología, rayos C, consultorios, laboratorio, toma de muestras, quirófano para cirugía menor, zona de recuperación, vestier médico, esterilización y quirófano.
- Espacios de almacenamiento como pañoles y bodega gas, bodega de farmacia, farmacia.
- Administrativos como recepción.

## 2.2. Análisis ergonómico

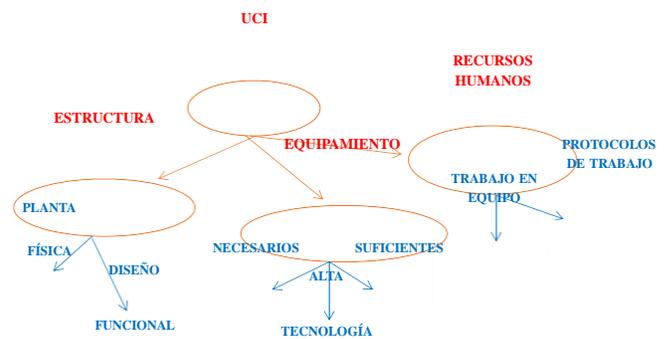
Los centros médicos han adquirido una función cualitativa completamente diferente a los realizados



diagnóstico y tratamiento han cambiado radicalmente gracias a los avances tecnológicos como los espacios para los diferentes actores tales como los pacientes, las personas que trabajan allí y los visitantes. La ergonomía interrelaciona el hombre con su entorno y cuya finalidad es la pausa de la reproducción de la

fatiga innecesariamente producida por las diferentes tareas realizadas en determinados espacios; en otras palabras la ergonomía genera relación entre la estructura, equipamiento y los recursos humanos como la muestra la imagen 1 (LOPEZ, SANTOS, SANTOS, 1994) la cual presenta los pilares fundamentales del diseño para la realización de las UCI (Unidades de cuidados intensivos). En este caso se tendrá en cuenta dicha estructura para la concepción del todo en el buque hospital de Nivel de atención II.

Un óptimo diseño se desarrolla creando entornos que mejoren las condiciones físicas y psíquicas de las personas que usan estas instalaciones por medio de la implementación de la ergonomía, la cual aborda aspectos de distribución, dimensión, color y material de los espacios, mobiliario, equipamiento, factores ambientales como iluminación o calor y todas las herramientas a implementar dentro de las políticas médicas. Junto a eso las condiciones acústicas y vibratorias en el caso de un proyecto de este tipo, se vuelven cada vez más importantes dentro del estudio debido al nivel de manejo del centro de salud y su organización dentro de la embarcación.



**Imagen 1.** López O., Santos M. H. & Santos P. H. 1994. Fuente: Imagen tomada del documento: Ergonomía hospitalaria en Cuba. Hospital pediátrica universitaria “William Soler” y Clínica Central Ciria García.

Siendo la contaminación auditiva en un hospital mínima y en ciertos espacios como quirófanos y cuidados intensivos casi nula, se recomiendan que el nivel de ruido en el interior esté entre 35 y 40 dB (A) (muy por debajo de los límites de la Normativa Estándar (IMO.2012), pero recomendable desde el punto de vista de la funcionalidad de estos espacios).

Teniendo en cuenta el lugar donde se encuentra el centro médico y las condiciones externas efímeras a las cuales se debe afrontar, es necesario una atención especializada y escogencia detallada de los diferentes factores que contribuyen a la disminución de ruidos, como incluir maquinaria y equipos silenciosos, usos de materiales anti vibratorios, insonorización de ventanas, exhaustaciones de la maquinaria principal y auxiliar, impulsiones/exhaustaciones de ventilación de determinados espacios como la cámara de máquinas, espacios de maquinaria y cocina.

### 2.3. Análisis Preliminar de ruido y vibraciones

Durante la fase inicial de análisis del ante-proyecto y mediante la asistencia y soporte de un especialista (TSI, SL), se llevó a cabo un estudio denominado “Noi-



dad en esta etapa del diseño, ha sido la identificación de los problemas potenciales de vibraciones y ruido que se podrían presentar en el diseño original.

Mediante la técnica de “*Matriz de Conectividades*” (Beltrán, 2012), que permite relacionar la localización física de los “espacios silenciosos” (bajos límites de ruido) con los “espacios ruidosos”, con altos límites de ruido por tratarse generalmente de espacios de maquinaria, se introdujeron modificaciones sustanciales en la Disposición General original del buque, en particular en lo relativo al Quirófano que pasó de estar ubicado en popa, encima de la Cámara de Maquinas, a proa, por tratarse de una zona más alejada de las fuentes principales de ruido. En efecto, ni con la aplicación de los más exhaustivos y sofisticados aislamientos acústicos, en la ubicación original de este espacio, se podrían haber conseguido niveles de ruido próximos a los mínimos exigidos y recomendables para dicho espacio.

Una vez completada la definición de espacios y su ubicación, así como la definición de límites de ruido para los mismos (aspecto esencial que deberá recogerse en la Especificación Técnica), se procedió a la definición de los aislamientos acústicos mínimos que se espera deban instalarse para garantizar el cumplimiento con los límites de ruido exigidos. Este aspecto dentro de la fase inicial de definición del proyecto, resulta ser de una gran utilidad ya que permite una primera estimación del peso de esta partida y su incidencia en el peso muerto del buque, así como de las “alturas disponibles de los diferentes espacios, ya que el objetivo de cumplimiento con los mínimos límites de ruido exigibles para un buque de estas características pasa, inexorablemente, por la

instalación de “suelos o pisos flotantes”. Experiencia previas han evidenciado que la “*no-consideración*” de estos aspectos, en la fase inicial de definición del proyecto, pueden poner en riesgo la funcionalidad del buque, al no poderse cumplir con los límites de ruido exigidos, o bien tener que proceder a cambios en algunas de las dimensiones principales del buque, fundamentalmente su puntal y con afectaciones al propio calado y francobordo del mismo.

El referido estudio preliminar se completó con una batería de “Recomendaciones Generales” para minimizar el impacto de las vibraciones y ruido en el buque. De forma específica, y como así debe constar en la Especificación Contractual de Contrato, se recomendó la realización de sendos estudios de Predicción de Vibraciones y de Ruido que permitiesen garantizar los objetivos de cumplimiento de límites en cada caso.

### 3. RESULTADOS

Se desarrolló un diseño óptimo de la embarcación en fase preliminar, la cual cuenta con las siguientes dimensiones principales:

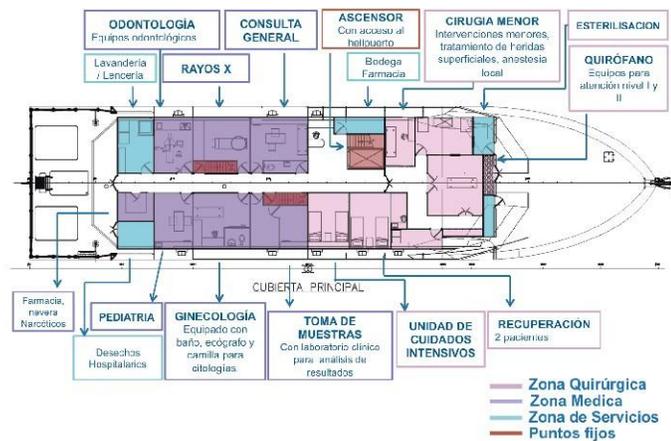
- Eslora: 38.4 m
- Manga: 9.5 m
- Puntal: 2.8 m
- Calado: 0.9 m
- Desplazamiento: 274 T

Durante el proceso se analizó, como se ha indicado previamente, la Disposición General del Buque y se

de ruidos por lo que se determinó que la solución más óptima es la presentada en la Imágenes 3 y 4. Estos

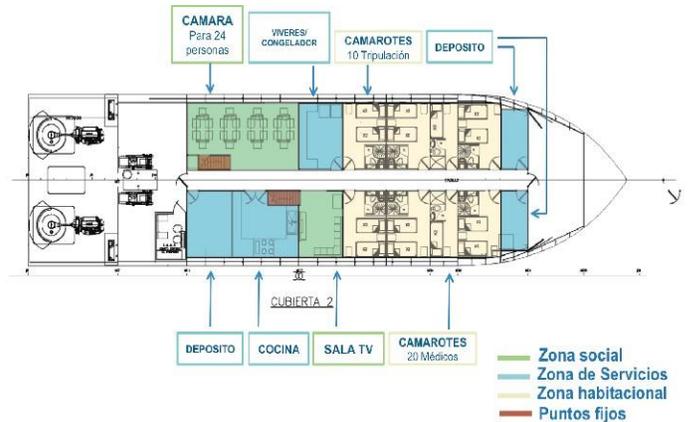
espacios “sensibles”, desde el punto de vista de ruido se ubicaron suficientemente alejados de las principales fuentes excitadoras: de ruido y vibraciones, estableciéndose en todos los casos un primer nivel de recomendaciones desde el punto de vista dinámico-acústico, los cuales serán incorporados dentro de las especificaciones técnicas del proyecto para tenerse en cuenta con la integración de otros sistemas tales como Sistemas de Ventilación de habitación, Ventilación de Cámara de Máquinas y HVAC. Por último, se hizo una primera aproximación y definición orientativa de aislamientos acústicos en techos, costados, mamparos estructurales y suelos “suelos flotantes”.

### 3.1. Disposición General



**Imagen 2.** Disposición General cubierta principal

Fuente: elaboración propia



**Imagen 3.** Disposición general de la cubierta N.2

Fuente: elaboración propia

## 4. CONCLUSIONES

De lo anteriormente expuesto, se puede concluir:

La gestión de ruido y vibraciones en el Proyecto del Buque Hospital, dada su misión y función social constituye un referente innovador de primer nivel para las Autoridades Colombianas, en la cual COTECMAR busca desarrollar tecnologías de vanguardia que satisfagan la industria naval, marítima y fluvial con un gran componente social.

Para la toma acertada de decisiones durante el desarrollo del proyecto, es valioso contar con una fase de análisis de expertos e interesados, para disminuir el riesgo de reproceso y extra costos durante las fases de construcción y en muchas ocasiones también durante su ciclo de vida.

A diferencias de otros diseños de buques donde priman los aspectos operativos, en este Buque Hospital se han tenido en cuenta desde la fase conceptual, factores determinantes como lo es el impacto negativo generado por el ruido y vibraciones a bordo, no solo desde el

punto de vista ergonómico: confort de pasaje y dotación, sino desde el punto de vista operativo al definir equipamiento médico sofisticado para dotar la embarcación y hacer de esta un producto para el futuro.

Los estudios dinámico-acústicos preliminares han permitido, no sólo una optimización de la Disposición General, en lo que a la correcta ubicación de espacios “sensibles” se refiere, sino la definición de Límites de Ruido y Vibraciones en los diferentes espacios, estimación de los aislamientos mínimos que se esperan, así como una batería de recomendaciones dinámico-acústicas relativas a las diferentes fuentes generadoras de ruido y vibraciones.

La incorporación de estos aspectos dinámico-acústicos en la ED&RD, junto con los estudios de simulación que son preceptivos, y la obligatoriedad de cumplimiento de los diferentes suministradores involucrados, constituyen uno de los pilares básicos para lograr un Buque Hospital de vanguardia.

## REFERENCIAS

- Beltrán P. (2011). “Shipbuilding and new requirements to reduce the environmental impact of ships: New technological challenges and business opportunities”. *Ship Science & Technology*, 5(10), 33-58. Cartagena, Colombia.
- Beltrán P. (2012). “Proceso de Adaptación de las Directivas sobre reducción de las emisiones acústicas en la Pesca y Transporte Marítimo y su impacto en la Economía”. *Revista de Economía Industrial*. Monográfico Sector Marítimo. Ministerio de Industria y Energía de España.
- Congreso de Colombia. (1993). Por lo cual se crea el sistema de seguridad social integral y se dictan otras disposiciones. Ley 100 Artículo 159, numeral 2.
- Constitución Política Colombiana. (1991). Título II. De los derechos, las garantías y los deberes. Capítulo II, Art 44, 48, 49, 50. Bogotá, Colombia.
- IMO (2012). “Adoption of the code on noise levels on board ships”. Resolution MSC 337 (91).
- ISO. (2000). “Mechanical Vibration - Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and merchants ships” ISO 6954
- ISO. (2014) “Mechanical Vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. ISO 10816.
- Ministerio de Salud. (1994). Manual de actividades, intervenciones y procedimientos del plan obligatorio de salud en el sistema general de seguridad social en salud. Resolución 5261.
- Ministerio de Salud. (1994). Por el cual se reglamenta parcialmente los servicios de urgencias y se dictan otras disposiciones. Decreto 412 de 1992 de la resolución 5261 de 1994.
- López O., Santos M. H. & Santos P. H. Ergonomía hospitalaria en Cuba. Hospital pediátrico universitaria “William Soler” y Clínica Central Cira García. La Habana, Cuba. *Revista Todo Hospital*. (1994). Ergonomía en el medio hospitalario. N111

Superintendencia Nacional de Salud. (1994). Por el cual se restructura la Superintendencia Nacional de salud. Decreto 1259.

Superintendencia Nacional de Salud. (1995). *Atención de Urgencias. Circular externa N014.*



## Catamaranes - Cualidades Propulsivas

Págs. 25-37

*Amadeo García Gómez<sup>a</sup> Juan Jesús Díaz Hernández<sup>b</sup>*

<sup>a</sup> Doctor Ingeniero Naval, Jefe del Área de Proyectos de El Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR), amadeo@cehipar.es

<sup>b</sup> Ingeniero Naval, Isdefe, jjdiazhernandez@gmail.com

---

### Resumen

Durante la última década el empleo de buques catamarán, en aplicaciones civiles y militares, se ha desarrollado rápidamente. Su particular área de actuación ha sido el denominado “short sea shipping” donde sus características de potencia, economía, habitabilidad y comportamiento en la mar le han conferido un nicho de mercado. Su rápido crecimiento, ha hecho que este tipo de buques hayan experimentado importantes modificaciones (tamaño, velocidad, diversidad de carga, etc.). Sin embargo, incluso a día de hoy, existen ciertas limitaciones de fiabilidad en la información pública existente en el área de aplicaciones militares. Este artículo dará a conocer el trabajo desarrollado por el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR) en materia de cualidades propulsivas de buques catamaranes.

**Palabras claves:** Catamaranes, comportamiento en la mar, resistencia al avance, cualidades propulsivas.

### Abstract

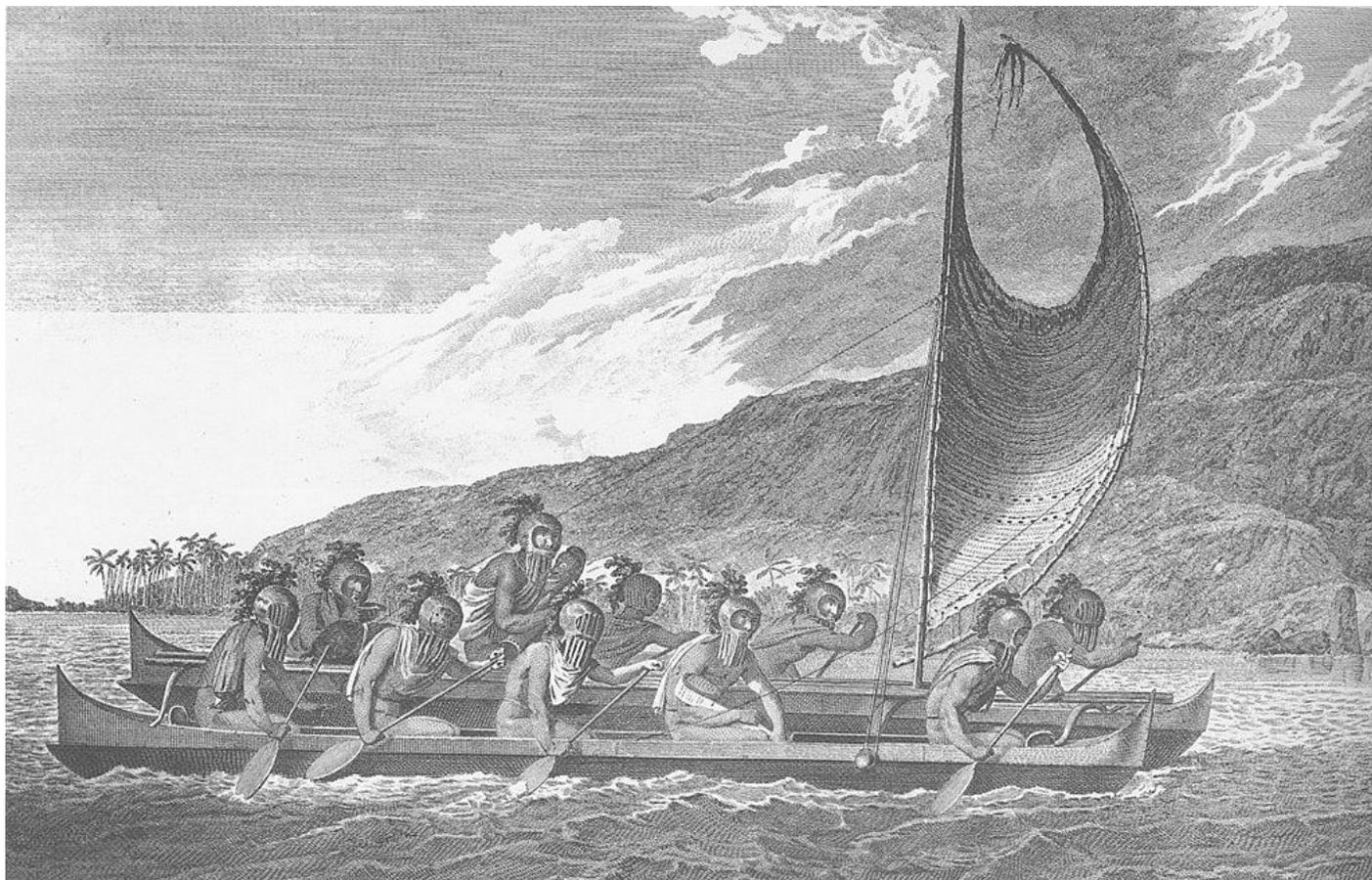
During the last decade the civil and military applications of catamaran ships have experienced a rapidly increase. Their particular area of proliferation is the short sea shipping where they show considerable superiority over competitive designs in attributes such as power requirements, economy, space availability and seakeeping. The rapid growth has led to the need for an expanded range of catamaran designs (in terms of size, speed, and payload diversity). However, even now, there is a scarcity of publicly available preliminary known on military applications. The purpose of this article is to present the work done by El Pardo Hydrodynamics Model Basin (CEHIPAR) on catamaran propulsive qualities.

**Keywords:** Catamaran, seakeeping, totalresistance, propulsive qualities.

---

*Fecha de recepción: Junio de 2015*

*Fecha de aceptación: Agosto de 2015*



**Figura 1.** Catamarán de la Polinesia

Fuente: User:Makthorpe - Artist: John Webber, artist aboard Cook's ship. Source: Scanned from page 20 of the following book. Grant, Glenn (2004) Hawai`i Looking Back: An illustrated History of the Islands, Mutual Publishing, pp. 454pp recogida en <https://es.wikipedia.org/wiki/Catamar%C3%A1n>

## 1. INTRODUCCIÓN

Allá por el año 1697, William Dampier, capitán de barco inglés, ocasional bucanero y corsario, al mismo tiempo que un excelente escritor, botánico y observador científico, viajando por la costa sur-occidental de la India en busca de oportunidades de negocio, encontró una especie de nave hecha con poco más que unos troncos unidos entre sí, de los que escribió: “... *en la Costa de Malabar existen unas embarcaciones que ellos llaman catamaranes. Son un madero, o dos, a veces de una especie de madera ligera, que llevan a un solo hombre, cuyas piernas y nalgas están siempre en el agua...*”.

El empleo de este tipo de embarcaciones se ha llegado a constatar incluso en épocas prehistóricas, donde se ha comprobado que los navegantes austronesios utilizaban canoas de doble casco para colonizar la Polinesia y asentarse en el grupo de islas más extendido del planeta.

El primer catamarán documentado de la Europa moderna, fue diseñado en 1662 por William Petty, miembro de la Royal Society, éste fue concebido para navegar más rápido, en aguas poco profundas y con menos tripulación que otras embarcaciones de la época (Millward, 1992).

Es a comienzos del año 2002, cuando la Armada Norteamericana comenzó a construir una nueva generación de buques con el fin de derrotar las nuevas amenazas asimétricas, estas nuevas unidades fueron denominadas “Littoral Combat Ship” (LCS), y su diseño y

fabricación han revolucionado completamente el panorama mundial de este tipo de buques, al sustituir su estructura tradicional, por una estructura revolucionaria basada en soluciones multicasco, con el objetivo de conseguir velocidades superiores a los 45 nudos, cubiertas mayores de vuelo para helicópteros, así como un aumento considerable de espacios interiores.

La finalidad prioritaria del proyecto de investigación que dio pie a este trabajo, fue el estudio de la influencia de la separación de los cascos (Zaghi, Broglia y di Mascio, 2010) en la resistencia al avance de los mismos y, por consiguiente, la potencia requerida a bordo.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1. Recopilación y clasificación de la información disponible en el CEHIPAR

El CEHIPAR, es un organismo de reconocido prestigio a nivel internacional que realiza trabajos de proyectos, experimentación e investigación para organismos, astilleros, navieros, oficinas de ingeniería, fabricantes y particulares, y ha sido el encargado en este caso de recopilar y clasificar toda la información referida a los datos de carena y ensayos de remolque.

Entre los estudios realizados destacan, la importancia e influencia de la separación de los cascos en la componente de la resistencia (Moraes, Vasconcellos y Latorre, 2004), además del análisis numérico de los cascos por separado y en su conjunto, actividades indispensables para conocer la precisión con que estos cálculos matemáticos nos permiten discernir en cada

caso sobre la bondad de las formas elegidas (Macfarlane y Daire, 2011).

Se emplearon diferentes carenas que formaban parte del stock de catamaranes del CEHIPAR, a las que además de los ensayos existentes de comportamiento en la mar, se han sumado los ensayos de remolque en los que se procede a restringir los seis grados de libertad de movimiento de aquellas.

Los estudios de hidrodinámica numérica se han realizado mediante cálculos de flujo viscoso para la correspondiente velocidad de proyecto y un análisis comparativo de las formas estudiadas mediante procedimientos ya desarrollados por el CEHIPAR. Para ello se han definido los parámetros dependientes de la geometría de la carena recogidos en la tabla siguiente.

**Tabla 1.** Parámetros de la geometría de la carena .

H	Escala del modelo
$S_{CD}$	Superficie mojada de la carena sin apéndices [ $m^2$ ]
$S_{AP}$	Superficie mojada de la carena con apéndices [ $m^2$ ]
$L_{PP}$	Eslora entre perpendiculares [m]
$L_{WL}$	Eslora en la flotación [m]
$L_{DES}$	Eslora de desplazamiento (máxima eslora sumergida) [m]
$A_T$	Área transversal expuesta al viento [ $m^2$ ]

Valores medidos en ensayos de resistencia (M: subíndice modelo, S: subíndice buque).

**Tabla 2.** Valores medidos de Resistencia

$V_M$	Velocidad del modelo [m/s]
$R_{TMCD}$	Resistencia total del modelo de carena sin apéndices [Kg]
$R_{TMAP}$	Resistencia total del modelo de carena con apéndices [Kg]
$\Delta R_{TMAP}$	$R_{TMAP} - R_{TMCD}$ [Kg]

Coeficientes adimensionales (M: subíndice

**Tabla 3.** Coeficientes adimensionales.

$C_{AA}$	Coeficiente de resistencia añadida por viento [ $\frac{\Delta T}{S} * 10^{-3}$ ]
$C_F$	Coeficiente de fricción según ITTC'57
$C_{TMCD}$	Coeficiente de resistencia total del modelo de carena sin apéndices
$C_{TMAP}$	Coeficiente de resistencia total del modelo de carena con apéndices
$C_{RMCD}$	Coeficiente de resistencia residual del modelo de carena sin apéndices
$C_{RMAP}$	Coeficiente de resistencia residual del modelo de carena con apéndices
$C_{TSCD}$	Coeficiente de resistencia total de la carena sin apéndices
$C_{TSAP}$	Coeficiente de resistencia total de la carena con apéndices
$C_{RSCD}^{\Delta}$	Coeficiente de resistencia residual de la carena sin apéndices
$C_{RSAP}$	Coeficiente de resistencia residual de la carena con apéndices
$\Delta C_F$	Coeficiente de resistencia por rugosidad [ $(105 * (\frac{K_S}{L_{DES}})^{2/3} - 0.64) * 10^{-3}$ ]
$K_{CD}$	Factor de forma de la carena sin apéndices
$K_{AP}$	Factor de forma de la carena con apéndices
$Re$	Número de Reynolds [ $\frac{V * L}{\nu}$ ]
$Fr$	Número de Froude [ $\frac{V}{\sqrt{g * L}}$ ]

Constantes empleadas.

**Tabla 4.** Constantes

$\nu$	Viscosidad cinemática [ $m^2/s$ ]
$\rho$	Densidad de masa [ $Kg * s^2/m^4$ ]
$g$	Constante gravitatoria [ $m/s^2$ ]
$K_S$	Altura media de la rugosidad de la carena. Valor estándar $150 * 10^{-6}$ [m]

modelo, S: subíndice buque).

mediante un programa informático desarrollado por el CEHIPAR, con el que se han determinado los coeficientes de resistencia total del modelo (CTMCD), así como el coeficiente de resistencia residual (CRMCD),

ambos para carenas sin apéndices:

$$C_{TMCD} = \frac{R_{TMCD}}{\frac{1}{2}\rho S_{MCD} V_M^2} = (1 + k_{CD}) * C_{FM} + C_{RMCD} \quad \text{Ecuación [1]}$$

$$C_{RMCD} = \frac{R_{RMCD}}{\frac{1}{2}\rho S_{MCD} V_M^2} \quad \text{Ecuación [2]}$$

Donde el factor de forma  $k_{CD}$  se determina bien mediante el análisis de los resultados experimentales realizados para números de Froude comprendidos entre 0,12 y 0,2, bien por el método de Prohaska o método del mínimo propuesto por Hughes, verificados todos ellos con la estadística de buques similares ensayados. Sabiendo que el coeficiente residual sin apéndices ( $C_{RMCD}$ ) es igual para modelo y buque y que no hay efecto de escala en el factor de forma  $k_{CD}$ , se determina el coeficiente de resistencia total de la carena sin apéndices:

$$C_{TSCD} = \frac{R_{TSCD}}{\frac{1}{2}\rho S_{SCD} V_S^2} = (1 + k_{CD}) * C_{FS} + C_{RMCD} + \Delta C_F + C_{AA} \quad \text{Ecuación [3]}$$

De donde se obtiene el valor de la resistencia sin apéndices del buque real:

$$R_{TSCD} = C_{TSCD} * \frac{1}{2}\rho S_{SCD} V_S^2 \quad \text{Ecuación [4]}$$

Siendo la potencia efectiva:

$$P_E = \frac{R_{TSCD} * V_S}{75} \quad \text{Ecuación [5]}$$

Cuando el ensayo de la carena se realiza con los apéndices presentes en la misma y no se dispone del correspondiente ensayo de remolque de la carena sin apéndices, la extrapolación del ensayo con apéndices se realiza de forma análoga a lo indicado para la carena sin apéndices, salvo que se indique expresamente lo

$$\Delta R_{TMAP} = R_{TMAP} - R_{TMCD} \quad \text{Ecuación [6]}$$

$$\Delta C_{TMAP} = \frac{\Delta R_{TMCD}}{\frac{1}{2}\rho S_{MAP} V_M^2} \quad \text{Ecuación [7]}$$

El valor del incremento del coeficiente de resistencia para el buque real se determina mediante la expresión:

$$\Delta C_{TSAP} = \Delta C_{TMAP} * \frac{C_{FS}}{C_{FM}} \quad \text{Ecuación [8]}$$

$$C_{TSAP} = ((1 + k_{CD}) * C_{FS} + C_{RMCD}) * \frac{S_{CD}}{S_{AP}} + \Delta C_{TSAP} + \Delta C_F + C_{AA} \quad \text{Ecuación [9]}$$

Obteniendo finalmente el valor de la resistencia total del buque con apéndices:

$$R_{TSCD} = C_{TSAP} * \frac{1}{2}\rho S_{AP} V_S^2 \quad \text{Ecuación [10]}$$

Analizada y clasificada la información, se procedió al estudio de mercado para este tipo de embarcaciones, así como al estudio de los ratios de velocidad, capacidad y distancia en ruta para que sean ventajosos respecto a las embarcaciones monocasco, determinándose y recogiendo las características básicas de catamaranes de aplicación militar de la base de datos generada para el desarrollo del presente estudio.

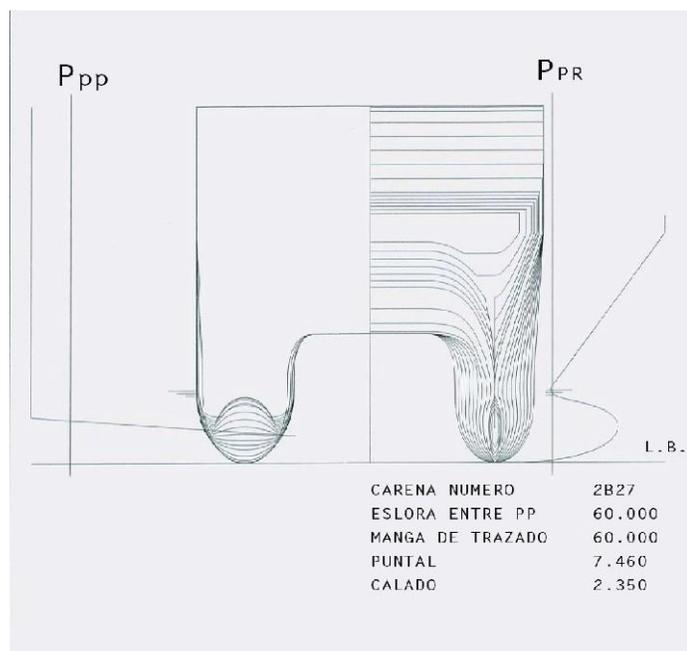
### 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Se estudiaron los dos tipos generales de carena para cada uno de los cascos que componen un catamarán: formas simétricas y asimétricas. En ambos casos la contrario.

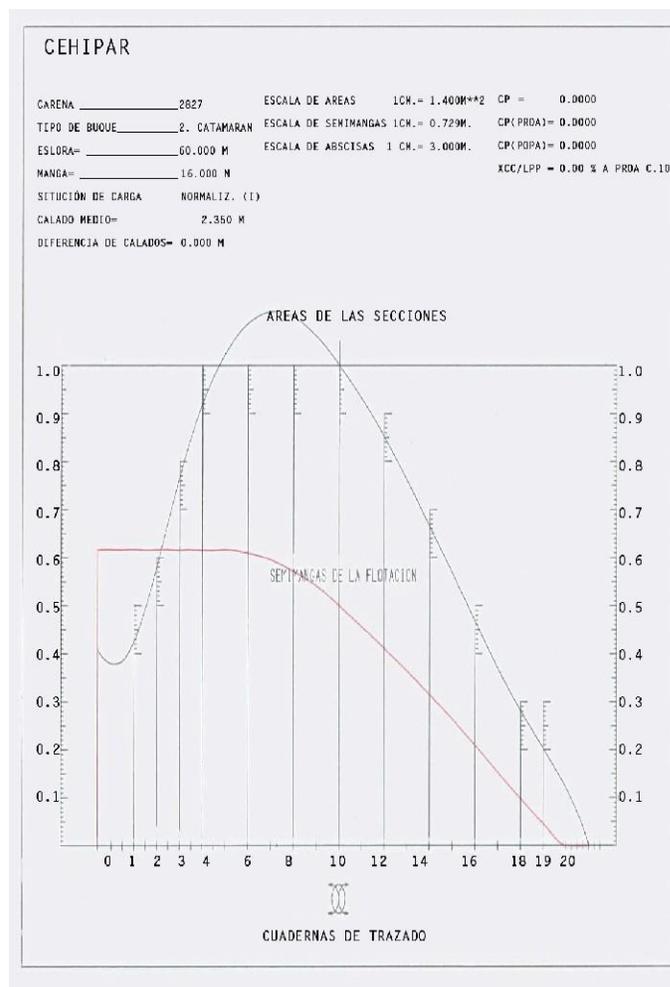
resistencia es importante. Se realizó un análisis numérico de los cascos por separado y en su conjunto, para discernir en cada caso la bondad de las formas elegidas (Michel, 1898).

### 3.1. Estudio de hidrodinámica numérica mediante cálculos de flujo viscoso

El empleo de programas CFD (Salas, Sahoo y Luco, 2008) para simular el comportamiento de sistemas relacionados con el flujo de fluidos, transferencia de calor y otros procesos físicos, nos permiten resolver las ecuaciones que determinan el flujo del fluido en la región de interés bajo unas condiciones preestablecidas en las fronteras de dicha región. Es de sobra conocido que el conjunto de ecuaciones que describen este tipo de procesos físicos son las ecuaciones de Navier-Stokes. Estas ecuaciones no tienen una solución analítica general pero pueden ser discretizadas y resueltas numéricamente. Los cálculos se realizaron con un CFD de ANSYS y se eligió una de las carenas de stock. En las figuras siguientes se muestran en detalle el transversal de cuadernas y contornos, así como la vista general de la carena.



**Figura 2.** Transversal de cuadernas y contornos  
Fuente: CEHIPAR

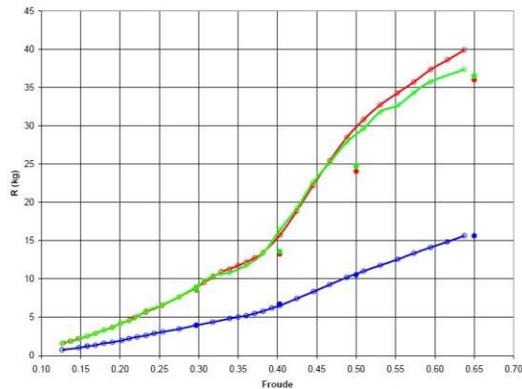


**Figura 3.** Curva de áreas y flotación  
Fuente: CEHIPAR

Los cálculos se realizaron para una configuración monocasco y dos tipo catamarán, con una separación entre cascos de 9 y 11,5 m respectivamente, siempre con carena desnuda a escala modelo, en 4 regímenes de velocidad distintas.

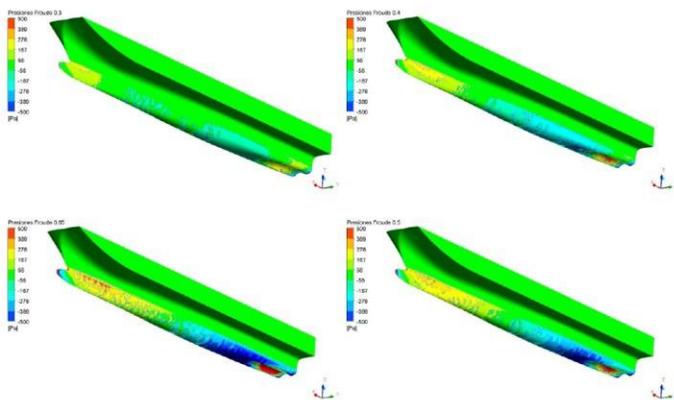
Los movimientos de las carenas han sido restringidos en sus seis grados de libertad. En el caso del monocasco (Thomas, Tomic y Tuite, 2006), no tiene sentido dejar libre al barco, mientras que en el caso de los catamaranes, el tiempo computacional hubiera sido excesivo por el gran número de elementos que componen la

mallas, al no poderse aplicar la condición de simetría como consecuencia de la interferencia entre los cascos. A continuación se muestran algunos de los resultados obtenidos.



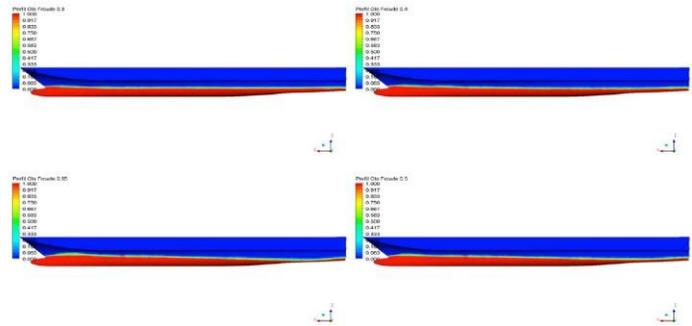
**Figura 4.** Comparación entre los resultados de resistencia al avance. Ensayos vs CFD

Fuente: CEHIPAR



**Figura 5.** Distribución de presión y velocidades sobre la carena para una separación de 9 m

Fuente: CEHIPAR



**Figura 6.** Perfil de ola y mapa de olas generadas para una separación de 9 m

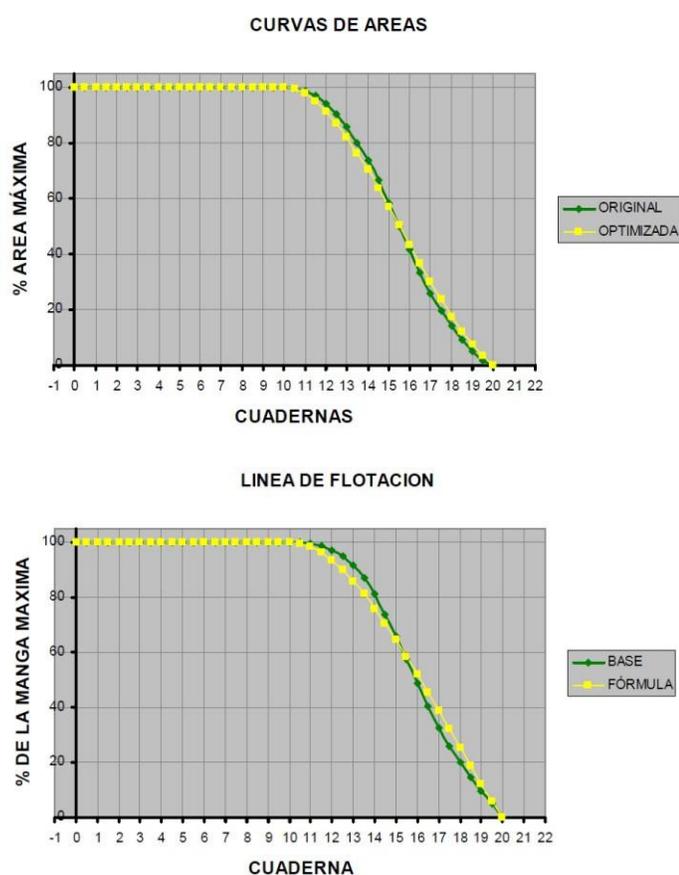
Fuente: CEHIPAR

Teniendo en cuenta los resultados mostrados, se deduce que los cálculos por CFD son válidos para la definición y optimización de carenas monocasco, puesto que, como se observa, las diferencias con los valores de ensayo son mínimas y aceptables. Sin embargo, no se puede decir lo mismo en el caso de los catamaranes, donde los resultados de CFD no tienen el nivel de precisión exigidos, obteniéndose siempre resultados más optimistas que en los ensayos. A su vez, se observa que apenas existen diferencias entre los puntos obtenidos para las dos separaciones entre cascos estudiados, por lo que no parece que la utilización de CFD sea la opción más adecuada con el fin de optimizar la distancia entre los mismos.

### 3.2. Análisis comparativo de formas

Se llevó a cabo una evaluación de la curva de áreas y flotación de la carena, analizando las formas adoptadas para cada uno de los cascos, sin evaluar la idoneidad de casco simétrico o bien uno asimétrico, así como la separación entre los mismos. Señalar que cuando se procede a la modificación de una carena para obtener la curva de áreas optimizada, podrían alcanzarse unas reducciones considerables de la resistencia viscosa. En el caso de obtener economías de potencia muy

llamativas, es preciso tomar con prudencia esos valores, ya que aunque la variación de la potencia con los coeficientes  $C_{ca}$  y  $C_{cf}$  sea lineal, al encontrarse la aplicación en una fase de desarrollo, no existen garantías sobre la linealidad hasta el origen. A continuación se muestran algunos resultados de las carenas ensayadas.



**Figura 7.** Curva de áreas original y optimizada. Flotación original y optimizada  
Fuente: CEHIPAR

Una modificación del “shoulder” de proa de la curva de áreas original, ha conseguido reducir en casi un 10% la resistencia viscosa a la velocidad de 21 nudos. Por otro lado, y para la misma velocidad, una modificación en la curva de flotación, ha conseguido reducir la resistencia por formación de olas, por enci-

ma del 15%, valor muy significativo debido al gran peso específico que tiene ésta sobre la resistencia total.

### 3.3. Influencia relativa de las componentes de la resistencia

Para el proyecto de formas de carena con un comportamiento optimizado en resistencia y por tanto en consumo de combustible, es necesario tener una visión lo más exacta posible de cómo influyen en la resistencia cada una de las componentes, tratadas de manera individual, así como en su conjunto. Para buques tipo catamarán es preciso un conocimiento detallado de la interacción de los cascos, estudio no necesario en el caso de buques monocasco y, con grandes diferencias respecto a los buques tipo trimarán (García y Riola, 2013) ya que en éstos, el 90% del volumen de desplazamiento se encuentra en el casco central.

En general, la resistencia de un buque se suele descomponer en resistencia viscosa y residual. La viscosa se compone de resistencia de presión y de fricción, mientras que la residual se compone principalmente de la resistencia por la formación de olas que el propio buque genera en su desplazamiento por el agua a una determinada velocidad y por otras componentes en general menores como puedan ser olas rompientes, rugosidad, interacción viscosidad-olas, etc. (Doctors, 2003). En los buques tipo catamarán se produce además un fenómeno particular que es la interferencia entre los dos cascos que componen la carena y que da lugar a la llamada resistencia de interferencia (Broglia, Zaghi y Di Mascio, 2011).

En base a los resultados experimentales de las carenas ensayadas en esta investigación, se trata de analizar las tres componentes de la resistencia: viscosa, residual e interferencia. Para ello se han llevado a cabo con cada carena de catamarán tres ensayos de remolque, habiéndose primeramente ensayado cada uno de los cascos de manera individualizada. Este ensayo se realiza necesariamente con el dinamómetro de seis componentes ya que el casco individual no tiene estabilidad propia y por tanto se ensaya con el modelo cautivo, es decir, no se ha permitido que el modelo del casco singular tome asientos dinámicos.

Los ensayos de remolque de las carenas de los catamaranes se han llevado a cabo en la forma habitual, dejando que el modelo tome el trimado dinámico para cada velocidad. La extrapolación de los resultados obtenidos de los ensayos de remolque ha sido realizada según las indicaciones de la ITTC'78.

### Estudio de la resistencia viscosa. Determinación del factor de forma

Como se ha comentado, la resistencia viscosa se compone de resistencia de presión y de fricción. El coeficiente de resistencia viscosa viene dado por la expresión:

$$C_V = (1 + k) * C_F \quad \text{Ecuación [11]}$$

Donde  $C_F$  es el coeficiente de la resistencia de fricción, calculado por la expresión dada por la ITTC'57 para la línea básica de correlación modelo – buque:

$$C_F = \frac{0,075}{(\log R_e - 2)^2} \quad \text{Ecuación [12]}$$

Siendo  $R_n$  el número adimensional de Reynolds, dependiente de la velocidad  $V$ , de la eslora de desplazamiento o eslora máxima sumergida

$$R_e = \frac{V * L_{DESP}}{\nu} \quad \text{Ecuación [13]}$$

El coeficiente  $k$ , que aparece en la expresión del coeficiente  $C_V$  de resistencia viscosa, asume la diferencia de forma entre una placa plana y el buque, existiendo distintos procedimientos para su determinación, si bien, con independencia del método utilizado, su valor debería ser prácticamente el mismo.

El factor de forma  $k$  se calcula mediante el método Prohaska, en la forma indicada por la ITTC, para el casco individual, así como para las carenas tipo catamarán. De los resultados que se obtuvieron se dedujo que se debería aceptar como una práctica razonable el adoptar para un catamarán el mismo factor de forma que el obtenido al ensayar un único casco, al obtenerse resultados ligeramente más conservadores.

### Estudio de la resistencia por formación de olas

De la misma manera que ocurriera en el caso del estudio de la resistencia viscosa, para el cálculo de la resistencia por formación de olas se procedió a ensayar los cuatro modelos de carena seleccionados anteriormente, en las situaciones de monocasco y catamarán con dos separaciones de casco distintas, realizándose a su vez el análisis de los resultados extrapolados al buque real utilizando los coeficientes de forma obtenidos por el método Prohaska para cada ensayo, así como el perteneciente al casco único.

### Estudio de la resistencia de interferencia entre los dos cascos

Se estudiaron las variaciones del coeficiente de resistencia residual  $SC_w$ , en función del número de Froude ( $F_n$ ) para cada una de las carenas y separaciones entre cascos estudiadas, observándose que para el catamarán más pequeño de los ensayados, la resistencia de interferencia llega a anularse para valores muy altos de al encontrarnos en zona de planeo donde el valor de la resistencia por formación de olas es prácticamente independiente de las formas, además de apreciarse una considerable influencia en la misma de la separación entre cascos. Por el contrario, y para el resto de carenas, se observa que hasta un valor aproximado de  $F_n$  de 0,4 la resistencia de interferencia es prácticamente independiente de la separación entre cascos.

Como resumen, en la siguiente figura se muestran las distintas componentes de la resistencia de remolque pudiéndose apreciar la importancia relativa de cada una de ellas, de modo, que al desarrollar un proyecto, se puede tener claro el orden de magnitud que cabría esperar de una optimización de formas.

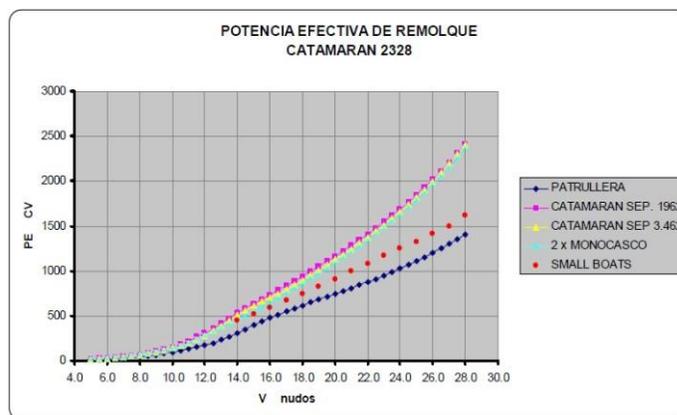


**Figura 8.** Componentes de la resistencia  
Fuente: CEHIPAR

### 3.4. Análisis de resultados y validación de procedimientos

#### Aplicabilidad de plataformas tipo catamarán, desde el punto de vista propulsivo

Se ha utilizado el programa MJ-3A (García y Bobo, 1999) de predicción de potencia-velocidad para buques rápidos, para comparar los resultados con una patrullera, de la misma eslora y desplazamiento que cada uno de los cuatro catamaranes ensayados, concluyéndose que la patrullera tiene un comportamiento propulsivo mucho mejor que el catamarán aun cuando el de éste, se mantiene muy similar no sólo al variar la separación entre cascos, sino también con respecto a los cascos considerados aisladamente. La posibilidad de mejorar la resistencia de las formas de esta carena de catamarán no justifica la diferencia con la carena convencional de la patrullera. Para comprobar este extremo, se ha realizado otra predicción de potencia-velocidad para la carena convencional utilizando el programa SMALL BOATS para obtener predicciones rápidas para buques pequeños de alta velocidad y que si bien no tiene la fiabilidad de otros métodos, si dan una orientación inicial suficiente para cierto tipo de buques.



**Figura 9.** Potencia efectiva de remolque  
Fuente: CEHIPAR

Desde el punto de vista propulsivo, y a la vista de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, se debe estudiar la posibilidad de adoptar formas de carena tipo catamarán dentro del rango de los 40 a 70 m de eslora. No deben olvidarse otra serie de factores a la hora de la elección del tipo de buque, como pudieran ser los aspectos positivos de un buque catamarán en cuanto a la amplitud de cubiertas con la versatilidad que ello confiere al buque, como los aspectos negativos referidos a la necesidad de un sistema de control más sofisticado para conseguir la mejora del comportamiento en la mar (Riola, Pérez, y Díaz, 2013).

#### **Estimación de la resistencia al avance para buques tipo catamarán**

Con los datos obtenidos en esta investigación no es posible elaborar un procedimiento de predicción generalizado para todos los catamaranes pero sí dar unas indicaciones que permitan tener una idea aproximada de los valores de resistencia para un catamarán en el rango de valores de los buques aquí estudiados.

La elección de la geometría del catamarán pasa por optimizar en primer lugar cada uno de los monocascos, bien simétricos bien asimétricos, dependiendo de la misión del buque y del rango de velocidades. En el caso de monocascos simétricos, su proyecto se puede abordar con el mismo criterio de optimización de los buques de un solo casco.

Las formas del monocasco se valoran mediante la variación sistemática de los distintos parámetros que las gobiernan y el ensayo de los modelos correspondientes.

El cálculo del factor de forma inicial,  $k$ , permite

conocer la resistencia de fricción. En cuanto a la componente de olas, se calcula el número de  $F_n$  para el que es máxima la resistencia y los valores aproximados de  $C_w$  para distintos  $F_n$  en función del parámetro  $L_{pp}/\Delta^{1/3}$ .

Con una precisión semejante se puede también conocer los valores de la resistencia total, utilizando para ello las fórmulas de la correlación de  $R/\Delta$  de todas las carenas de la base de datos en función de  $L_{pp}/\Delta^{1/3}$ . El valor de  $R^2$  es superior a 0.85 para  $F_n$  entre 0.5 y 0.6.

#### **4. CONCLUSIONES**

El trabajo realizado ha venido a constatar el gran interés que tiene profundizar en el conocimiento de la hidrodinámica de buques multicasco, como es el caso de los catamaranes. Con los datos obtenidos en esta investigación se pretende dar unas indicaciones que permitan tener una idea aproximada de los valores de resistencia para un catamarán, en el rango de valores de los buques aquí estudiados.

La elección de la geometría del catamarán pasa por optimizar en primer lugar cada uno de los monocascos integrantes, donde las formas tienen que ser valoradas mediante la variación sistemática de los distintos parámetros que las gobiernan y el ensayo de los modelos correspondientes. De esta manera, optimizaciones en la curva de área, así como en la flotación de la carena manteniendo el desplazamiento de la original, llevan asociadas notables reducciones en la resistencia al avance.

La incorporación del buque multicasco en la industria naval ha traspasado fronteras. Se ha convertido en la tendencia actual de construcción para la flota de la

“U.S.Navy” de aplicación en los “*Littoral Combat Ships LCS*”, en contraposición a la estructura monocasco de los mismos de principios de nuestro siglo.

Del trabajo presentado se extrae que el empleo de las herramientas CFD es de gran utilidad para la definición y optimización de los cascos por separado, sin embargo los niveles de precisión que se han obtenido para estudiar la hidrodinámica del buque con ambos cascos no alcanzan el nivel de precisión exigido, obteniéndose siempre resultados más optimistas que en los ensayos. Una de las razones que se extrajo de ello fue que este aspecto podría derivarse del hecho de no dejar libre al barco durante las simulaciones o bien la razón por la que se decantó es que esta merma de calidad en los resultados de CFD, para las configuraciones con ambos cascos, probablemente se deba a que no se simule correctamente la interacción entre los mismos, debido a que las técnicas de mallado utilizadas para buques monocascos no son válidas en estos casos, y sea necesaria la utilización de mallas más finas en la zona comprendida entre ambos cascos y tal vez otro modelo de turbulencia.

Al cierre de los trabajos, se resalta la conveniencia de seguir profundizando en el estudio de este tipo de buques con el fin de poder conseguir la optimización total de los mismos desde un punto de vista propulsivo, sin olvidar los aspectos técnicos y económicos.

## REFERENCIAS

- Broglia, R., Zaghi, S. & Di Mascio, A. (2011). Numerical Simulation of Interference Effects for a High-Speed Catamaran. *Journal of Marine Science and Technology*, 16, 254-269.
- Doctors, L. (April, 2003). *The Influence of Viscosity on the Wavemaking of a Model Catamaran*. (Trabajo presentado en el 8th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies). Le Croisic, France.
- García, A y Bobo, M. (1999). *Programa MJ-3A. Predicción de potencia-velocidad para buques rápidos*. (Canal de experiencias de El Pardo). Madrid, España.
- García, A. y Riola, J. (Noviembre, 2013). *Proyecto hidrodinámico de un buque de escolta oceánico tipo trimarán: Dimensionamiento, diseño, estudio numérico y experimentación*. (Trabajo presentado en el Congreso DESE I+d). Madrid, España.
- Macfarlane, G. y Daire, N. (Septiembre, 2011). *The influence of catamaran hull form on added resistance in head seas*. (Trabajo presentado en el 11th International Conference on Fast sea transportation). Hawaii, USA.
- Michel, J. (1898). The wave resistance of a ship. *Philosophical magazine*, 45, 106-123.
- Millward, A. (1992). The effect of hull separation and restricted water depth on catamaran resistance. *Transactions of Royal Institute of Naval Architects*,

134, 341-349.

Moraes, H., Vasconcellos, J. & Latorre, R. G. (2004).

Wave resistance for high-speed catamarans, *Ocean Engineering*, 31, 2253-2282.

Riola, J., Pérez, R. y Díaz, J. (Octubre, 2013). *Análisis del comportamiento en la mar de buques de guerra multicasco*. (Trabajo presentado en el 52º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima). Madrid, España.

Salas, M., Sahoo P. & Luco, R. (2008). Avances en la estimación de la Resistencia de Catamaranes. *SHIP Science and technology*, 2, 39-46.

Thomas, G., Tomic, P. & Tuite, A. (December, 2006). *High-Speed catamaran or monohull? How do you choose?* (Trabajo presentado en la 5th Conference on high performance marine vehicles (HIPER '06)). Lancaster, Australia.

Zaghi, S., Broglia, R. y di Mascio, A. (2010). Experimental and numerical investigations on Fast Catamarans Interferente Effects. *Journal of Hydrodynamics*, Ser. B, 22(5), 545-549.



# Desarrollo de un Programa para el Cálculo de la Carga Térmica en Sistemas de Climatización de Embarcaciones

Págs. 39-52

*Juan Andrés Ardila Jiménez<sup>a</sup>*

<sup>a</sup> Diseñador de maquinaria y propulsión en COTECMAR. [jardila@cotecmar.com](mailto:jardila@cotecmar.com)

---

## Resumen

Los sistemas de aire acondicionado y ventilación son parte fundamental en el diseño de embarcaciones, constituyen uno de los grandes retos tanto para diseñadores como para la fabricación e instalación de los elementos. El cálculo de la carga térmica es por tanto un punto clave en el diseño y se toma como punto de partida para el dimensionamiento de todo el sistema. El presente trabajo muestra el desarrollo del programa “HVAC FOR SHIPS” como herramienta para realizar el cálculo de la carga térmica de embarcaciones de una forma más precisa y optimizando el tiempo requerido para el cálculo.

**Palabras claves:** HVAC FOR SHIPS, HVAC, Cálculo de carga térmica, sistemas de aire acondicionado en buques, software, VB.NET.

## Abstract

HVAC systems are a fundamental part in the design of ships; they are one of the biggest challenges for design, manufacture and installation of the elements. The calculation of the heat load is therefore a key point in the design and takes as a starting point for the design of the entire system. This paper presents the development of the "HVAC FOR SHIPS" program as a tool for the calculation of the thermal load of ships in a more precise way and optimizing the time required for the calculation.

**Keywords:** HVAC FOR SHIPS, HVAC, heat load calculations, air conditioning systems on ships, software, VB.NET.

---

*Fecha de recepción: Abril de 2015*

*Fecha de aceptación: Julio de 2015*

## 1. INTRODUCCIÓN

En el diseño de una embarcación durante sus diferentes etapas, los sistemas de climatización y aire acondicionado constituyen uno de los retos más importantes del diseño, debido a que estos sistemas impactan de forma significativa el tamaño de las tuberías, ductos, difusores, unidades manejadoras, calderas, unidades de refrigeración, compresores, ventiladores y todos los demás componentes en el sistema. Por tal motivo se ven impactados significativamente los costos iniciales de construcción y claramente el costo del consumo energético de la embarcación.

Tal como lo manifiesta (De Góngora, 2005) “En los aspectos más difíciles de equipamiento de diseño en la construcción naval están los sistemas HVAC. Debido a sus propias características, el diseño de los sistemas de HVAC es muy sensible, no sólo a las modificaciones en las necesidades de aire, sino también a la disposición real de los ductos. Debido a esto, es de mucha ayuda para el diseñador de tener una estrecha interconexión entre las herramientas de cálculo y las herramientas de enrutamiento de ductos”.

El cálculo de la carga térmica de una embarcación consiste en determinar la cantidad de energía térmica que la embarcación debe rechazar para mantener sus espacios interiores a unas determinadas condiciones de temperatura de confort y humedad relativa. Este cálculo se realiza desde la etapa de diseño conceptual de la embarcación y debe ser constantemente revisado y actualizado conforme va avanzado el desarrollo de los proyectos.

El presente trabajo explica y muestra en qué consiste el programa “HVAC FOR SHIPS”, un programa computacional que permita realizar el cálculo de la carga térmica para embarcaciones, tomando como punto de partida el plano de arreglo general de la embarcación, los requerimientos de confort y las características de cada espacio. Se incluye dentro de las características la configuración y tipo de asilamiento que tienen las fronteras de los compartimentos, el número de personas que ocupan el espacio y los equipos instalados en el compartimento entre otros.

## 2. METODOLOGIA DE CÁLCULO

Para el cálculo de la carga térmica se siguen los lineamientos de la norma (ISO 7547, 2002) y el documento “prácticas recomendadas para el cálculo de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado en buques mercantes” (SNAME, 1980), haciendo algunas modificaciones y consolidando un método completo y preciso.

En el procedimiento se inicia describiendo las condiciones de diseño recomendadas, junto con las constantes que se utilizarán en el cálculo. A continuación se describen los tipos de cargas que van a ser calculadas para los compartimentos y cuales ecuaciones van a ser utilizadas en los respectivos cálculos.

### 2.1. Condiciones de diseño

Para la realización del cálculo es indispensable establecer las condiciones de diseño, estas serán utilizadas durante todo el proceso y el armador debe estar de acuerdo con los valores que se van a utilizar, esta información incluye los siguientes ítems:

- Temperatura de bulbo seco exterior
- Humedad relativa exterior
- Temperatura al interior de los compartimentos
- Humedad al interior de los compartimentos
- Temperatura de agua de mar

En la Tabla 1, se resumen las condiciones exteriores e interiores recomendadas para las temperaturas de bulbo seco y humedades relativas tanto interiores como exteriores.

Respecto a la temperatura de confort al interior de los compartimentos, la (ASHRAE, 2010) recomienda trabajar en el rango de 22 a 27°C.

**Tabla 1.** Condiciones de diseño recomendadas.

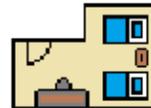
Descripción	Unid.	Valor
Temperatura de bulbo seco de aire exterior	[ °C ]	35
Humedad relativa exterior	[ % ]	70
Temperatura de bulbo seco de aire interior	[ °C ]	25
Humedad relativa interior	[ % ]	50
Temperatura de agua de mar	[ °C ]	32

La figura 1 muestra la sumatoria de cargas que se requiere realizar para encontrar la carga térmica de la embarcación.

**k=Número de cubiertas**



**j=Número de compartimentos en la cubierta k**



**P=Número de fronteras de cada espacio acondicionado.**

$\Sigma$

1. Cargas por transmisión de calor [W]
2. Cargas por radiación solar [W]
3. Cargas por iluminación [W]
4. Carga por personas en el compartimento [W]
5. Carga por equipos instalados en el compartimento [W]

**Total carga térmica de la embarcación [W]**

**Figura 1.** Metodología de cálculo de la carga térmica de la embarcación

Fuente: tomado de tesis de grado de maestría en Ingeniería Naval “Desarrollo de un programa para el cálculo de la carga térmica en sistema de climatización de embarcaciones”

## 2.2. Cargas por transmisión de calor

La transmisión de calor se considera el flujo de calor sensible que pasa a través de las fronteras de los compartimentos cuando existe un diferencial de temperatura entre dos espacios, tanto en la norma (ISO 7547, 2002) y la guía (SNAME, 1980) se utilizan ecuaciones similares.

$$q_1 = \Delta T * \sum_{n=1}^{n=p} U_n * A_n$$

Donde

$q_1$  = Carga de transferencia de calor en el compartimento j en la cubierta k, [W]

$U_n$  = Coeficiente global de transferencia de calor para la frontera n,  $\left[\frac{W}{m^2 * K}\right]$

$A_n$  = Área de contacto entre un par de fronteras, de la frontera n,  $[m^2]$

El valor del área de contacto entre los dos espacios se calcula de acuerdo a los numerales 2.7. Respecto al coeficiente global de transferencia de calor este puede ser tomado de la referencia (SNAME, 1963), o de la tabla 3 de la referencia (ISO 7547, 2002) o finalmente ser calculado con la ecuación presentada en el mismo documento.

### 2.3. Carga por radiación solar

Es el calor sensible que fluye a través de un mamparo o cubierta del compartimento expuesto a la radiación solar, en este caso el delta de temperaturas entre los dos espacios es diferente. A continuación se presenta la ecuación a utilizar.

$$q_2 = \sum_{n=1}^{n=p} U_n * A_n * T_n$$

Donde

$q_2$  = Calor debido a la radiación solar, [kW]  
 $U_n$  = Coeficiente global de transferencia de calor para la frontera n,  $\left[\frac{W}{m^2 * K}\right]$   
 $A_n$  =

$T_n$  = Temperatura recomendada para la superficie, depende si es horizontal, vertical o a 45°, [K]

Si la frontera tiene ventanas o portillos la ecuación cambia así:

$T_n = 1$ , Temperatura recomendada para el vidrio, [K]

Donde

$A_n$  = Área de ventanas o portillos en la frontera,  $[m^2]$

$U_n = G_s$  = Factor de ganancia de calor por radiación en ventanas,  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

Los valores para  $U_n$  y  $T_n$  pueden ser tomados de la referencia (SNAME, 1963), (SNAME, 1980) y (ISO 7547, 2002).

### 2.4. Carga debida a personas

La carga debida a las personas en los compartimentos se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$q_3 = C_s * P$$

Y

$$q_4 = C_l * P$$

$q_3$  = Ganancia de calor sensible debida a personas, [W]  
 $q_4$  = Ganancia de calor latente

debida a personas, [W]

$C_s$  = Factor de disipación de Calor sensible, [W]

$C_l$  = Factor de disipación de Calor latente, [W]

$P$  = Número de personas en el compartimento

expuesta a radiación solar, [ $m^2$ ]

## 2.5. Carga térmica debida a iluminación

La carga térmica por iluminación se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación y constantes.

$$q_5 = A * L.C.$$

Donde

$q_5$  = Ganancia de calor debida a luminaria, [W]

$A$  = Área de la cubierta del compartimento, [ $m^2$ ]

$L.C.$  = Constante de carga para luminaria, [W]

Los valores de L.C. estarán de acuerdo a lo especificado por la (ISO 7547, 2002). El valor L.C. depende del tipo de compartimento.

## 2.6. Carga térmica debido a equipos

Cuando al interior de los compartimentos se tienen equipos y se cuenta con información sobre la disipación de calor de dichos equipos, las siguientes ecuaciones pueden ser utilizadas.

$$q_6 = q_{sd} * U.F.$$

Donde

$q_6$  = Ganancia de calor debida a equipos, [W]

$q_l$  = Ganancia de calor latente debida a equipos, [ $m^2$ ]

$q_{sd}$  = Calor sensible disipado por el equipo, [ $m^2$ ]

$U.F.$  = Factor de uso, [W]

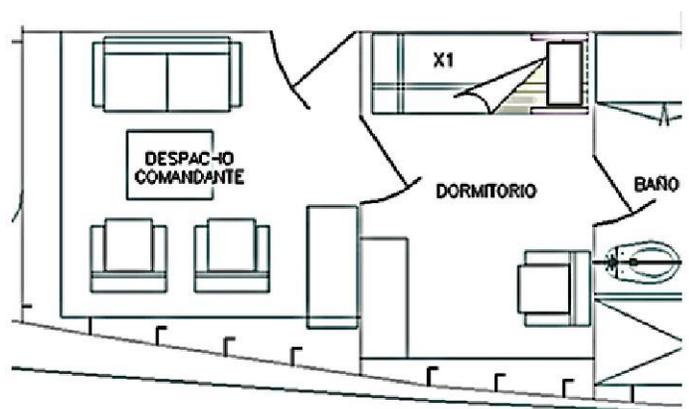
## 2.7. Definición de la geometría del buque

Otro de los datos requeridos para realizar el cálculo de la carga térmica es la definición geométrica y dimensional de los compartimentos así como las características de las fronteras de cada uno de los espacios.

Obtener esta información de forma sistemática y con las herramientas adecuadas proporcionará un ahorro de tiempo significativo en la elaboración de los cálculos.

En la Figura 2 se muestra un compartimento del buque ARC GLORIA, cada compartimento está compuesto por varias fronteras de forma simplificada podemos decir que como mínimo cada espacio debe tener 6 fronteras, como se listan a continuación:

- Frontera con cubierta superior
- Frontera con una cubierta inferior
- Frontera con espacios a babor
- Frontera con espacios a estribor
- Frontera con espacios a proa
- Frontera con espacios a popa



**Figura 2.** Fronteras de un compartimento

Fuente: tomado de tesis de grado de maestría en Ingeniería Naval “Desarrollo de un programa para el cálculo de la carga térmica en sistema de climatización de embarcaciones”

encontra- mos el área de la cubierta inferior, la altura entre cubierta inferior y cubierta superior y el volumen del compartimento. Sin embargo para el cálculo requiere

encontrar la relación entre compartimentos adyacentes, específicamente el valor del área en contacto entre compartimentos, adicionalmente es necesario conocer que áreas de los compartimentos estarán expuestas directamente al sol. En el numeral 2.7.1 se plantea la metodología y ecuaciones para calcular dichas áreas, posteriormente en las secciones 3.2.1 se muestra como se implementó estas metodologías en el programa.

2.7.1. Cálculo del área de contacto entre dos mamparos

El cálculo se realiza simplificando los compartimentos a polígonos irregulares en el plano X,Y. Cada uno de los compartimentos está compuesto por un número finito de fronteras y cada una de ellas tiene un punto (X,Y) de inicio y un punto (X,Y) final y así mismo una longitud entre sus dos vértices. En la Figura 3 se muestra la relación entre dos mamparos longitudinales, para encontrar el área de contacto se tiene el siguiente procedimiento:

Si se habla de mamparos longitudinales,

$$X_{min} = \min(X1, X2, X3, X4)$$

$$X_{max} = \max(X1, X2, X3, X4)$$

$$L1 = |X1 - X2|$$

$$L2 = |X3 - X4|$$

$$Si L_{max} < L1 + L2$$

$$Lc = |L_{max} - (L1 - L2)|$$

Si hablamos de mamparos transversales,

$$Y_{min} = \min(Y1, Y2, Y3, Y4)$$

$$Y_{max} = \max(Y1, Y2, Y3, Y4)$$

$$L1 = |Y1 - Y2|$$

$$L2 = |Y3 - Y4|$$

$$Si L_{max} < L1 + L2$$

$$Lc = |L_{max} - (L1 - L2)|$$

Una vez se obtiene el valor Lc, bien sea para los casos longitudinales o los casos transversales, el área de contacto entre las dos fronteras es calculada con la siguiente ecuación, donde Ac es el área de contacto y hc es la altura del compartimento, la cual es generalmente igual dado que los dos compartimentos en cuestión pertenecen a la misma cubierta.

$$Ac = Lc * hc$$

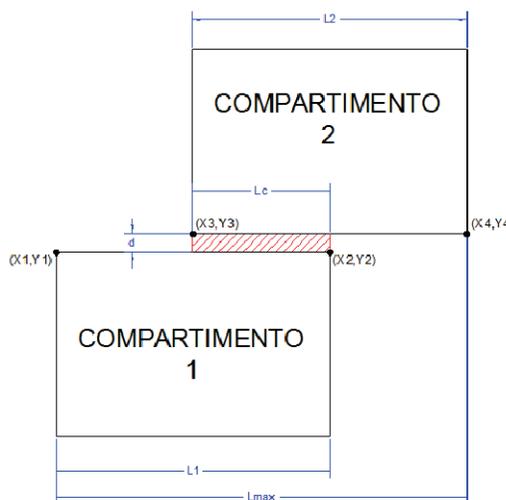
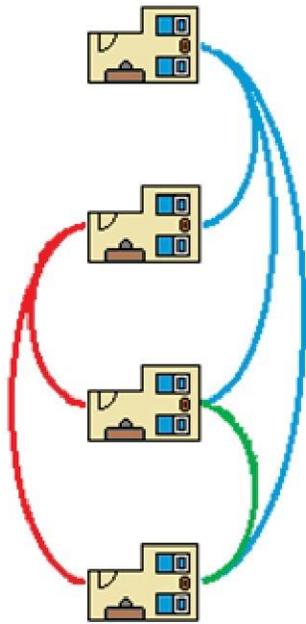


Figura 3. Área de contacto

Fuente: tomado de tesis de grado de maestría en Ingeniería Naval “Desarrollo de un programa para el cálculo de la carga térmica en sistema de climatización de embarcaciones”

Este procedimiento de cálculo debe realizarse para cada frontera de cada compartimento respecto a todas las fronteras de cada uno de los compartimentos que componen la cubierta, esto con el fin de determinar todas las áreas de contacto entre compartimentos. La Figura 4 muestra de forma simplificada el ciclo de comparación para una cubierta de cuatro compartimentos.



**Figura 4.** Comparación compartimentos

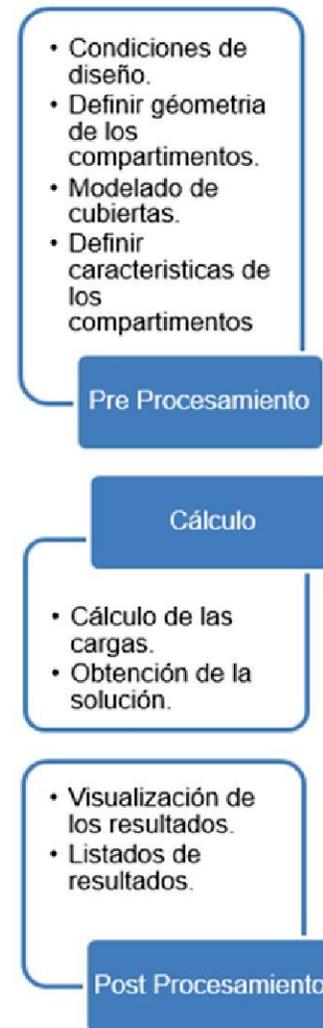
Fuente: tomado de tesis de grado de maestría en Ingeniería Naval “Desarrollo de un programa para el cálculo de la carga térmica en sistema de climatización de embarcaciones”

### 3. DESARROLLO DEL PROGRAMA

El programa para el cálculo de la carga térmica de buques y embarcaciones “HVAC FOR SHIPS fue elaborado utilizando el lenguaje de programación Visual Basic.

#### 3.1. Arquitectura del programa

El programa de cálculo está desarrollado en lenguaje de Visual Basic y ofrece al usuario final una interfaz gráfica fácil de utilizar. El programa se compone de las fases pre procesamiento, cálculo y post procesamiento, como se muestra en la Figura 5. En los numerales 3.2, 3.3 y 3.4 se explican detalladamente cada una de estas fases.



**Figura 5.** Fases del proceso de cálculo de carga térmica

Fuente: tomado de tesis de grado de maestría en Ingeniería Naval “Desarrollo de un programa para el cálculo de la carga térmica en sistema de climatización de embarcaciones”

Para el cálculo se han desarrollado una serie de algoritmos que organizan el proceso, estos algoritmos fueron implementados en el programa “HVAC FOR SHIPS”

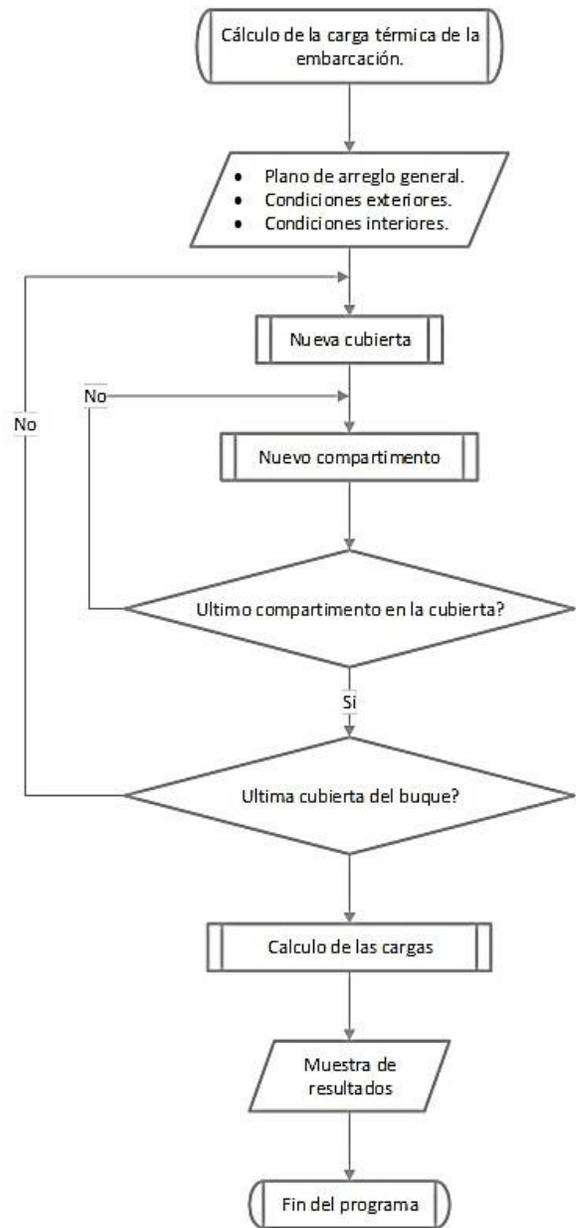
La información del programa se guarda en archivos .TXT. La carpeta principal contiene todos los proyectos y va a ser la referencia para que el programa pueda ubicar los archivos según corresponda. En segundo nivel se encuentra la carpeta de cada proyecto, en esta carpeta se van a ubicar todos los archivos del proyecto. Finalmente cada proyecto tiene dos tipos de archivos, el archivo principal del proyecto y los archivos de compartimentos.

El archivo del proyecto contiene toda la información de las condiciones de diseño, así como la configuración de la embarcación por cubiertas. Los archivos de compartimentos tienen toda la información geométrica de cada uno de los compartimentos, así como todas sus características requeridas, desde la temperatura interior hasta el coeficiente global de transferencia de calor en cada una de las fronteras del compartimento. En la Figura 6 se muestra la estructura jerárquica de los archivos.



**Figura 6.** Estructuras de archivos en el programa

Fuente: tomado de tesis de grado de maestría en Ingeniería Naval “Desarrollo de un programa para el cálculo de la carga térmica en sistema de climatización de embarcaciones”.



**Figura 7.** Diagrama de flujo

Fuente: tomado de tesis de grado de maestría en Ingeniería Naval “Desarrollo de un programa para el cálculo de la carga térmica en sistema de climatización de embarcaciones”.

### 3.2. Pre Procesamiento

El cálculo de la carga térmica y el diseño de los sistemas de aire acondicionado en embarcaciones dependen de información específica que debe ser obtenida antes de realizar los cálculos.

El pre procesamiento consiste en suministrar al diseñador herramientas para ingresar al programa toda la información requerida para hacer el cálculo de la carga térmica. Durante esta etapa se reconocen cuatro secciones así; el proyecto y las condiciones de diseño, el modelamiento de cubiertas, la definición geométrica de los compartimentos y el modelamiento de los compartimentos.

A continuación se describen cada una de estas secciones.

### 3.3. Proyecto, Condiciones de diseño y constantes

Consiste en establecer las constantes que se van a utilizar en el cálculo de la carga térmica. Como se vio en el estado del arte, todas las metodologías existentes inician definiendo las condiciones en las cuales se va a desarrollar el cálculo. Por lo tanto el programa debe definir estas condiciones. Esta información se divide en tres grupos, como se muestra en la Figura 8.

Toda esta información queda guardada en el archivo .TXT del proyecto.

#### Proyecto

- Nombre del proyecto
- Diseñado por
- Aprobado por
- Revisado por
- Versión
- Descripción
- Fecha de creación
- Fecha última modificación
- Ruta del archivo
- Dimensiones principales

#### Condiciones de diseño

- Temperatura ambiente exterior
- Humedad relativa exterior

#### Constantes de cálculo

- Ganancia de calor sensible debida a personas
- Ganancia de calor latente debida a personas
- Diferencia de temperaturas para superficies verticales expuestas al sol
- Diferencia de temperaturas para superficies horizontales expuestas al sol
- Constantes de ganancia de calor debidas a iluminación

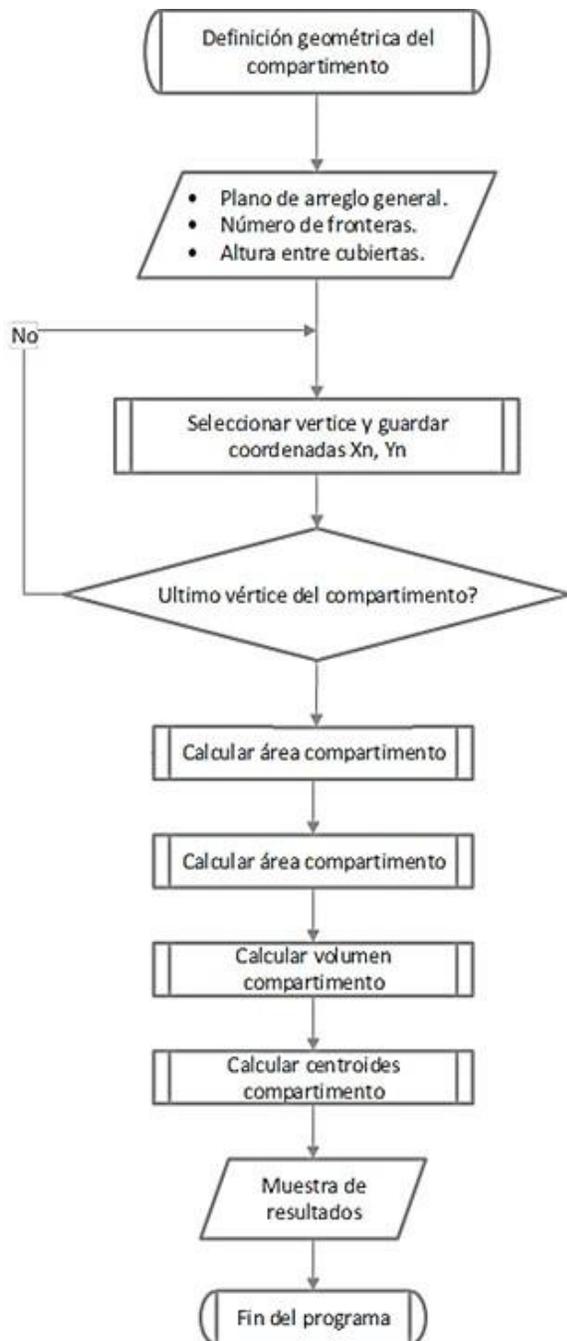
**Figura 8.** Proyecto, Condiciones de diseño y constantes de cálculo.

Fuente: tomado de tesis de grado de maestría en Ingeniería Naval “Desarrollo de un programa para el cálculo de la carga térmica en sistema de climatización de embarcaciones”.

#### 3.3.1. Aplicativo para adquirir la geometría del cuarto

Como parte del pre procesamiento se encuentra la definición geométrica de los compartimentos del buque. Esta información debe ser tomada de un plano de arreglo general de la embarcación. El proceso se rige por el algoritmo que se muestra en la Figura 9. Se inicia asignado el nombre del compartimento, tipo de compartimento (Acondicionado o ventilado), número de fronteras y altura entre cubiertas. Paso seguido el usuario debe seleccionar los vértices del compartimento en el plano X-Y.

La Figura 10 muestra el formulario desarrollado, el cual se encuentra disponible en el programa AutoCAD.



**Figura 9.** Algoritmo de adquisición de geometría

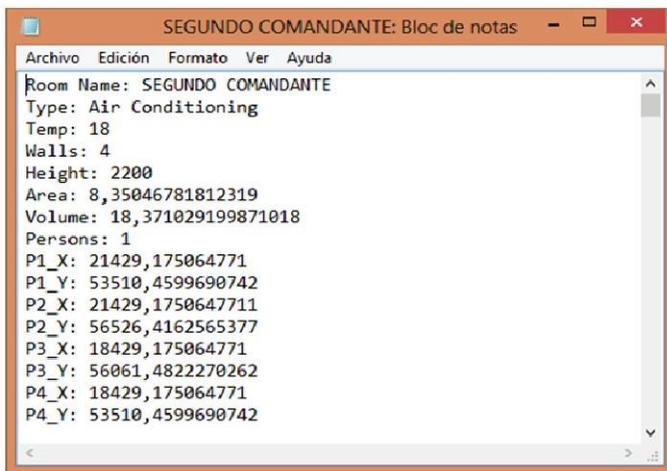
Fuente: tomado de tesis de grado de maestría en Ingeniería Naval “Desarrollo de un programa para el cálculo de la carga térmica en sistema de climatización de embarcaciones”.

Wall	X1 - Coordinate	Y1 - Coordinate	Side Length
Wall 1	21429,17506	53510,45996	3015,956287
Wall 2	21429,17506	56526,41623	3035,813507
Wall 3	18429,17506	56061,48222	2551,022257
Wall 4	18429,17506	53510,45996	3000
Wall 5			
Wall 6			
Wall 7			
Wall 8			
Wall 9			
Wall 10			
Wall 11			
Wall 12			
Wall 13			
Wall 14			
Wall 15			

**Figura 10.** Herramienta de adquisición de datos geométricos de los compartimentos.

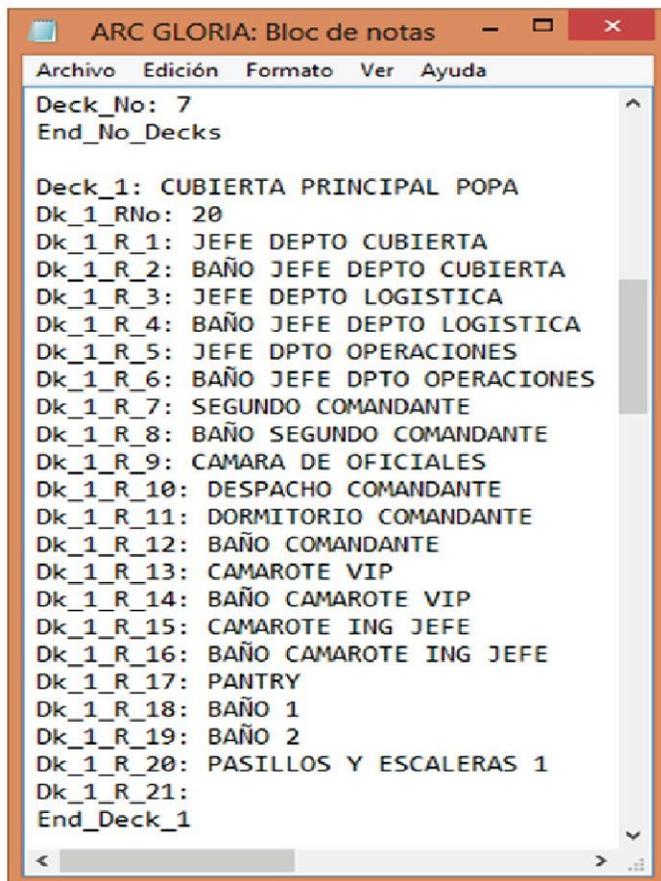
Fuente: tomado de tesis de grado de maestría en Ingeniería Naval “Desarrollo de un programa para el cálculo de la carga térmica en sistema de climatización de embarcaciones”.

Como resultado final se tiene el archivo .TXT del compartimento, en la Figura 11 se muestra como quedan organizados estos datos en el archivo. Este archivo debe ser guardado en la carpeta del respectivo proyecto. Más adelante se va agregar a este archivo más información que corresponde a las demás características del compartimento.



**Figura 11.** Información geométrica de un compartimento

Fuente: tomado de tesis de grado de maestría en Ingeniería Naval “Desarrollo de un programa para el cálculo de la carga térmica en sistema de climatización de embarcaciones”.



**Figura 12.** Ensamble de una cubierta

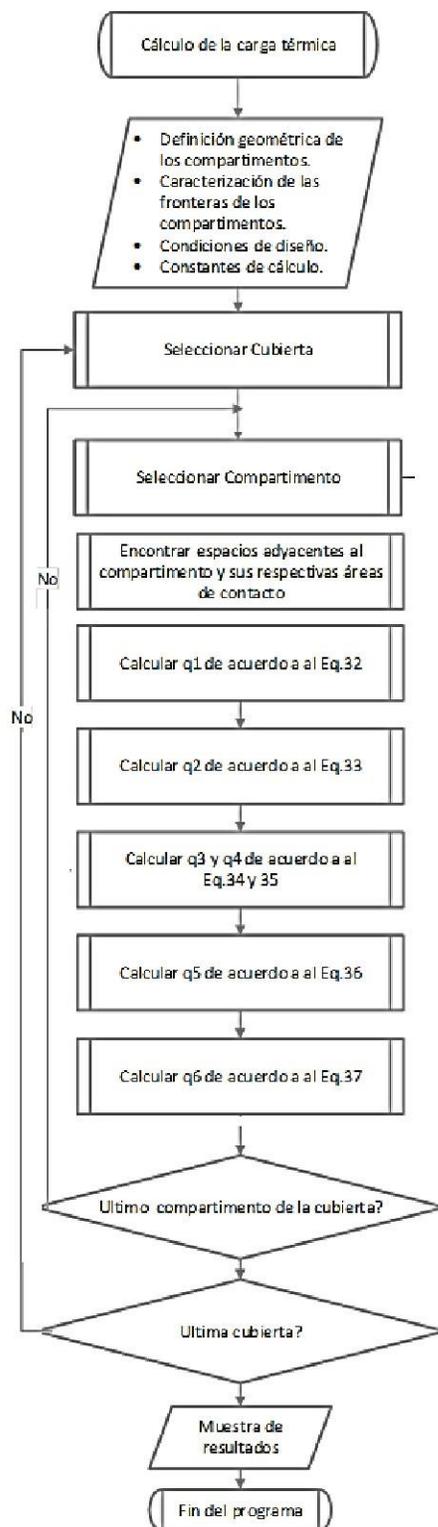
Fuente: tomado de tesis de grado de maestría en Ingeniería Naval “Desarrollo de un programa para el cálculo de la carga térmica en sistema de climatización de embarcaciones”.

### 3.3.3. Modelamiento de compartimentos.

Una vez se tiene definida la geometría de los compartimentos, se requiere para el cálculo tener más información del compartimento. Entre la información requerida está la temperatura interior deseada, el número de personas alojadas en este espacio y los equipos eléctricos instalados al interior que pueden representar una ganancia de calor significativa. Adicionalmente se debe definir el coeficiente global de transferencia de calor para cada una de las fronteras del compartimento, esto depende del tipo de aislamiento térmico que se utiliza en la frontera. De la misma manera se debe definir las ventanas o portillos que tenga el compartimento. La información es guardada en el archivo .TXT de cada compartimento.

## 4. CÁLCULO

Una vez es superada la etapa de pre procesamiento el programa está listo para realizar el cálculo de la carga térmica. En la Figura 13, se muestra el algoritmo utilizado para realizar el cálculo.



**Figura 13.** Ensamble de una cubierta

Fuente: tomado de tesis de grado de maestría en Ingeniería Naval “Desarrollo de un programa para el cálculo de la carga térmica en sistema de climatización de embarcaciones”.

## 5. CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se explica el diseño de un programa computacional que permite realizar el cálculo de la carga térmica para cualquier embarcación y que posee la ventaja de emplear como entrada la información geométrica disponible en los planos de arreglo general de la embarcación a evaluar.

Se desarrolló el programa “HVAC FOR SHIPS”, que permite el cálculo de la carga térmica de cualquier embarcación. El programa calcula dichas cargas basado en la metodología de la (ISO 7547, 2002) y complementada con las practicas recomendadas de la (SNAME, 1980). El programa es un software de fácil uso y trabaja bajo la interfaz de Microsoft Windows, fue desarrollado mediante VISUAL BASIC. NET. El uso del programa “HVAC FOR SHIPS” permitirá a los usuarios finales calcular la carga de cualquier embarcación de una forma más ágil y minimizando los posibles errores que se cometen en las tediosas hojas de cálculo empleadas hoy en día para tal fin.

Una de las principales ventajas del programa desarrollado es que cuenta con la aplicación “ROOM\_GEO” mediante la cual es posible extraer de un plano de arreglo general, la información geométrica de los compartimentos necesaria para realizar el cálculo de carga térmica. Esta herramienta representa un ahorro sustancial en el tiempo en la etapa de pre procesamiento, permitiendo al diseñador tener información precisa de la geometría de la embarcación en poco tiempo sin la necesidad de tomar una a una las dimensiones de los espacios en un plano, ya que la aplicación integra de forma eficiente la información de las dimensiones de los espacios directamente tomadas desde AutoCAD y

que es leída por el programa desarrollado. En la etapa de pre procesamiento, específicamente en el modelado de los compartimentos se desarrollaron herramientas para que el usuario pueda ingresar al programa todos los datos requeridos para el cálculo. Así mismo permite la modificación y actualización de los datos ingresados en cualquier etapa del diseño en que se encuentre el proyecto.

El programa “HVAC FOR SHIPS” permite organizar toda la información requerida para el cálculo. De igual forma presenta una representación gráfica de los compartimentos y de las cubiertas de la embarcación lo cual permite al usuario entender fácilmente el sistema. Contar con una herramienta como la desarrollada permite a los usuarios hacer evaluaciones más eficientes, pues es posible cambiar las condiciones de entrada que surjan de los cambios y/o actualizaciones de diseño requeridas en cualquiera de las etapas que se encuentra en un proyecto. Esto permite realizar evaluaciones del tipo “que pasaría si” por lo que se convierte en una herramienta que le permite a los usuarios evaluar de forma más rápida y eficiente las diferentes alternativas en el diseño de un sistema o las variaciones en la carga térmica producto de cambios en el diseño.

## REFERENCIAS

- ASHRAE. (2009). ASHRAE Handbook - Applications. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2010). ASHRAE 55-2010 - Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- Bouthoorn, B. (2005). HVAC Simulation tool - Imtech Marine & Offshore. Delft: TU DELFT.
- De Góngora, R. (2005). A comprehensive environment for efficient HVAC design. *The Foran Solution*.
- Evans, T. (s.f.). Explicación de la terminología de la refrigeración y el aire acondicionado para los profesionales de TI. White Paper 11 Rev 3. *Schneider Electric*.
- Gutiérrez D. (2012). Cálculo del sistema de acondicionamiento de aire de una cabina de control de un ROV en un buque cablero. Cantabria: *Escuela Técnica Superior de Náutica Universidad de Cantabria*.
- Hart, G. H., Fulton, P., & Cox, G. (s.f.). Ship Configuration and Insulation Design Application. *SNAME*.
- ISO 7547. (2002). Ships and marine technology - Air-Conditioning and ventilation of accommodation spaces - Design conditions and basis of calculations. *International Standard. ISO*.
- NAVSEA. (1999). Naval Ships' Technical Manual Chapter 510 S9086-RQ-STM010/CH-510R3. *Direction of commander, naval sea systems command*.
- Pizano Ojer, J. M., & López Ruiz, J. C. (s.f.). Nuevo método y programa de cálculo para la estimación de cargas térmicas de refrigeración (Aire Acondicionado). Importancia de la representación de la demanda horaria de los locales en la zonificación del edificio y estimación de la carga simultánea.

*Departamento de termodinámica aplicada Universidad politécnica de Valencia, 1-6.*

Rodríguez, C. (2006). Diagnóstico energético del sistema de aire acondicionado y refrigeración de un buque tipo nodriza fluvial. Monografía de Grado. Cartagena, Colombia: *Universidad Tecnológica de Bolívar*.

Rodríguez, C. (2008). Estudio comparativo del método de cálculo de carga térmica para sistemas de aire acondicionado en buques recomendado por la SNAME con el método CLTD/CLF de la ASHRAE. *Revista Ciencia y tecnología de Buques*.

SNAME. (1963). Thermal insulation Report. New York: *Technical and Research Bulletin*, 4-7.

SNAME. (1980). Recommended Practices for Merchant Ship Heating, Ventilation and Air Conditioning Design Calculations. New York: *Technical and Research Bulletin*, 4-7 .

USN. (1991). Heating, Ventilation and Air Conditioning Design Criteria Manual for Surface Ships of the United States Navy. *New York: Naval Sea System Command NAVSEA*.

Valverde, A., & Álvarez Guerra, M. (2006). Métodos de cálculo computarizado para la determinación de las cargas térmicas de refrigeración, aire acondicionado y selección de equipos. *Scientia et Technica*, 127-132.

Varanasi, A. (2002). Development of a visual tool for HVACSIM. Oklahoma: *Oklahoma State Univer-*

*sity*.

Zi-giang, L., Yan, H., & Zhuo-jun, T. (2012). Overlapping Area Computation between Irregular Polygons for Its Evolutionary Layout Based on convex Decomposition. *Journal of software*, 8.

# Implementación de Herramientas Web 2.0 en Procesos de Aprendizaje en la Escuela Naval

Págs. 53-66

*Freddy Herrera de Aguas<sup>a</sup> Juan Hildebrando Álvarez Santoyo<sup>b</sup>*

<sup>a</sup> Magister en Elearning de la UNAB y UOC. Departamento de Informática, Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. soporte.difen@enap.edu.co.

<sup>b</sup> Magister. Facultad de Educación, Director de tesis Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB. jalvarez5@unab.edu.co

Grupo de investigación EDUTEC

## Resumen

Esta investigación trata sobre el uso que tienen las herramientas colaborativas de la Web 2.0 en la asignatura Navegación Costera, en la que no existe la utilización de estas por parte del docente. La metodología consiste en usar algunas herramientas Web 2.0 para saber el grado de conocimiento de ellas, hacer una propuesta de inclusión de dichas herramientas en los procesos de aprendizaje de la asignatura, crear unos instrumentos de valoración de tales herramientas de carácter colaborativo pertinentes con la asignatura, e implementar un ambiente virtual de aprendizaje.

**Palabras claves:** Aprendizaje autónomo, aprendizaje colaborativo, Web 2.0, herramientas de la Web 2.0, TIC.

## Abstract

This research is about the use of collaborative Web 2.0 tools in the Coastal Navigation course, which it has not been implemented by the teacher. The methodology consist of using some Web 2.0 tools to determine the degree of knowledge of them, make a proposal to include such tools in the learning process of the course, develop the ways for evaluating such tools of collaborative nature which are relevant to the subject, and implement a learning virtual environment.

**Keywords:** Autonomous learning, collaborative learning, Web 2.0, Web 2.0 tools, ICT.

*Fecha de recepción: Junio de 2015*

*Fecha de aceptación: Agosto de 2015*

## 1. INTRODUCCIÓN

La Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla” es una Institución de Educación Superior naval y militar adscrita a la Armada República de Colombia, que en aras de implementar las TIC en sus procesos educativos, y de acuerdo a las Directrices de la Armada Nacional, requiere que sus docentes y estudiantes empleen ambientes virtuales de aprendizaje y herramientas de trabajo colaborativo para el proceso de enseñanza-aprendizaje, teniendo en cuenta que se ha percibido poco uso e interacción de ellos, de los cuales hay distintas ventajas educativas. Las TIC son herramientas que se pueden insertar en la educación para transformarla y mejorarla, no obstante, es necesario una transformación de las actuaciones docentes, dado que la tesis principal de los educadores parece estar centrada en torno a la idea que la naturaleza interactiva de la Web 2.0 los convierte en instrumentos adecuados para la enseñanza y aprendizaje (Gaffar, Singh y Thomas, 2011), ya que la educación de los alumnos se relaciona con la calidad de las prácticas en las que participan dentro del aula (Coll, Mauri y Onrubia, 2008).

La Escuela Naval de Cadetes, como Institución de Educación Superior es coherente con el requerimiento de una nueva visión y un modelo de enseñanza-aprendizaje, que está estipulado en el marco de una sociedad la cual está en permanente cambio, y por lo cual se propone replantear la manera de diseñar, desarrollar, adquirir y transmitir conocimiento con criterios de calidad y equidad. “Esta clase de educación permite una formación sin limitaciones desde cualquier parte, a toda hora y por cualquier persona” (Joyanes, 2009). Todo esto conforma un nuevo direccionamiento para la educación superior, definiendo el término Educación

Superior 2.0 (ES 2.0) desde el punto de vista del impacto de la Web 2.0 en la Educación Superior sobre la manera que se entrega y se gestiona (Barnatt, 2008, citado en Gaffar, Singh y Thomas, 2011).

Se planteó como objetivo general el evaluar el impacto de la implementación de las herramientas colaborativas de la Web 2.0 en el proceso de aprendizaje de la asignatura Navegación Costera de la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”, y para eso se han establecido unos objetivos específicos tales como: identificar el grado de conocimiento que tienen los estudiantes y docentes acerca de las herramientas de la Web 2.0; implementar el uso de las herramientas colaborativas de la Web 2.0 en los estudiantes y docentes; valorar herramientas web 2.0 de carácter colaborativo usadas en la asignatura Navegación Costera; diseñar propuesta metodológica para implementación de herramientas colaborativas y diseñar un ambiente virtual de aprendizaje que vincule herramientas web 2.0 de carácter colaborativo. Para esto se realizó una encuesta online que generó un informe de los resultados obtenidos acerca de la percepción del grado de conocimiento que tienen los estudiantes y el docente de la asignatura acerca de las herramientas web 2.0 y que son utilizados en su proceso de aprendizaje, así mismo se incluyó una propuesta de inclusión de algunas herramientas de carácter colaborativo en el proceso de aprendizaje de la asignatura y que pueda servir de referencia para otras.

El diseño del instrumento de valoración de herramientas Web 2.0 de carácter colaborativo ha sido de mucha importancia para percibir el grado de importancia que se tiene sobre el uso de las herramientas por parte del docente y los estudiantes de esta asignatura, así mismo se generó la propuesta de estrategia metodo-

lógica para implementación de herramientas en la asignatura al Departamento Académico de la Escuela Naval, la cual ha sido un logro importante en la innovación educativa de esta Institución. Igualmente, aprovechando el apoyo de las TIC que brinda la Armada Nacional de Colombia a sus Escuelas de Formación, es de gran importancia el diseño de una propuesta de ambiente virtual de aprendizaje basado en herramientas Web 2.0 de carácter colaborativo, para que el docente y los estudiantes lo utilicen aprovechando sus ventajas educativas y colaborativas.

## 2. ESTADO DELARTE

Las herramientas de la Web 2.0 han tenido una gran implicación en la vida humana desde su aparición, y especialmente han cambiado la forma cómo aprender e interactuar para comunicarnos con otras personas y poder incidir sobre distintos aspectos que van desde lo académico productivo hasta lo socio-cultural.

En Colombia se han desarrollado planes y programas que tratan sobre políticas oficiales de innovación educativa y apropiación de TIC, los cuales están contemplados en: Plan Nacional de TIC 2008-2019, Plan Nacional Decenal de Educación 2006-2016 (PNDE) y Programa Nacional de Innovación Educativa con Uso de TIC. Estos programas hacen parte de planes estratégicos para promover la competitividad, fortalecer los procesos pedagógicos que faciliten el aprendizaje autónomo y colaborativo con el uso de las TIC. Del mismo modo, estos programas se encuentran liderados por el Ministerio de TIC (MINTIC) y el Ministerio de Educación Nacional (MINEDUCACION).

Las investigaciones que a continuación se relacio-

nan fueron seleccionadas porque muestran una relación con el proyecto en curso, donde puede utilizarse como referente para tener en cuenta en el avance de esta investigación. Por otra parte, son estudios que se han realizado en Colombia, excepto una que fue realizada en Venezuela.

Zambrano, Medina y García (2010) plantean un Modelo de Aprendizaje Virtual para la Educación Superior (MAVES), basado en Tecnologías Web 2.0, para lo cual se llevó a cabo una investigación teórica y aplicada, cualitativa y cuantitativa, de tipo evaluativo, experimental, crítico y prospectivo bajo la modalidad de estudios descriptivos. Después de analizar varios modelos virtuales de aprendizaje en el mundo, replantean y desarrollan un modelo acorde al estudiante, el cual llamaron MAVES, su método consiste en aprender-haciendo: leer-escribir-construir-publicar en repositorios digitales de Internet, contenidos colaborativos y de la autoría del estudiante, de acuerdo con sus conocimientos previos, pensamiento crítico y su contexto social, a través de nuevas mediaciones pedagógicas y de estrategias de comunicación en comunidades virtuales. Para la validación del modelo se utilizaron dos grupos de distintas universidades, a los cuales se les aplicaron encuestas para medir la evaluación del impacto del empleo de las herramientas de aprendizaje de la Web 2.0, siendo el resultado positivo; los siguientes fueron algunos de los porcentajes obtenidos en el empleo de herramientas de aprendizaje de la Web 2.0, siendo de mayor utilidad educativa para los estudiantes en promedio ponderado: 93% YouTube, 93% Facebook, 90% Slideshare, 88% Blogger, 87% Procast, 83% Flickr, 82% Second Life, 61% Twitter, 61% del.icio.us, 60% CreativeCommons, 50% Wikipedia, 42% Google Reader, 32% Wikispaces y 1% Skype, Blogli-

nes, WiziQ, Ning y FeedBurner. Entre las debilidades que se encontraron: faltó un mayor número de horas para desarrollar el plan de capacitación según requerimientos especiales de los estudiantes, explicitar políticas, procedimientos y difusión del uso de MAVES, aumentar el banco de objetos de aprendizaje, ajustar con base en lineamientos la formulación de indicadores para monitorear el avance de los aprendizajes del alumno, la no formulación de términos de referencia para invitar a pares a evaluar el Modelo y proponer más actividades e indicadores para la gestión de la calidad del proceso de aprendizaje.

El modelo virtual de aprendizaje MAVES, está centrado en el estudiante, para que éste pueda sacar el mayor provecho a las herramientas de la Web 2.0, y así pueda emplearlas para la construcción de su propio conocimiento. La manera como se logra alcanzar el impacto en los grupos de trabajo, brinda la oportunidad para entender que es importante que los estudiantes tengan un manejo eficiente de la información, desarrollo del pensamiento crítico y creativo, el ambiente de aprendizaje contextualizado y real, los niveles de ayuda, el trabajo en grupo (aprendizaje cooperativo o colaborativo) y la motivación a través de un aprendizaje retador y atractivo.

En Colombia, De Ávila (2009) investigó el impacto que genera la utilización de las herramientas Web 2.0 en el ámbito educativo, para lo cual elabora unas encuestas que son realizadas al personal de docentes, estudiantes y coordinadores. Las técnicas e instrumentos de recolección que se utilizaron fueron: entrevistas, encuestas virtuales y el relato de experiencias vividas por los participantes. Estas encuestas se realizaron a las universidades ubicadas en las ciudades principales

como: Bogotá, Cartagena, Medellín, Cali, Bucaramanga, Santa Marta y Barranquilla. La investigación arrojó que de los 60 estudiantes encuestados, la gran mayoría se acogen al uso de las herramientas Web 2.0 y una gran minoría no conoce las ventajas de las mismas y su utilización.

Así es como el avance de las TIC, la educación virtual y los ambientes colaborativos en el campo educativo han despertado el uso masivo de herramientas Web 2.0 en el ámbito universitario colombiano, y con este proyecto se da a conocer cómo están siendo utilizadas estas herramientas por estudiantes, docentes y coordinadores de centros de formación del país. Así mismo ofrece el conocimiento para saber cuáles son las herramientas más importantes de la Web 2.0 a proponer para alcanzar un impacto en la asignatura Navegación Costera.

Muñoz (2012), desarrolló en Colombia la investigación sobre Apropiación, uso y aplicación de las TIC en los procesos pedagógicos que dirigen los docentes de la Institución Educativa núcleo escolar rural Corinto. Este proyecto se realizó en el Núcleo Escolar Rural Corinto (Cauca), donde se ha evidenciado que los docentes utilizan muy poco las TIC en los procesos pedagógicos, desaprovechando en gran medida las ventajas que estas representan en los procesos formativos académicos.

Como estrategia educativa se desarrolló un aplicativo Web 2.0, con el objetivo de apoyar y asesorar de manera presencial y virtual a los docentes, contando estos con herramientas y cursos en línea que permitieran su formación, cambio de actitud hacia el manejo de estos medios, los cuales permitieran proyectarse y así

beneficiar a la formación de los estudiantes. Como estrategias de recolección, entre los retos que se tuvieron está que los docentes tenían pocas competencias digitales, por lo que se tuvieron que desarrollar cursos presenciales y virtuales de informática básica en conocimiento de los periféricos de entrada y salida, manejo del teclado, mouse y herramientas ofimáticas tales como Word, Excel y PowerPoint; y capacitación en el manejo de la Internet, motores de búsqueda, correo electrónico y WEB 2.0 (creación y uso).

Este trabajo explica con claridad el reto que enfrentan los docentes a la hora de implementar herramientas de la Web 2.0 en la educación, lo cual pone de manifiesto que no solo hay que motivar a que el estudiante se adapte a ellas, sino que el docente mismo pueda apropiarse de estas tecnologías para así poder proyectar confianza, ganas de aprender y dinamismo a sus estudiantes.

Un interesante trabajo es el de *Un vistazo al uso de la Web 2.0 como recurso para la enseñanza en la educación universitaria*, desde la experiencia en cursos de pregrado y postgrado, Marquina (2009) el cual expresa el rol que tienen tanto docentes como estudiantes en el ámbito del uso y aplicación de las herramientas Web 2.0 para la formación académica. Aquí se recopila la experiencia en las modalidades presencial y mixta vividas con los estudiantes de pregrado de las Cátedras de Nuevas Tecnologías I y II de la licenciatura en Medios Audiovisuales de la Universidad de Los Andes (Venezuela), a lo cual se adiciona la experiencia con estudiantes de postgrado de las universidades Central de Venezuela y de Los Andes.

En este caso los estudiantes ya cuentan con conocimientos medios en el uso del computador y en diversas aplicaciones para la edición de video y fotografía, debido a los conocimientos adquiridos en las cátedras respectivas. Todos los estudiantes cuentan con teléfono celular y dispositivo móvil para la reproducción de audio. Un porcentaje elevado del grupo posee computador personal y acceso a Internet en sus hogares. Como estrategia se desarrolla un Blog, donde el docente y los estudiantes interactúan de manera cotidiana; además se utilizaron otras herramientas de la Web 2.0 para apoyar la labor docente, usando servicios para alojar sus presentaciones (slideshare), videos en línea (youtube, blip.tv, dailymotion), imágenes (picasa, flickr) y podcasts (archive.org) que son insertados en nuevas entradas en los blogs creados en blogger, wordpress o vox. Entre la herramienta comunicativa asíncrona se utilizó el servicio Shout'em, y para las comunicaciones sincrónicas MSN Messenger y GTalk. El mayor reto que enfrentó este proyecto en el uso de los recursos y servicios Web 2.0 dentro de la institución, es el bajo ancho de banda de conexión de la red que dificultó el acceso a los servicios y recursos en línea propuestos para la asignatura, especialmente a los videocasts alojados en youtube y blip.tv., así mismo este trabajo orienta hacia un modelo pedagógico de implementación de un ambiente virtual de aprendizaje, donde el docente y estudiantes interactúan con el uso de herramientas colaborativas de aprendizaje autónomo, así como también indica el reto de la baja capacidad de ancho de banda lo cual puede ser factor preponderante para el fracaso en la implementación de modelos en ambientes virtuales de aprendizaje.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

En el marco investigativo de este trabajo se tuvieron en cuenta como técnicas para recolección de información las entrevistas personales (Ardévol, E., Bertran, M., Callén, B. y Pérez, C., 2003) al docente y los estudiantes (cadetes) de la asignatura, finalizando con una encuesta en línea, como bien se proyectaba desde años anteriores que todo apuntaría a que las encuestas online se convertirían en el futuro de la denominada computer-assisted survey information collection (CASIC) (Baker, 1998; Lozar, 2002; Goritz, 2006).

La entrevista al docente consideró la manera en la que él orienta la clase presencial a sus estudiantes y qué tecnologías informáticas y comunicativas utiliza. Esta entrevista fue acompañada de una visita al aula de clases para tener una guía visual de cómo se impartía la clase presencial y cómo utilizaban los estudiantes las tecnologías. Tanto al docente como a los estudiantes se les comunicó y participó acerca de los objetivos, justificación y alcance del proyecto de investigación.

Se procedió a la realización de la encuesta en línea, utilizando la herramienta [www.surveymonkey.com](http://www.surveymonkey.com), en la cual se encuestaron al docente y 21 estudiantes que corresponden al curso 1.2.A; con esta encuesta se logra saber en primera instancia el grado de conocimiento y utilización de las TIC y herramientas colaborativas de la Web 2.0 en la educación.

Dentro de las actividades de implementación de las herramientas colaborativas, y habiendo analizado las actividades académicas del docente, se propusieron 04 herramientas las cuales fueron: el Blog (Jacobs, Williams, 2004), Skype (Martínez y Prendes, 2008),

Debate virtual (Núñez, Gálvez y Vayreda, 2003), y Wikis (Kuteeva, 2011; Bruns y Humphreys, 2005). Para estas actividades se utilizó como guía el modelo de pauta de diseño de actividades que propone García (2008) así:

**Tabla 1.** Pauta para el diseño de actividades colaborativas

<b>Pauta para el diseño de actividades colaborativas</b>
Objetivos
Organización de equipos para el trabajo colaborativo
Duración de la actividad
Temas
Estructura de la actividad
Evaluación

Fuente: Elaboración propia

#### 3.1. Creación de blogs con blogger

En la actividad del Blog se utilizó la herramienta Blogger de Google Inc.

##### Objetivos

- Crear un sitio Web colaborativo sobre temas de navegación costera.
- Compartir y divulgar la información.
- Trabajar en equipo y aprender de manera colaborativa.

##### Organización de equipos para el trabajo colaborativo

- Se organizaron 06 grupos, compuestos por 04 integrantes cada uno.
- Se dio la libertad que ellos mismos formaran sus grupos.

### Duración de la actividad

La actividad de creación del Blog, tuvo una duración de 01 semana, en la cual los estudiantes de cada grupo estuvieron aportando sus conocimientos sobre los temas dados por el docente.

### 3.2. Uso de Skype en ejercicios de simulación de una operación naval.

Como herramienta sincrónica de apoyo a la actividad académica se utiliza Skype, el cual brinda un sistema de videoconferencia, voz y chat de manera eficiente.

#### Objetivos

- Aprender a ubicarse en las cartas de navegación.
- Mantener la disciplina naval y operacional
- Entrenar y evidenciar la idoneidad en la navegación costera bajo la simulación de un escenario operativo- nal.
- Desarrollar el interés e iniciativa en la realización de intercambios comunicativos.
- Aprender las aplicaciones didácticas de Skype.
- Conocer las diversas opciones de la herramienta.
- Aprender a conversar vía videoconferencia, chat o conversación de voz.
- Trabajar en equipo y aprender de manera colaborati- va.
- Manejar y proceder a marcar los rumbos indicados y distancias.

#### Organización de la operación

- Se realizó conformando 06 grupos, los cuales cada uno representara una embarcación de tipo militar (Fragata misilera).
- Cada grupo tenía un estudiante líder que hizo las veces de Comandante y fue el responsable de las

decisiones que se tomaron al interior del grupo.

- Tuvieron a su disposición la carta de navegación, reglas, compás, lápices y 01 portátil.
- El medio de comunicación sincrónica se realizó a través de Skype.

### Duración de la actividad

La actividad tuvo una duración de 04 horas, en la cual los estudiantes estuvieron inmersos en una operación naval militar, donde tuvieron que demostrar las competencias y destrezas adquiridas durante el curso, aplicando los conocimientos sobre dominio en las cartas de navegación, utilización de los elementos como compás, sistema métrico y posicionamiento.

### 3.3. Participación en debate virtual con google groups

El debate virtual se establece como complemento de la actividad operacional apoyada con la herramienta Skype, donde cada estudiante realizara de manera individual sus aportes y comentarios.

#### Objetivos

- Promover el intercambio de información acerca de la navegación costera.
- Realizar un debate que permita la socialización de ideas.
- Ayudar a los estudiantes a alcanzar destrezas en la comunicación.
- Trabajar en equipo y aprender de manera colaborati- va.
- Aprender a ubicarse en las cartas de navegación.

### Organización del debate virtual

- Se realizó de manera individual: cada estudiante aportó sus ideas y pensamientos de manera crítica y constructiva.

### Duración de la actividad

La actividad tuvo una duración de 01 semana, en la cual los estudiantes estuvieron aportando sus conocimientos sobre un tema específico dado por el docente.

### 3.4. Creación de Wikis

Para esta actividad se utilizó como herramienta el sitio llamado Wikispaces, y tal como se mencionó anteriormente permite crear varios documentos fomentando así el trabajo colaborativo y colectivo entre los participantes que intervienen.

### Objetivos

- Crear un sitio Web colaborativo sobre temas de navegación costera.
- Compartir y divulgar la información.
- Trabajar en equipo y aprender de manera colaborativa.

### Organización de equipos para el trabajo colaborativo

- Se organizaron 03 grupos, compuesto por de 07 integrantes cada uno.
- Se dio la libertad que ellos mismos formaran sus grupos.

### Duración de la actividad

La actividad de creación del Wiki, tuvo una duración de 03 días, en la cual los estudiantes de cada grupo estuvieron aportando sus conocimientos sobre el tema dado por el docente más lo que consultaron en textos

guías y en sitios web.

## 4. RESULTADOS

Utilizando el servicio de encuestas en línea [www.surveymonkey.com](http://www.surveymonkey.com), se realizó una primera encuesta a los cadetes para conocer el grado de información y conocimiento que tenían sobre las TIC, las herramientas y uso que daban a la Web 2.0, la cual de manera resumida arrojó los siguientes resultados así:

1. Dadas las preguntas: ¿Tiene Conocimiento sobre las TIC?, ¿Conoce la importancia de la implementación de las TIC en el proceso enseñanza – aprendizaje?, ¿Utiliza las TIC en el proceso de aprendizaje?, ¿Cree necesario capacitarse en el uso e implementación de las TIC como apoyo a su labor académica?, ¿Tiene correo electrónico?, ¿Navega Regularmente en la Internet?, el 100% de los encuestados respondieron que SÍ, afirmando tener conocimientos y utilización de las TIC en su labor académica.

Mientras que a la pregunta ¿Tiene computador portátil personal en la Escuela Naval?, solo el 76,20% respondió SÍ tener este medio tecnológico, y el 23,8% restante respondió NO tenerlo.

2. ¿Qué herramientas Web 2.0 utiliza con frecuencia en sus prácticas académicas?, en esta pregunta el 81% respondió que usa correo electrónico, y el 19% usa el Chat (mensajería instantánea).

3. ¿Qué Herramientas Web 2.0 ha utilizado para compartir información netamente educativa?, el 66,70% responde que utiliza el Correo electrónico, el 23,80% Chat (mensajería instantánea) y el 23,80% usa las

Redes sociales.

4. ¿Seleccione las herramientas Web 2.0 con las cuales ha encontrado con mayor facilidad información educativa?, el 52,40% respondió que los Motores de búsqueda, en tanto que el 85,70% utiliza Páginas Web.

5. ¿Qué herramientas Web 2.0 ha usado en busca de información educativa?, el 47,60% utiliza motores de búsqueda y el 76,20% utiliza Páginas Web para buscar información educativa.

6. ¿Cómo calificaría las siguientes herramientas Web 2.0 que más le brindan ayuda en sus actividades académicas?, el 38,1% de los encuestados calificó como Bueno las herramientas listadas, el 52,4% Muy bueno y el 9,5% los calificó de Excelente.

#### 4.1. Segunda encuesta en línea

Luego de aplicar las cuatro (04) herramientas colaborativas mencionadas arriba, y de haber realizado cada una de las actividades académicas, a los estudiantes se les aplicó una segunda encuesta con el objetivo de conocer el grado de percepción y conocimientos adquiridos después de haber utilizado las TIC y herramientas de la Web 2.0., en las diferentes actividades académicas planteadas.

1. En la primera pregunta los estudiantes respondieron así:

Preguntas	SÍ	NO
¿Tiene Conocimiento sobre las TIC?	100%	0,00%
¿Conoce la importancia de la implementación de las TIC en el proceso enseñanza – aprendizaje?	100%	0,00%
¿Utiliza las TIC en el proceso de aprendizaje?	100%	0,00%
¿Cree necesario capacitarse en el uso e implementación de las TIC como apoyo a su labor académica?.	100%	0,00%
¿Tiene correo electrónico?	100%	0,00%
¿Navega Regularmente en la Internet?	100%	0,00%
¿Tiene computador portátil personal en la Escuela Naval?	100%	0,00%

El 100% de los estudiantes marcaron como respuesta SÍ a las preguntas realizadas demostrando aceptación y conocimiento ante la importancia de las TIC, el Internet y demás tecnologías en el proceso de enseñanza- aprendizaje.

2. ¿Qué herramientas Web 2.0 utiliza con frecuencia en sus prácticas académicas?

Herramienta colaborativa	No. Estudiantes	Porcentaje
foros	21	100%
wiki	21	100%
correo electrónico	21	100%
chat	21	100%
blogs	21	100%
youtube	21	100%
motores de búsqueda	21	100%
bases de datos bibliográficas	21	100%
mapas conceptuales	6	28,57%
redes sociales	20	95,24%
google docs	14	66,67%
slide share	19	90,48%
videoconferencia	17	80,95%
social bookmarking	1	4,76%

El 100% (21) de los encuestados respondió que utilizan: Foros, wikis, correo electrónico, chat (mensajería instantánea), blogs, Youtube, motores de búsqueda y bases de datos bibliográficas; el 28,57% (06) utilizan Mapas conceptuales; el 95,24% (20) Redes sociales; el 66,67% (14) Google Docs; el 90,48% (19) Slide Share; el 80,95% (17) utilizan videoconferencia y el 4,76% (01) Social Bookmarking.

3. ¿Qué Herramientas Web 2.0 ha utilizado para compartir información netamente educativa?.

Herramienta colaborativa	No. Estudiantes	Porcentaje
foros	21	100%
wiki	21	100%
correo electrónico	21	100%
youtube	21	100%
mapas conceptuales	3	14,29%
chat	20	95,24%
redes sociales	20	95,24%
blogs	20	95,24%
google docs	15	71,43%
slide share	16	76,19%
videoconferencia	11	52,38%
motores de búsqueda	9	42,86%
bases de datos bibliográficas	9	42,86%
páginas web	18	85,71%

El 100% (21) de los estudiantes respondieron que utilizan el Foro, wiki, correo electrónico, y Youtube; el 14,29% (03) utilizan mapas conceptuales; el 95,24% (20) utilizan Chat (mensajería instantánea), redes sociales y blogs; el 71,43% (15) utilizan Google Docs; el 76,19% (16) Slide Share; el 52,38% (11) videoconferencia; el 42,86% (09) Motores de búsqueda y bases de datos bibliográficas y el 85,71% (18) páginas web.

4. ¿Seleccione las herramientas Web 2.0 con las cuales ha encontrado con mayor facilidad información educativa?

Herramienta colaborativa	No. Estudiantes	Porcentaje
foros	21	100%
wiki	21	100%
blogs	21	100%
motores de búsqueda	21	100%
bases de datos bibliográficas	21	100%
páginas web	21	100%
correo electrónico	20	95,24%
slide share	20	95,24%
mapas conceptuales	6	28,57%
chat	16	76,19%
redes sociales	16	76,19%
google docs	9	33,33%
videoconferencia	9	42,86%

El 100% (21) respondió que utilizan Foros, wiki, blogs, motores de búsqueda, bases de datos bibliográficas y páginas web; el 95,24% (20) utilizan correo electrónico y Slide share; el 28,57% (06) mapas conceptuales; el 76,19% (16) Chat (mensajería instantánea) y redes sociales; el 33,33% (07) Google Docs y el 42,86% (09) utilizan videoconferencia.

5. ¿Qué herramientas Web 2.0 ha usado en busca de información educativa?

Herramienta colaborativa	No. Estudiantes	Porcentaje
foros	20	95,24%
páginas web	20	95,24%
wiki	21	100%
blogs	21	100%
youtube	21	100%
motores de búsqueda	21	100%
bases de datos bibliográficas	21	100%
correo electrónico	18	85,71%
redes sociales	18	85,71%
slide share	18	85,71%
mapas conceptuales	9	42,86%
chat	16	76,19%
google docs	7	33,33%
videoconferencia	11	52,38%
notas	1	4,76%

El 95,24% (20) de los estudiantes utilizan Foros y páginas web; el 100% (21) Wiki, blogs, youtube, motores de búsqueda y bases de datos bibliográficas; el 85,71% (18) correo electrónico, redes sociales, Slide share; el 42,86% (09) mapas conceptuales; el 76,19% (16) chat; el 33,33% (07) Google Docs; el 52,38% (11) videoconferencia y el 4,76% utilizan notas.

6. ¿Cómo calificaría las siguientes herramientas Web 2.0 que más le brindan ayuda en sus actividades académicas?

Herramienta colaborativa	No. Estudiantes	Porcentaje
foros	20	95,24%
correo electrónico	20	95,24%
chat	20	95,24%
youtube	20	95,24%
páginas web	20	95,24%
blogs	19	90,48%
wiki	17	80,95%
motores de búsqueda	17	80,95%
videoconferencia	16	76,19%

A esta pregunta, los estudiantes respondieron de manera positiva así: el 95,24% (20) califican como

excelente la utilización de Foros, correo electrónico, Chat (mensajería instantánea), Youtube, y páginas web; el 90,48% (19) como excelente la utilización de Blogs; el 80,95% (17) como excelente la utilización de Wiki y motores de búsqueda y el 76,19% (16) califican de excelente el uso de videoconferencia.

Por otra parte, se creó el sitio Web para el curso Navegación Costera, que permitió que los estudiantes encontraran información del curso en diferentes formatos, desde aquí pueden ingresar a las respectivas herramientas y actividades realizadas tales como Blogs, wikis, debates virtuales, un álbum fotográfico del curso.

La dirección es

<https://sites.google.com/site/navegacostera/>.



Figura 1. Sitio web

Fuente: <https://sites.google.com/site/navegacostera/>.

## 5. CONCLUSIONES

Se realizó la primera encuesta en donde se pudo evidenciar en su gran mayoría, que tanto el docente como los estudiantes del curso utilizaban solamente el correo electrónico, chat, y red social, pero desconocían las ventajas y bondades de otras herramientas colaborativas de la Web 2.0 en el aula.

Durante la socialización con el docente y estudiantes sobre las herramientas colaborativas a utilizar en cada una de las actividades académicas establecidas por el docente, el personal se mostró optimista y con altas expectativas. Así mismo demostraron estar adaptados con el empleo de las herramientas luego que se les explicó su utilización y empleo en el aula de clases, cumpliendo con los requisitos establecidos para cada actividad.

Una segunda encuesta permitió conocer un mayor grado de apropiación y adaptabilidad por parte del docente y estudiantes en la utilización de estas herramientas colaborativas, donde la mayoría de los estudiantes concordaron que la utilización de las herramientas Web 2.0 permiten: crear, desarrollar, buscar, publicar y compartir información en la Web, demostrando un nuevo grado de conocimiento acerca de estas herramientas.

En el trabajo de investigación se utilizaron cuatro (04) herramientas colaborativas para las diferentes actividades que se realizaron en la asignatura Navegación Costera como son: Blog, Debate virtual, Skype y Wikis; las cuales permitieron que tanto el docente como los estudiantes interactúen de una manera más dinámica.

La asignatura del curso navegación costera cuenta ahora con un sitio web dedicado a la asignatura <https://sites.google.com/site/navegacostera>, la cual cuenta con hipervínculos a las herramientas colaborativas utilizadas en el curso y a las actividades desarrolladas por los estudiantes.

Se creó una propuesta metodológica que sirve de guía y referente para que en la Escuela Naval de Cadetes se puedan implementar el uso de las herramientas colaborativas de la Web2.0 en las diferentes asignaturas vistas en los diferentes programas académicos.

## 6. RECOMENDACIONES

Capacitación: en vista de los avances que hay en el tema de las TIC y de las herramientas colaborativas de la Web 2.0, la Escuela Naval ha planeado para un corto plazo la capacitación a docentes y estudiantes en cursos sobre ambientes virtuales de aprendizaje y el manejo de herramientas colaborativas; ya que todo avance tecnológico requiere espacios de mejora continua, con el objetivo de que este personal adquiera las competencias necesarias que puedan garantizar el éxito del proceso formativo.

Modelos educativos y pedagógicos: La Escuela Naval en la actualidad cuenta con un modelo pedagógico híbrido (Social-cognitivo, conductista y constructivista), donde a través del uso de las TIC el docente puede enriquecer la clase presencial con el uso de la Internet y de las nuevas herramientas colaborativas que pone al servicio la Tecnología Web. El gran reto del docente de hoy es utilizar esas herramientas de una manera pedagógica y como tal debe contar con la capacidad de orientar sus esfuerzos hacia una educación en

que el uso de las herramientas colaborativas, que a la vez hacen parte de esa suite educativa mediada por las tecnologías, sean normalizadas y estandarizadas dentro de cada proceso formativo, donde el docente se apropie de ellas y transmita conocimiento a sus estudiantes que las utilizaran para aprender de manera crítica, analítica, autónoma y colaborativa.

Implementación de herramientas web 2.0: hoy en día encontramos muchas herramientas colaborativas para ser usadas en la labor docente y académica, solo basta con elegir las más adecuadas.

## REFERENCIAS

- Ardévol, E., Bertran, M., Callén, B. y Pérez, C. (2003). Etnografía virtualizada: la observación participante y la entrevista semiestructurada en línea. *Atenea Digital*, 3, 72-92. Recuperado desde: <http://ddd.uad.cat/pub/athdig/15788946n3a5.pdf>
- Baker, R. P. (1998). Computer assisted survey information collection. Recuperado desde: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=297124024006>
- Barnatt, C. (2008). Higher education 2.0. *International Journal of Management Education*. Recuperado desde: <http://journals.sta.uwi.edu/cts/index.asp?action=downloadArticle&articleId=13&galleyId=10>
- Bruns, A.; Humphreys, S. (2005). Wikis in Teaching and Assessment: The M/Cyclopedia Project. Recuperado desde: <http://www.cidui.org/revista-cidui12/index.php/cidui12/article/download/439/433>
- Coll, C.; Mauri, T. y Onrubia, J. (2008). Análisis de los usos reales de las TIC en contextos educativos formales: una aproximación socio-cultural. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 10 (1), 1-18. Recuperado desde: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15510101>
- De Ávila, J. (2009). Diagnóstico de la utilización de las herramientas de la Web 2.0 en los campus virtuales de las universidades de Colombia. *Proyecto de grado*. Recuperado de: <http://www.monografias.com/trabajos94/diagnostico-herramientas-web-2-0-campus-virtuales-colombia/diagnostico-herramientas-web-2-0-campus-virtuales-colombia.shtml>
- Enciclopedia libre Wikipedia. (2013). Blogger. Recuperado desde <http://es.wikipedia.org/wiki/Blogger>
- Gaffar, K. , Singh, L. y Thomas, T. (2011). Are We Ready for Web 2.0? Evidence from a Caribbean University. *Caribbean Teaching Scholar*, 1 (2), 129–146. Recuperado desde: <http://journals.sta.uwi.edu/cts/index.asp?action=downloadArticle&articleId=13&galleyId=10>
- García, Anna. (2008). La evaluación del trabajo colaborativo con las herramientas 2.0: Una propuesta de aplicación universitaria. *Universidad Andrés Bello* (Chile). Recuperado desde [http://www.mentalidadweb.com/wpcontent/uploads/2008/07/annagarciasans\\_comunicacion\\_evaluacion\\_tic.pdf](http://www.mentalidadweb.com/wpcontent/uploads/2008/07/annagarciasans_comunicacion_evaluacion_tic.pdf)
- Goritz, A. (2006). Cash Lotteries as Incentives in Online Panels. *Social Science Computer Review*,

- 445-459. Recuperado desde:  
www.goeritz.net/SS www.goeritz.net/SSCR1.pdf
- Jacobs, J., Williams, J. (2004). Exploring the use of blogs as learning spaces in the higher education sector. *Australasian Journal of Educational Technology*, 20 (2), 232-247. Recuperado desde <http://ascilite.org.au/ajet/ajet20/williams.html>
- Joyanes, L. (2009). Congreso La Aplicación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en los centros educativos. Departamento de lenguaje y Sistemas Informáticos. *Universidad Pontificia de Salamanca*. Campus Madrid.
- Kuteeva, M. (2011). Wikis and academic writing: Changing the writer-reader relationship. *English for Specific Purposes*, 30, 44-57. Recuperado desde : <http://ascilite.org.au/ajet/ajet20/williams.html>
- Lozar Manfreda, K. (2001). Web surve errors. Unpublished Ph.D. dissertation. Ljubljana. *Faculty of Social Sciences, University of Ljubljana*. Recuperado desde: <http://ascilite.org.au/ajet/ajet20-williams.html>
- Martínez, F. (2010). Herramientas de la Web 2.0 para el aprendizaje 2.0. *Revista de Artes y Humanidades UNICA*. Universidad Católica Cecilio Acosta, 11 (3), 174-190. Venezuela. Recuperado desde <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=170121969008>
- Martínez, F.; Prendes, M. (2008). Estrategias y espacios virtuales de colaboración para la enseñanza superior. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM*. Universidad Autónoma de Tamaulipas - México, 18(2), 59-90. Recuperado desde: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65411193004>
- Mohammed, J., y Ramírez, R. (2009). Herramientas Web 2.0 para el Aprendizaje Colaborativo. *Tecnológico de Monterrey*, Campus Monterrey. Recuperado desde: [remo.det.uvigo.es/solite/attachments/038\\_Web%202.0.pdf](http://remo.det.uvigo.es/solite/attachments/038_Web%202.0.pdf)
- Muñoz, J. (2012). Apropiación, uso y aplicación de las TIC en los procesos pedagógicos que dirigen los docentes de la institución educativa núcleo escolar rural corinto. Proyecto de grado Maestría. Recuperado desde: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6745/1/jasminlorenamunozcampo.2012.pdf>
- Núñez, F.; Gálvez, A. y Vayreda, A. (2003). La participación en un foro electrónico: motivos, auditorios y posicionamientos. *Universitat Oberta de Catalunya (UOC)*. Recuperado desde <http://www.uoc.edu/dt/20181/>
- O'Reilly, T. (2005). What Is Web 2.0. Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. Recuperado desde: <http://www.oreillynet.com/pub/a/oreilly/tim/news/2005/09/30/what-is-web-20.html>.
- Zambrano, W., Medina, V., y García, V. (2010). Modelo de Aprendizaje Virtual para la Educación Superior (MAVES) basado en tecnologías Web 2.0. Universidad Pontificia de Salamanca, Madrid, España. Recuperado desde <http://biblioteca.unimino.edu/ojs/index.php/med/article/viewFile/263/262>

# Avistamiento de Hielos sobre el Mar en la Bahía de Fildes y el Estrecho de Gerlache durante el Verano Austral 2015

Págs. 67-83

*Julián Eduardo Trujillo Jiménez<sup>a</sup> Julio Cesar Ramírez Cárdenas<sup>b</sup> María Fernanda Vargas<sup>c</sup>*

*Rosana del Pilar Adames Prada<sup>d</sup> Nelson Enrique Murillo Gómez<sup>e</sup>*

<sup>a</sup> Estudiante de Ciencias Navales. Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. julian.trujillo@enap.edu.co

<sup>c</sup> Profesional en Ciencias Navales, especialidad superficie oceanógrafo. Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. maria.vargas@armada.mil.co

<sup>b</sup> Estudiante de Ciencias Navales. Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. Julio.Ramirez@escuelanaval.edu.co

<sup>d</sup> Física Universidad Nacional de Colombia. Docente Facultad de Oceanografía Física, Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. rosana.adames@enap.edu.co

<sup>e</sup> Profesional en Ciencias Navales, especialidad logístico oceanógrafo. Oceanógrafo Físico. Decano Facultad de Oceanografía Física, Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. nelson.murillo@armada.mil.co

## Resumen

Durante la Primera Expedición Científica de Colombia a la Antártica, desde el buque ARC “20 de Julio” y desde el helicóptero ARC 255, se tomaron registros fotográficos de los hielos avistados sobre el mar. Los hielos fotografiados se identificaron y clasificaron usando la terminología de hielos avalada por la Organización Marítima Mundial (OMM), la Carta de Hielos Antárticos del Servicio Hidrológico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) y el Manual de hielo del Servicio de Hielo Canadiense (MANICE por sus siglas en inglés de Manual of Ice). Se corrobora el comportamiento de la dinámica de deshielo propia del verano austral en la Bahía de Fildes y el Estrecho de Gerlache.

**Palabras claves:** Hielo-Marino, Carta-de-hielos, Verano-Austral

## Abstract

During the first Colombian Scientific Expedition to Antarctic on board the ship ARC “20 de Julio” and the helicopter “ARC 255” was taken photographic record of sea ice sighted. The sea ice photographed has been identified and classified according to the terminology of ice of the World Meteorological Organization (WMO), Chilean Navy Hydrographic and Oceanographic Service's Chart of Antarctic Ice (SHOA for its acronym in Spanish) and Canadian Ice Service's Manual of Ice (MANICE). Behavior dynamic of thaw in austral summer is appreciated and confirmed on Fildes Bay and Gerlache Strait.

**Keywords:** Sea ice, Chart of Ice, Austral-summer.

*Fecha de recepción: Junio de 2015*

*Fecha de aceptación: Agosto de 2015*

## 1. INTRODUCCIÓN

Remoto e inhóspito, por su ubicación alrededor del polo sur de la tierra, la Antártida o Antártica fue el último continente en ser descubierto y hasta hace solo un par de siglos empezó su estudio (NSF, 1997).

Varias naciones han reclamado soberanía sobre la Antártida, de manera que se acordó un tratado, donde se establece que esta zona se usará con fines pacíficos, como escenario de investigación científica y de cuidado del medio ambiente global, sin ser motivo de discordia internacional (NSF, 1997).

El primer Tratado Antártico fue firmado en diciembre de 1959 por 12 naciones, pero empezó a regir a partir de junio de 1961. Estas naciones se convirtieron en los países consultivos originales. En Abril de 2010, 17 naciones evidenciaron investigación científica trascendente en la Antártica logrando así vincularse como países consultivos. Adicionalmente, otras 21 naciones, entre ellas Colombia, se han unido al Tratado de manera que pueden asistir a las reuniones de consulta como miembros adherentes no consultivos (Conference on Antarctica, 1959; CCO, 2014).

El interés de Colombia en los asuntos Antárticos nace en la intención de proteger y conservar dicho continente ya que existen varios “factores que retribuyen beneficios considerables al desarrollo marítimo, ambiental y económico” (CCO, 2014) de esta nación. “Dadas las características de conexión oceánica, climática y biológica entre el continente Antártico y Suramérica” (CCO, 2014), para Colombia es importante desarrollar programas de investigación científica en asuntos Antárticos con cooperación internacional.

La gran concentración de hielo del continente Antártico actúa como regulador del clima en el hemisferio sur y Colombia, por ser un país megadiverso, es “altamente vulnerable al cambio climático” (CCO, 2014); razón por la cual ha iniciado un proceso que le permita validar su interés en asuntos antárticos. Al desarrollar ciencia e innovación tecnológica con apoyo sustancial al conocimiento de la Antártida, esta nación logrará reconocimiento tal que le permita pasar de país adherente a consultivo en el Sistema de Tratado Antártico (CCO, 2014).

Actualmente la principal ruta de acceso a la región Antártida es el medio marítimo, siendo frecuente la presencia de buques navegando en aguas con hielo en condiciones “meteorológicas cambiantes y exigentes” (NAVATAR, 2008). Por esta razón y en pro de la seguridad en la navegación, las partes consultivas “han manifestado su preocupación a través de diversas recomendaciones” en las cuales se resalta la importancia de “desarrollar servicios de información meteorológica y especialmente, sobre hielo marino” (NAVATAR, 2008).

Las recomendaciones adoptadas por el Tratado que sugieren optimizar los estudios sobre hielo marino radican en que “el mayor peligro para la navegación está dado por la pequeña pero abundante fragmentación de hielo muy denso y duro”, de muy difícil visualización y que rara vez es detectado por los radares. La XIV Reunión Consultiva del Tratado realizada en 1987 adopta un “servicio de Información Meteorológica Marina y sobre Hielo Marino en el océano Austral” (NAVATAR, 2008).

La Agenda de Investigación Antártica de Colombia, que orienta y articula los esfuerzos del país en pro del conocimiento en asuntos antárticos, estableció para el 2014 “desarrollar la primera expedición científica con nave propia en el continente antártico”, así como contar con una estación científica temporal para el 2025 y una estación permanente para el 2035 (CCO, 2014).

Durante el desarrollo de la Primera Expedición Científica Antártica de Colombia, la cual se efectuó a bordo del ARC “20 de Julio”, se realizaron actividades de navegación y usando el helicóptero ARC 255, se realizaron actividades de aeronavegación, que conjuntamente permitieron tomar registros fotográficos y de esta forma estudiar los hielos sobre el mar contribuyendo con la seguridad marítima de la zona. Posterior a la expedición, los hielos registrados se clasificaron acorde a la Carta de Hielos Antárticos del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), a la terminología y nomenclatura del hielo marino avalada por la Organización Meteorológica Mundial OMM y al Manual de procedimientos estándar para la observación y notificación de las condiciones de hielo (MANICE por sus siglas en inglés) del Servicio de Hielo Canadiense (CIS por sus siglas en inglés).

## 2. MARCO TEÓRICO

El hielo en el mar puede ser de origen marino o terrestre y representa un peligro para la navegación. Dicho hielo puede estar a la deriva o sin movilidad, de manera que para establecer el nivel de riesgo, se hace necesario conocer la terminología del hielo, saberlo caracterizar y distinguir sus diferentes etapas de formación.

### *Hielo marino*

El hielo marino presenta características diferentes al hielo de origen terrestre y su presencia es más riesgosa ya que emerge muy poco sobre la superficie del mar. A diferencia del hielo terrestre, cuya formación es a partir de agua dulce, el hielo marino proviene de la congelación de agua de mar a temperaturas inferiores a  $-1.88^{\circ}\text{C}$  si la salinidad oscila entre 32 y 37 partes por mil (podaac, 2015; PUB 200, 2014).

La OMM ha desarrollado e ilustrado ampliamente las formas, etapas y características del hielo marino identificándolo por varios elementos clasificados en 6 grupos acordes a la etapa de desarrollo, la forma, los efectos de presión, el estado de fusión, las aberturas y la concentración (NAVATAR, 2008).

Acorde a la etapa de desarrollo el hielo marino se puede clasificar, considerando su apariencia y espesor, como hielo nuevo: cristales de hielo recién formados de aspecto mate que no representan peligro para la navegación; nilas: costra delgada elástica sobre la superficie hasta 10 cm de espesor que no representa peligro para la navegación; hielo joven: placa de hielo quebradiza de 10 a 30 cm de espesor, de color gris (de 10 a 15cm) o gris-blanco (de 15 a 30cm), con suficiente fuerza para representar riesgo potencial si el buque no está reforzado o es de baja potencia; hielo de primer año: quebradizo, de color blanco, originado durante un invierno y clasificado acorde a su espesor en delgado (menor a 70cm), medio (menor a 120cm) y grueso (menor a 2m); e hielo viejo o plurianual: duro y resistente, de coloración azulada pero enmascarado por la nieve, que ha sobrevivido a por lo menos un verano por lo que presenta patrones de erosión y con espesores superior-

res a 2m.

Acorde a la forma el hielo marino se puede clasificar, por su mayor medida de extensión lineal, en escombros con longitudes menores a 2m, hielo panqueque con longitudes de 30cm a 3m, torta de hielo con longitudes de 3 a 20m, bandejón pequeño con longitudes de 20 a 100m, bandejón mediano con longitudes de 100 a 500m, bandejón grande con longitudes de 500m a 2km, bandejón vasto con longitudes de 2 a 10km, y bandejón gigante con longitudes mayores a 10 km (PUB 200, 2014).

Los efectos de presión son los deslizamientos, líneas, paredes, protuberancias o pequeñas lomas formadas en el hielo marino cuando por la presión es forzado hacia arriba y hacia abajo sobre la superficie del mar. Estos efectos se pueden denominar sobreescurreamiento: cuando una capa de hielo se desliza sobre otra, efecto que se observa en cualquier etapa de desarrollo menos en hielo nuevo; cordón de hielo nuevo: con picos agudos ( $40^\circ$  de pendiente), igual masa sumergida que emergida, fragmentos individuales de poca altura (alrededor de 2m) visibles desde el aire, con intersticios de aire que les resta dureza y resistencia, cuyo efecto se observa en hielo joven y de primer año; cordón afectado por temperie: con picos más suaves y redondeados ( $30$  a  $40^\circ$  de pendiente), fragmentos consolidados y solidificados entre sí, menor parte emergida a causa de la erosión, cuyo efecto se observa en hielo de primer y segundo año; cordón de hielo muy afectado por temperie: con picos muy redondeados ( $20$  a  $30^\circ$  de pendiente), muy peligroso para la navegación ya que a causa de la erosión y cubrimiento de nieve es muy difícil de visualizar, de gran dureza por la solidificación y consolidación de sus trozos, efecto observado en hielo

viejo al sur del mar de Weddell y en el golfo de Erebus y Terror; cordón de hielo viejo: con tope alineado y nivelado con la superficie del mar que lo hace muy difícil de avistar y por ende muy peligroso para la navegación, presenta máxima consolidación, dureza y resistencia, cuyo efecto es observable en hielo viejo de varios años al sur del mar de Weddell y en el golfo de Erebus y Terror (NAVATAR, 2008); y montículo: con una pequeña loma forzada hacia arriba cuya dureza y resistencia dependen de la etapa de desarrollo del hielo donde se formó, efecto observable en hielo de primer año e hielo viejo.

Acorde al estado de fusión la superficie del hielo puede presentar agua en estado líquido por fusión de la nieve o del mismo hielo. Si la fusión ocurre sobre hielos duros y resistentes usualmente corresponde a hielo viejo, de color azulado y en donde la superficie de agua líquida no predomina en comparación con la superficie del hielo; estos hielos presentan patrones de drenaje que unen las superficies líquidas en los ciclos de congelación-fusión por lo que presenta ondulaciones en su superficie. Por otro lado, si la fusión ocurre sobre hielo de menor resistencia usualmente se refiere a “hielo podrido” donde la superficie de agua líquida predomina en comparación con la superficie del hielo; adicionalmente si se presenta un proceso de desintegración donde la superficie líquida perfora el hielo y logra estar en contacto con agua de mar, puede observarse dicha superficie de un color azul oscuro o negruzco, lo que indica disolución del hielo marino.

Acorde a las aberturas, que son superficies de agua de mar que pueden estar cubiertas o no por hielo nuevo o joven y que se presentan gracias a la expansión del 12% que sufre el agua cuando inicia el proceso de con-

gelación para su posterior contracción del 9% al final del proceso de congelación, se puede hablar de aberturas navegables y no navegables (PUB 200, 2014). Las aberturas navegables son clasificadas como: canal (fracturas a través del hielo marino navegables por embarcaciones de superficie), canal costero (entre el hielo a la deriva y la costa o entre el hielo a la deriva y el frente de hielo), canal grietado (entre hielo a la deriva y hielo fijo navegables por embarcaciones de superficie) y polinas (encerradas por hielo y pudiendo contener escombros, hielo nuevo, nilas o hielo joven). Las aberturas no navegables son de tres tipos: fractura (rupturas

a través del hielo muy cerrado y consolidado, que pueden contener escombros, nilas o hielo joven, con una extensión de pocos metros a varios kilómetros), rajadura (fracturas de hielo fijo y consolidado de unos pocos centímetros a 1m) y grieta (zona de separación entre el hielo a la deriva y el hielo fijo como producto de cizalladura a lo largo de la frontera del hielo fijo).

Acorde a la concentración, donde se relaciona en décimos (u octavos en algunos países) la superficie de mar cubierta por hielo respecto al área total de observación (en un radio menor a 1km para evitar correcciones por paralaje), la concentración total considera todos los estados de desarrollo presentes y la concentración parcial referencia la cantidad de un estado determinado o una forma particular de hielo comparando solo una parte del hielo total.

### *Hielo terrestre*

El hielo de origen terrestre o témpano en el mar, es consecuencia del congelamiento de la nieve que cae sobre la superficie del continente y su posterior des-

Por ser de nieve congelada, los témpanos se diferencian del hielo marino en sus propiedades, densidad y partes emergentes. Debido a su formación presentan burbujas de aire en su interior que pueden constituir del 2 al 10% de su masa, por lo que no alcanzan a tener la densidad del hielo puro (NAVATAR, 2008).

Cuando el témpano está a flote, se estima que 87% de su masa está sumergida, pero esta proporción puede variar dependiendo de la razón entre la densidad del hielo y la del agua. La densidad de estos témpanos

suele ser de  $1.92 \frac{g}{cm^3}$  o incluso menor, mientras que la del

prendimiento (NAVATAR, 2008).

salinidad, es de aproximadamente 1.03 (PUB 200, 2014).

$\frac{g}{cm^3}$

Los témpanos se pueden clasificar considerando su origen, su tamaño o su forma. Dependiendo el tipo pueden calar en el agua hasta 5 veces su altura sobre la superficie, que se suele confundir erróneamente con la cantidad de masa sumergida.

Acorde a su origen los témpanos se clasifican en témpanos tabulares: que son los más comunes y grandes desprendimientos de las barreras de hielo (formadas sobre el mar y unidas a la costa) propios de la región Antártica, su forma es aplanada y de color blanco (PUB 200, 2014); y en témpanos de glaciar: proveniente de un cuerpo de hielo compacto de muy lenta formación que por su propio peso genera tensiones y grietas que causan su deslizamiento hacia el mar, suelen ser irregulares, más pequeños que los tabulares, con elevaciones escarpadas, de color blanco con visos azulados o verdosos (NAVATAR, 2008).

Acorde a su tamaño se pueden clasificar en témpano: si la parte emergente mide más de 5m sobre el nivel

del mar; tempanito: si la parte emergente mide entre 1 y 5m, por ser más pequeños que los témpanos con superficies entre 100 y 300m<sup>2</sup>, suelen ser fragmentos de témpanos o témpanos en últimas etapas de fusión, representando mayor peligro para las embarcaciones por ser más difíciles de avistar; y gruñones: que emergen menos de 1m sobre el nivel del mar, con una superficie hasta de 20 m<sup>2</sup> y generalmente transparentes, por lo que son los más riesgosos para la navegación (NAVATAR, 2008).

Acorde a su forma pueden presentar rasgo tabular: si su apariencia es horizontal con anchos hasta 5 veces su alto; de domo: si su apariencia es suave y redondeada; pinacular: si su apariencia es piramidal o de espiral, de cuña: si su parte plana está inclinada; de bloque: si su apariencia es aplanada con bordes empinados; erosionado o afectado por temperie: si su apariencia es degradada por el viento y el oleaje, con líneas de flotación primitivas que a causa de la erosión sufrida evidencian que el témpano ha venido emergiendo sobre la superficie, presentan signos de fracturas, desprendimientos, cavernas, espolones, inclinación o de vuelta de campana, incluso pueden ser tan erosionados que se puede llegar a navegar dentro de uno de ellos como ocurre con los témpanos gemelos o en forma de U: cuya estructura de dos o más columnas o pináculos emergentes se mantiene unida muy cerca o por debajo de la superficie del agua representando un gran riesgo para la navegación en condiciones de baja visibilidad (CIS, 2008).

En condiciones de niebla la presencia de gruñones agrupados puede ser una buena indicación de un témpano a barlovento (PUB 200, 2014). En las regiones polares los navegantes pueden usar la nubosidad como

indicador de proximidad de hielo: el resplandor de hielo se visualiza como una iluminación blanquecina en las nubes que se encuentra sobre una acumulación de hielo y el humo de mar ocurre cuando el aire frío entra en contacto con el agua cálida del mar, apareciendo semejante a la neblina sobre aberturas y en hielos en primeras etapas de formación (NAVATAR, 2008).

En condiciones de buen tiempo los hielos en el mar pueden ser de ayuda para la navegación ya que pueden servir de puntos de referencia, indicar bajos, así como la presencia de gruñones que se encuentran distribuidos en una línea curva con témpanos en el lado cóncavo de la misma.

Finalmente los témpanos pueden inclinarse para alinear su centro de masa y quedar a flote en equilibrio, por lo tanto si se identifica su tamaño y se evidencian grados de desintegración o de inclinación puede establecerse el nivel de riesgo para las embarcaciones que transiten cerca; además, debe considerarse que algunos hielos en el mar pueden poseer formas irregulares como espuelas por debajo del agua que llegan a extenderse distancias considerables desde las partes visibles, presentando altos riesgos para la navegación y el lanzamiento de equipos.

### 3. METODOLOGÍA

En el desarrollo de la Primera Expedición Científica de Colombia a la Antártida, la cual se realizó a bordo del ARC “20 de Julio” y tuvo permanencia durante el verano austral, se tomaron fotografías, tanto aéreas (usando el helicóptero ARC 255) como a bordo del buque, de los hielos avistados sobre el mar, específicamente desde el 14 de Enero al 08 de Febrero de 2015.

Dichas fotografías fueron tomadas en el área de Bahía Fildes y el Estrecho de Gerlache. Desde el buque durante el servicio de guardia se usó una cámara SAMSUNG de 645 x 400 Mpixel. Aéreamente desde el helicóptero durante el vuelo programado para cumplir actividades de investigación se usó una cámara NOKIA 500 x 334 Mpixel.

Una vez capturadas las imágenes se procedió a comparar visualmente con los hielos registrados en la Carta de Hielos Antárticos del SHOA (SHOA, 2003), con el fin de identificar elementos que permitieran según su forma y distribución, clasificar los hielos avistados. Adicionalmente se complementó la clasificación usando terminología del hielo marino avalada por OMM ya que dicha terminología se modifica con los años y la región de observación (OMM, 1970-2004), y al MANICE del CIS que se actualiza diariamente y cuyo fin es la seguridad en la navegación marítima en aguas con presencia de hielos (CIS, 2015).

Finalmente se revisó el estado del arte de investigaciones que han realizado avistamiento de hielos en el verano austral para comparar si los hielos fotografados son acordes a la época y área de registro.

#### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el verano Austral existe luz solar cerca de 20 horas al día, condición que facilitó el registro fotográfico; sin embargo, se tuvieron limitaciones por baja visibilidad producida por neblina y navegación en aguas restringidas.

Al comparar con la Carta de Hielos Antárticos del

SHOA (SHOA, 2003), de las 28 clases de hielos registradas allí, en la Primera expedición Antártica de Colombia se registraron 12 tipos de hielos sobre el mar, siendo los escombros de hielo consolidado la forma más abundante en la zona.

Gracias a la aeronavegación se complementaron los registros con más detalle de las formas. En la figura 1.1 se observa una región de fusión que desde el buque era inapreciable; así mismo en la figura 10.1 se evidencia un espolón que desde la vista de perfil obtenida a bordo del buque se notaría hasta alcanzar una riesgosa proximidad.

No es suficiente usar la terminología de hielo avalada por la OMM de un solo año, ya que los nombres de las clasificaciones varían acorde a la región y se van cambiando con el paso de los años. Por ejemplo el hielo gemelo sólo se le conoce así en Argentina y la traducción al español de "forma de U" no es literal acorde a la OMM.

En el MANICE se puede apreciar la técnica para describir, en mapas de huevo, formaciones de hielo acorde a su concentración y clasificación; sin embargo, los registros suministrados no son suficientes para realizar este tipo de estudios que se sugieren para próximas expediciones antárticas de Colombia.

Las clasificaciones actuales no hacen diferencia acerca del origen de hielos avistados sobre el mar. Así los hielos flotantes a la deriva (figura 4.3), los bandejonos (figura 12), los gruñones (figuras 6.1 y 6.2) o los milenarios (figura 7) pueden ser de origen marino o de témpanos de hielo (origen terrestre) en procesos adelantados de deshielo y derretimiento. Para establecer el

origen se requiere tomar muestras de hielo para calcular niveles de salinidad.

No se cuentan con muchos registros de clasificación fotográficos; sin embargo, acorde al Servicio de Hielos Canadiense (CIS, 2008) ilustran estadísticas de tipos de hielos avistados en la década de 1920 a 1930, que es coherente con los registros observados en la primera expedición Científica Antártica de Colombia, donde se aprecian (a excepción de las figuras 2 y 11) formaciones de hielo típicas del deshielo austral.

A continuación se ilustran las 12 clasificaciones de hielo fotografiadas desde distintos ángulos, aéreas y desde el buque para facilitar la identificación:

### Figura 1. Tempanito

Trozo de hielo glaciar flotante, con altura entre 1 y 5m sobre el nivel del mar y una superficie de entre 100 a 500 m<sup>2</sup>.



1.1 Tabular con fusión superficial

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



1.2 Pináculo

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



1.3 Erosionado

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



1.4 Tabular

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



1.5 Cuña

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



Parte vertical de una meseta o glaciar en dirección hacia el mar que no están flotando, pero prontas a desprenderse.



2.1 Glaciar

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



2.4 Hielo viejo

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



2.2 Desprendimiento glaciar

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



2.5 Desprendimiento tabular

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



2.3 Glaciar con base rocosa

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



2.6 Borde de hielo con base rocosa

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



2.7 Pared de hielo

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



3.2 Erosionado

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



2.8 Sobreescurrencimiento

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



3.3 Pináculo

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia

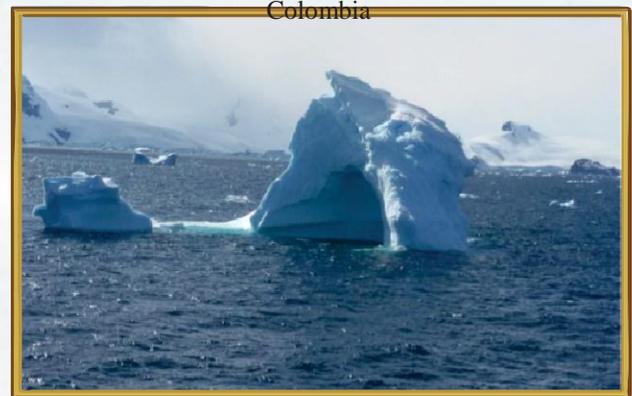
### Figura 3. Efecto De Temperie

Procesos de ablación y acumulación, los cuales gradualmente eliminan las irregularidades en una superficie de hielo.



3.1 Montículo

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia



3.4 Domo

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida  
Colombia





3.5 Caverna - Foto utilizada para la portada de DERROTERO Revista de la Ciencia y La Investigación/Science and Research Journal

#### Figura 4. Escombros de Hielo

Acumulación de hielo flotante formada por trozos cuya dimensión no supera los 2m de diámetro, provenientes de la desintegración de otras formas de hielo.



4.1 Gruñon

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia



4.2 Flotante Consolidado

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia



4.3 Flotante a la deriva

Fuente. Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia



5.2 Tabular

Fuente. Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia



4.4 Flotante consolidado

Fuente. Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia

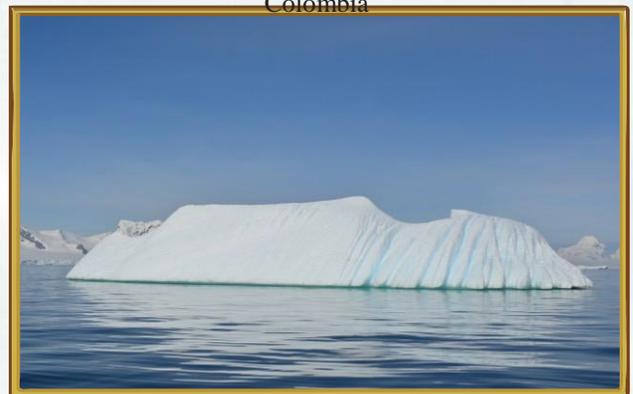


5.3 Gemelo

Fuente. Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia

**Figura 5. Témpano**

Trozo de hielo flotante, con altura entre mayor a 5m sobre el nivel del mar.



5.4 Bloque

Fuente. Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia

5.1 Cuña

Fuente. Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia





5.5 Tabular inclinado

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia

### Figura 6. Gruñón

Hielo más pequeño que un tempanito, a menudo transparente y de aspecto verdoso o casi negro; emerge menos de 1m sobre el nivel del mar. Usualmente pluri-anual.



6.1 Gruñón

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia



6.2 Gruñón

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia

Hielo viejo no mayor de 20 m<sup>2</sup> con aspecto transparente o verde oscuro, presentan gran riesgo para la navegación debido a que son difíciles de visualizar.



Milenario

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia

### Figura 8. Borde de hielo

Desprendimiento de lo que era parte de un borde de hielo con gruñones alrededor.



Desprendimiento borde de hielo

Fuente. Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia

**Figura 9. Frente de hielo**

Acantilado vertical de una meseta o glaciar flotante con una altura mayor a 2m.



Frente de hielo

Fuente. Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia

**Figura 10. Espolón**

Es la proyección sumergida de un hielo de gran tamaño que ha presentado mayor derretimiento en la parte emergida.



10.1 Espolón

Fuente. Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia



10.2 Espolón (vista de perfil)

Fuente. Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia

**Figura 11. Hielo nuevo**

Hielo en primera etapa de formación donde aparecen los primeros cristales formando una capa de unos cuantos centímetros de espesor color mate.



11.1 Graso

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia





11.2 Graso

Fuente. Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia



11.3 Shuga

Fuente: Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia

### **Figura 12. Bandejón**

Acumulación de hielos flotantes que no están en contacto con formas de aplanadas.



Bandejones pequeños

Fuente. Expedicionarios, Primera Expedición Antártida Colombia

## 5. CONCLUSIONES

Se observan 12 de las 28 formaciones registradas en la Carta de Hielos Antárticos del SHOA, todas acordes al evento de deshielo en el verano austral. Las formaciones de hielo más frecuentemente avistadas fueron los fragmentos de hielo consolidado.

Se verifican los reportes brindados por la OMM en cuanto al difícil avistamiento de formaciones, como gruñones y milenarios que por su gran estado de erosión son difícilmente detectados sobre la superficie del mar; así como los espolones que sin ayuda de aeronavegación no son fáciles de detectar desde el buque.

Debido a las condiciones de navegación en aguas prohibidas no es fácil obtener registros más detallados de las distintas formaciones de hielo, por lo que se sugiere contar con embarcaciones más pequeñas.

## REFERENCIAS

- CCO Comisión Colombiana del Océano. (2014). Agenda Científica Antártica de Colombia 2014-2035. Bogotá D.C. Comité técnico nacional de asuntos antárticos.
- Conference on Antártica. (1959, December). The Antarctic Treaty. Washington, D.C. Recuperado de <https://ec.gc.c/glacesice/default.asp?lang=En&n=EBDC5182-2>
- NAVATAR. XIX Curso de Navegación Antártica. (2008). Servicio de Hidrografía Naval. Buenos Aires Argentina
- NSF National Science Foundation. (1997). Report of the U.S. Antarctic Program External Panel: "Antarctica - Past and Present". Washington, D.C. Retrieved 2007-2011-2014. Recuperado de <http://www.nsf.gov/pubs/1997/antpanel/front.html>
- OMM Organización Meteorológica Mundial. (1970-2004). Programa para la Oceanografía y Meteorología Marina. WMO/OMM/BMO — No.259. Recuperado de [https://www.wmo.int/pages/about/index\\_es.html](https://www.wmo.int/pages/about/index_es.html)
- Podaac Physical Oceanography Distributed Active Archive Center. Jet Propulsion Laboratory. California Institute of Technology, 2015. Recuperado de <http://podaac.jpl.nasa.gov/SeaSurfaceSalinity>
- PUB 200 Sailing Directions (Planning Guide & Enroute) Antarctica. National Geospatial-Intelligence Agency, 2014. Tenth edition. Springfield, Virginia U.S.A.
- SHOA Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de Chile. (2003). Carta de Hielos Antárticos



# Estudio de Predicción para Periodos de Reposo del Buque Inducido por las Olas

Págs. 85-92

*José Girón Sierra<sup>a</sup> Cristina Mateos Fernández de Betoño<sup>b</sup>*

<sup>a</sup>Doctor en Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, gironsi@dacya.ucm.es

<sup>b</sup>Ingeniero Naval y Oceánico, Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación. cmatfe2@ext.mde.es

---

## Resumen

El diseño de buques con buen comportamiento en la mar es una de las preferencias en la adquisición de los nuevos buques de las Armadas dentro del cual se establecen límites de operación para el despegue y aterrizaje de helicópteros y RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems).

Se denomina Periodo Quiescente de un buque a un tiempo de tranquilidad o de menor movimiento durante la navegación. Durante estos períodos es más fácil realizar ciertas operaciones delicadas, como por ejemplo el aterrizaje o despegue de helicópteros o RPAS sobre las cubiertas de vuelo de los buques. De este modo, se pretende obtener una mejor predicción de los períodos de reposo inducidos por las olas y sus efectos en los movimientos del buque.

**Palabras claves:** Período quiescente, wavelet, olas, RPA, USV.

## Abstract

A preference in the purchase of new vessels of Navies is the good seakeeping through design vessel within operating limits for takeoff and landing of helicopters and RPAS are established.

When there is a less movement during shipping or times we quiet, this is called a Quiescent Period. During these periods it is easier to perform certain sensitive operations, such as for example the landing or take off of helicopters or RPAS on the flight decks of ships. In this way aims to improved prediction of quiescent periods for wave induced ship motions.

**Keywords:** Quiescent period; wavelet; waves, RPA, USV.

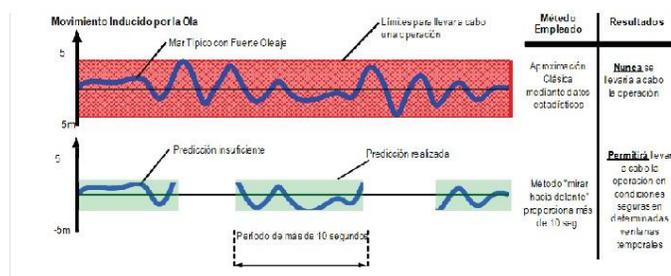
---

*Fecha de recepción: Junio de 2015*

*Fecha de aceptación: Agosto de 2015*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los barcos pasan la mayor parte de su vida en el mar y en este entorno tan impredecible, se dificultan las operaciones que se realizan a bordo en condiciones adversas. En el mundo del comportamiento de un buque en la mar se denomina período quiescente (PQ) de un buque a un tiempo de tranquilidad o de menor movimiento durante la navegación. Durante estos períodos es más fácil realizar ciertas operaciones delicadas, como son por ejemplo el aterrizaje o despegue de helicópteros, aprovisionamiento vertical y desde luego RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) sobre las cubiertas de vuelo de los buques. Por lo que sería de gran ayuda tener la capacidad de predecir con cierta antelación la llegada de un PQ para poder hacer cualquiera de estas predicciones.



**Figura 1.** Métodos de predicción

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente estos estudios se pueden aplicar también para el arriado e izado de lanchas tipo RHIBS, entrada en dique de plataformas navales de las unidades de infantería, USVs (*Unmanned Surface Vehicles*)... Y si el sistema permitiera conocer cómo se va a mover el buque, podríamos actuar preventivamente con los actuadores consiguiendo una disminución de los movimientos.

Existen dos alternativas metodológicas para predecir los PQ. Una de ellas se puede decir que mira

hacia el pasado “look back or look at the past” y la otra mira al futuro “look at the future”.

La que “mira al pasado” va registrando los movimientos del buque a lo largo del tiempo, y por medios estadísticos, u otros medios más simples, trata de predecir los próximos movimientos. Normalmente este enfoque está limitado entorno a unos 6 segundos (Colwell, 2004).

La que “mira al futuro” realiza medidas a distancia de la ola incidente. Con suficiente distancia como para asegurar una buena antelación, que puede llegar a unos pocos más segundos. En esta metodología además de la realización de medidas a distancia, se llevan a cabo dos funciones más. Una de ellas es calcular la posible deformación de la ola en su viaje hasta el buque. La otra es calcular cómo se va a mover el buque en respuesta a la ola que le llega. Para esto último se suele emplear un modelo y técnicas de dinámica de fluidos computacional (CFDs) o resultados en un laboratorio de ensayos de dinámica del buque como el Canal de Experiencias Hidrodinámicas del pardo (CEHIPAR), ubicado en Madrid.

De hecho, el buque actúa como un “filtro”, de modo que tiende a una oscilación dominante dentro de un rango de frecuencias.

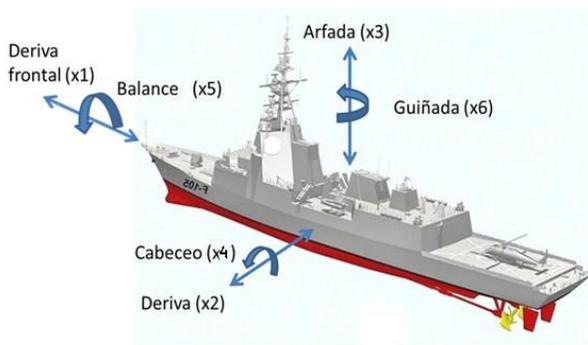
## 2. ESTADOS DEL MAR Y MOVIMIENTOS DEL BUQUE

La predicción de PQ se deberá definir por el estado del mar y los parámetros de la navegación (rumbo y velocidad). Además influyen la luz y las condiciones

atmosféricas, tipo de buque, cubierta de vuelo y vehículo aéreo, el modo de aterrizar y la existencia o no de sistemas de ayuda.

Para conseguir la estabilización necesaria durante una determinada operación es muy útil poder predecir con suficiente antelación la venida de un PQ, y acompañar esta predicción con una valoración de la calidad, entendiéndose ésta como los PQ de mayor duración y cuya incidencia sobre el comportamiento del buque sea menor (cabeceo, balance y arfada).

Estos movimientos son los más relevantes de cara al comportamiento en la mar del buque, pero se debe hacer notar que el buque también se ve afectado por los correspondientes al resto de grados de libertad del mismo (deriva frontal, deriva lateral y guiñada).



**Figura 2.** Movimientos de un buque  
Fuente: Elaboración propia

Es posible encontrar funciones de transferencia correspondientes a los seis movimientos (Girón-Sierra, Esteban, Recas, De-Andres, De la Cruz, Riola, Aranda, & Velasco (2005)). Estas funciones ponen en relación el oleaje y los movimientos correspondientes del buque.

$$(m + a_{11})\ddot{x}_1 + b_{11} \dot{x}_1 = F_1$$

$$(m + a_{22})\ddot{x}_2 + b_{22} \dot{x}_2 + a_{24}\ddot{x}_4 + b_{24} \dot{x}_4 + a_{26}\ddot{x}_6 + b_{26} \dot{x}_6 + c_{26} x_6 = F_2$$

$$(m + a_{33})\ddot{x}_3 + b_{33} \dot{x}_3 + c_{33}x_3 + a_{35}\ddot{x}_5 + b_{35} \dot{x}_5 + c_{35} x_5 = F_3$$

$$a_{42}\ddot{x}_2 + b_{42} \dot{x}_2 + (I_{44} + a_{44})\ddot{x}_4 + b_{44} \dot{x}_4 + c_{44}x_4 + a_{46}\ddot{x}_6 + b_{46} \dot{x}_6 + c_{46} x_6 = F_4$$

$$a_{53}\ddot{x}_3 + b_{53} \dot{x}_3 + c_{53}x_3 + (I_{55} + a_{55})\ddot{x}_5 + b_{55} \dot{x}_5 + c_{55}x_5 = F_5$$

$$a_{62}\ddot{x}_2 + b_{62} \dot{x}_2 + a_{64}\ddot{x}_4 + b_{64} \dot{x}_4 + (I_{66} + a_{66})\ddot{x}_6 + b_{66} \dot{x}_6 + c_{66}x_6 = F_6$$

Cabe mencionar (Lloyd, 1988) como un libro en el que se encuentran detalles matemáticos sobre estados del mar, en concreto sobre sus espectros, como pueden ser los de Bretschneider para mar abierto, y JONSWAP para mares costeros, sobre modelos matemáticos de los seis movimientos del barco en respuesta a olas incidentes, sobre estudios con modelos de barcos a escala, etc.

Los requisitos de partida que se han tomado como referencia son los límites operacionales señalados por la STANAG 4154 (*Common Procedures for Seakeeping in the Ship Design Process*) para aterrizaje y despegue de helicópteros en buques.

Concretamente este STANAG habla de un máximo de 2,5° de balance, 1,5° de cabeceo, y una velocidad vertical de la pista de 1,0 m/s medidos en valores medios cuadráticos (r.m.s.). En recientes estudios se identifican hasta tres tipos de operaciones para los que se pueden determinar diferentes requisitos de predicción, resumiendo se habla de los siguientes contextos de predicción:

- Inferiores a treinta 30 segundos para operaciones tipo: aeronaves de ala fija - aterrizaje en portaaviones, helicópteros - aterrizaje y despegue, VERTREP.

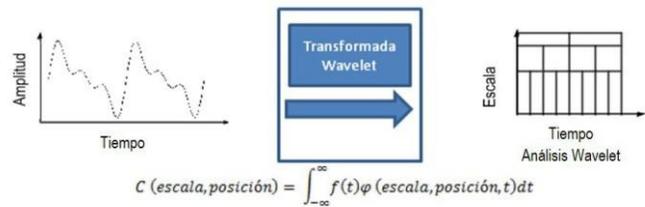
- De aproximadamente un 1 minuto para operaciones

tipo: manejo de carga, lanzamiento y recogida de pequeñas embarcaciones tripuladas, reabastecimiento en la mar, operaciones de disparo, lanzamiento y recogida de vehículos no tripulados.

- Superiores al minuto para operaciones tipo: lanzamiento y recogida de sonares remolcados, embarque y desembarque de embarcaciones anfibas en buques tipo LPD.

Con estos medios de predicción lo que se pretende es permitir llevar a cabo las actuales operaciones bajo condiciones adversas de la mar, una predicción del orden de 30 segundos (Morris, Zienkiewicz and Belmont, 1997). Proporciona el suficiente margen para incrementar a un estado de mar superior. La idea fundamental que subyace en este estudio es que el oleaje va cambiando, se va deformando, a lo largo del tiempo y se necesita analizar paso a paso la información de dicha deformación.

La olas se pueden asemejar a ondas mecánicas, donde simplificando el proceso se pueden definir dos movimientos, el primero es un movimiento circular debido a la oscilación del medio movido por la onda y el segundo es la propagación de la onda que traslada el fenómeno con una dirección y una velocidad de onda. Se puede decir que la transformada de wavelet, vista como un proceso matemático, es una operación lineal que descompone una señal compleja en bloques elementales que aparecen en diferentes escalas o resoluciones, donde estos bloques pueden ser generados de una forma sencilla, simplificando su análisis y permitiendo limpiar la señal de interferencia externa.



**Figura 3.** Esquema transformada Wavelet

Fuente: Elaboración propia

La selección de la wavelet que mejor se ajusta depende de las características propias de la señal de estudio, siendo por tanto la clave del estudio encontrar la mejor función base (wavelet madre). Esta función base debe de satisfacer dos condiciones que son:

- Ser oscilatorio (área total igual a cero)
- Decaer a cero rápidamente

Este método se emplea debido a que al transformar al dominio de frecuencias una señal se pierde la información temporal, imposibilitando indicar cuando ocurre una acción, cuando la señal no cambia con el tiempo (estacionaria) esta información no es importante, pero no es válido para el caso de análisis de olas, ya que se precisa determinar en cada caso esta información.

Una característica muy importante de este tipo de funciones es la de poder analizar una señal a diversas escalas, esta característica juega un papel importante, ya que los diversos algoritmos procesan los datos en diferentes escalas y resoluciones espaciales. Si se observa una señal a una escala pequeña (poca resolución) se apreciarán únicamente aquellas entidades de mayores dimensiones; igualmente si se observa la misma señal a una escala grande se podrán distinguir pequeños elementos o partes de la señal. Es necesario escoger adecuadamente la función prototipo

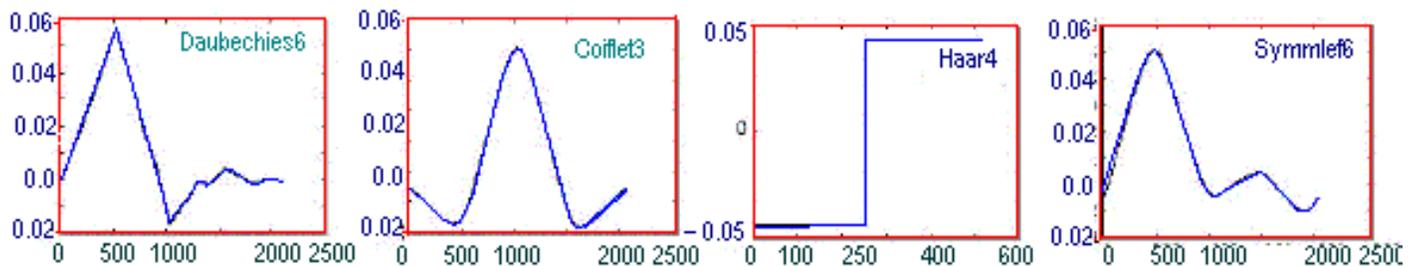
o wavelet madre, a partir de la cual se deriva toda una familia de versiones trasladadas y escaladas.

$$W_f(s, \tau) = \int f(t) \psi_{s,\tau}^*(t) dt \quad (2)$$

Estas funciones wavelets son generadas a partir de la traslación ( $\tau$ ) y escalado ( $s$ ) de una misma función wavelet, a la que se denomina wavelet madre  $\psi()$ .

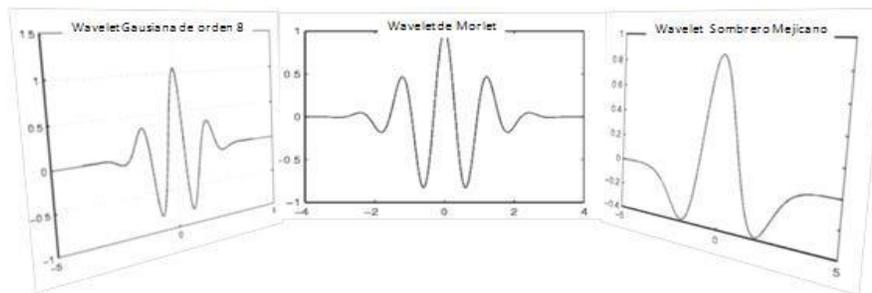
$$\psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (3)$$

Mediante el factor de escala  $s$ , las wavelets se pueden dilatar  $s > 1$ , o contraer,  $s < 1$ , de manera que el valor de  $s$  permite cubrir rangos diferentes de frecuencias.



**Figura 4.** Ejemplos de wavelet madre  
Fuente: Elaboración propia

Existen diversos tipos de wavelets, entre ellas destacamos las de Gauss, Morlet, Sombrero Mejicano, Haar, Daubieches, Biortogonal, Coiflets, Symlets, Meyer, cuyas ecuaciones de las más representativas se indican a continuación.



**Figura 5.** Ejemplos de Wavelets  
Fuente: Cortés et al.

$$\text{Gauss: } F = Cp e^{-x^2}$$

$$\text{Morlet: } \psi(x) = (e^{-x^2/2}) \cos(5x)$$

$$\text{Sombrero Mexicano: } \psi(x) = (2\pi^{-1/4})(1 - x^2)(e^{-x^2/2})/\sqrt{3}$$

Finalmente se concluye que la wavelet tiene duración definida, además tienden a ser irregulares y asimétricas, permitiendo mayor adaptabilidad y mejor convergencia a la señal a tratar.

### 3. APLICACIONES EN DEFENSA

Es evidente que llegar a predecir con suficiente antelación los PQ, es fundamental para la Armada Española, teniendo en cuenta la importancia y repercusiones de la misma. Además de los buques cuya misión fundamental es operar con aeronaves y de los buques anfibios, claramente tiene aplicación en los nuevos Buques de Acción Marítima (BAM) que prevén maniobras de aterrizaje, despegue, reabastecimiento de combustible en vuelo estacionario (HIFR) y aprovisionamiento vertical (VERTREP), así como para futuras unidades como pueden ser las nuevas fragatas F-110.

A modo resumen podríamos indicar la siguiente relación de operaciones como susceptibles de obtener mejoras gracias a la detección de estos períodos, como pueden ser ventanas temporales que garanticen que la pista se encuentra en las condiciones adecuadas para tomar tierra de aeronaves de ala fija – *Ramp clearance during landing operation*, operaciones de despegue, aterrizaje o descarga de material de helicópteros - *Helicopter landing / take-off or pickup / delivery operations*, despliegue y recogida de lanchas - *Launch / recovery of manned crafts*, lanzamiento y recogida de vehículos no tripulados - *Launch / recovery of unmanned vehicles (UAV, USV, USSV, UUV)*, reabastecimiento en la mar - *Cable tensioning during abeam replenishment*, lanzamiento y recogida de sonar remolcados - *Launch / recovery of towed sonar*,

transporte de vehículos anfibios - *Amphibious transport vessel (ATS) – Landing Platform Dock (LPD)*, manejo y estiba de carga y otras actividades - *General handling, traverse or maintenance and repairs activities*, operaciones relacionados con el disparo de armamento – *Firing operations*, maniobras con estados de mala mar - *Manoeuvring and controllability in heavy seas*, etc. (Riola & Díaz, 2011).



Fuente: Armada española (www.armada.mde.es)



Fuente: US Navy



Fuente: Armada española (www.armada.mde.es)

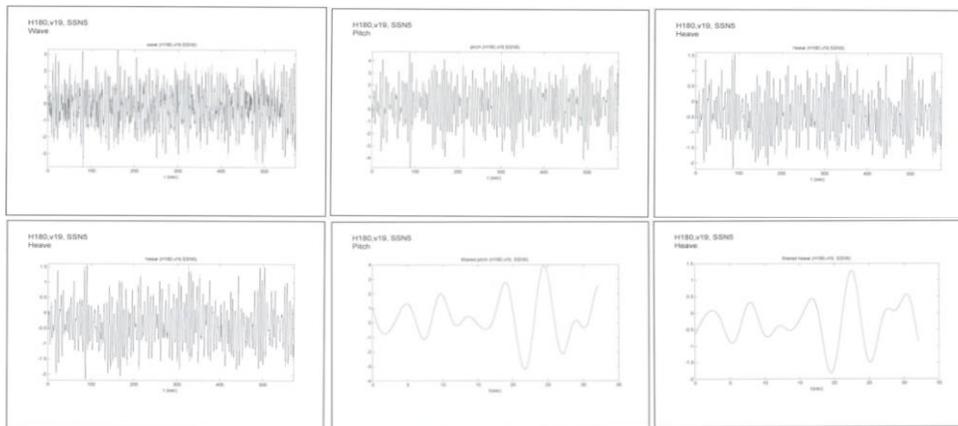
**Figura 6.** Operaciones como susceptibles de obtener mejoras gracias a este estudio

#### 4. RESULTADOS

A continuación se muestran las imágenes obtenidas correspondientes los resultados de este estudio. El CEHIPAR realiza mediante un modelo un conjunto de registros experimentales de los movimientos de esta plataforma en diversas condiciones de navegación. Durante cada experimento se ejecuta el método de pre-

dicción que corresponde, guardándose un registro sincronizado de medidas de movimientos.

Una vez dispuesto todo el conjunto experimental (modelo experimental y versión inicial de los programas) se trata de realizar navegaciones con mares irregulares y aplicar en tiempo real el método analizando los resultados que se obtienen.



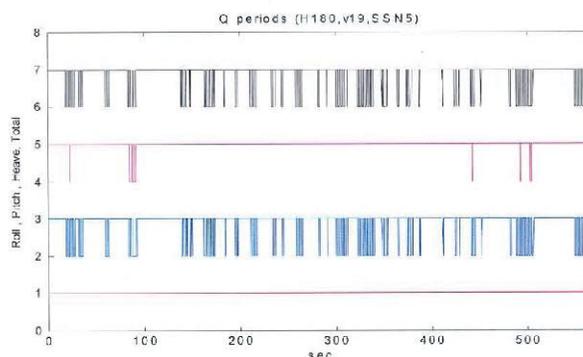
**Figura 7.** Gráficos correspondientes a los ensayos de SSN5, rumbo 180 y velocidad 19 nudos

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente este grupo de gráficos representan los valores finales tras las medidas originales y el procesamiento de los datos correspondientes a los valores

“roll” balance, “pitch” cabeceo, “heave” arfada y la composición de los tres, para distintos estados de mar y velocidades de avance.

QP: H180,v19, SSN5





## 5. CONCLUSIONES

La literatura científica señala un conjunto de necesidades para ganar en seguridad en el aterrizaje de helicópteros sobre buques. Según Baitis (Baitis, 1977) dice que debemos desarrollar un predictor de PQ con un adelanto de 8-10 segundos para cabeceo y 20 segundos para balanceo (Sherman, 2007) Colwell (Colwell, 2004) por su parte, dice que un PQ de 4 segundos de duración es insuficiente, pero que 6 segundos pueden servir.

Se dan unos límites operacionales. En particular, en cuanto a los movimientos del barco, STANAG 4154 establece unos límites de 1.5° rms en cabeceo, y de 2.5° en balanceo. Otros autores amplían, no mucho, estos límites. En cuanto a las posibilidades de los métodos disponibles, los métodos de predicción basados en historia llegan como mucho a tiempos de predicción de unos 15 segundos en cabeceo y arfada, y 10 segundos en balanceo.

Además de predecir un PQ, es conveniente determinar su duración. De esto hay poco escrito en la literatura. Quizá porque pueden darse dos o más PQ breves pero muy cercanos, o porque la conjunción de todos los factores relevantes –límites de movimientos, aceleraciones verticales, condiciones ambientales, etc.-puede ser difícil de juzgar.

Con el programa que se está desarrollando por los autores de este artículo se permitirá conocer con antelación suficiente los PQ en la cubierta de vuelo de un buque, en condiciones de mar en las que actualmente es inviable.

## REFERENCIAS

- Baitis, A. E. (1977). *A Summary of Ship Deck Motion Dynamics as Applied to VSTOL Aircraft*. (Navy-/NASA VSTOL Flying Qualities Workshop). US Naval Postgraduate School, Monterey, CA.
- Colwell, J. L. (2004). *Flight Deck Motion System (FMDS): Operating Concepts and System Description*. (Defence R&D Canada, Technical Memorandum, DRDC Atlantic TM 2004-003).
- Sherman, B. W. (2007). *The Examination and Evaluation of Dynamic Ship Quiescence Prediction and Detection Methods for Application in the Ship-Helicopter Dynamic Interface*. (Thesis). Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Girón-Sierra, J., Esteban, S., Recas, J., De-Andres, B., De la Cruz, J.M., Riola, J.M., Aranda, J. & Velasco, F. (2005). Overview of a Research on Actuators Control for Better Seakeeping in Fast Ships. In: Proc. IFAC World Congress.
- Lloyd, A.R.J.M. (1998). *Seakeeping: Ship Behaviour in Rough Weather*. A.R.M.J. Lloyd, Gosport, Hampshire, U.K.
- Morris, E. L., Zienkiewicz, H. K. and Belmont, M. R. (1997). Short-term Forecasting of the Sea Surface Shape. *International Shipbuilding Progress*, 45(444), 383-400.
- Riola, J.M., Girón, J.M. y Díaz, J.J. (2013). Smoothing warships movements based on wavelets. *Ship Science & Technology*. 6,(12), 51-62. Cartagena, Colombia

Riola, J.M.and Díaz, J.J. (2011). The Prediction of Calm Opportunities for Landing on a Ship. *Specialists Meeting AVT-189 Assessment of Stability and Control Prediction Methods for NATO Air & Sea Vehicles – Applied Vehicle Technology Panel (AVT) – Research and Technology Organization (RTO) – NATO*. Portsmouth West, United Kingdom.



# Análisis de la Respuesta a Firmas en Minas Multi-Influencia

Págs. 95-110

José María Riola Rodríguez<sup>a</sup> Antonio Sánchez García<sup>b</sup> Juan Jesús Díaz Hernández<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Capitán de Fragata Doctor Ingeniero Naval, Armada Española. jrriorod@fn.mde.es

<sup>b</sup>Doctor Ingeniero de Telecomunicaciones, Responsable I+D+i SAES. a.sanchez@electronica-submarina.com

<sup>c</sup>Ingeniero Naval, Isdefe. jdiaher@ext.mde.es

## Resumen

El objeto del presente artículo es dar a conocer las principales influencias a las que se ve sometido un buque partiendo de los trabajos realizados en el programa SIRAMIS (*Signature Response Analysis on Multi-influence Mines*), (Sánchez, 2013) [7]. En este proyecto realizado en la Agencia Europea de Defensa (EDA) participan un total de doce entidades pertenecientes a siete países (Alemania, España, Francia, Holanda, Noruega, Polonia y Suecia). Tiene por objetivo ampliar el conocimiento de la respuesta a las firmas multi-influencia teniendo en cuenta que la mayor parte del tráfico de mercancías a nivel mundial se realiza por vía marítima, considerándose de gran interés evaluar la vulnerabilidad de la flota militar y mercante frente a la existencia de minas marinas.

**Palabras claves:** Sensores multi-influencia, firmas del buque, medidas contra minas.

## Abstract

The aim of this paper is to give awareness of the main influences that ships suffer taking into account the work done under the SIRAMIS program (*Signature Response Analysis on Multi-influence Mines*), (Sánchez, 2013) [7]. In this program participate a total of twelve institutions from seven countries (Germany, Spain, France, Netherlands, Norway, Poland and Sweden) and is being made within the European Defence Agency (EDA). As most of the international trade is carried out through marine routes, it is important to evaluate the vulnerability of the military and merchant vessel fleet to sea mines in order to be able to limit the potential exposure to this threat.

**Keywords:** Multi Influence Sensors, ship signatures, mine counter measures.

---

Fecha de recepción: Junio de 2015

Fecha de aceptación: Agosto de 2015





**Figura 1.** Proyecto SIRAMIS  
Fuente: Elaboración propia

## 1. INTRODUCCIÓN

Es de sobra conocido que el uso de minas marinas es un medio relativamente tan económico como el uso de minas terrestres o el uso de explosivos improvisados (IED), sólo precisan de un contenedor estanco que las proteja de la humedad, pero su funcionamiento interno no difiere en los tipos más básicos de cualquier IED usado por un grupo terrorista. Este hecho es lo que las ha convertido a lo largo de la historia en un arma muy tentadora para su uso por cualquier organización.

Las primeras referencias a minas en general, y a las navales en particular, nos llevan hacia China, como es el tratado militar de artillería “Huolongjing” de Jiao Yu del siglo XIV o las cajas de madera con explosivos utilizadas a la deriva por el General Qi Jiguang en el siglo XVI para luchar contra los piratas japoneses. En el tratado “Tiangong” escrito por Song Yingxing en el siglo XVII las describe con un cordón de apertura que desde la orilla giraba un mecanismo que producía chispas y encendía su mecha.

Aunque los libros europeos suelen mencionar un proyecto de Ralph Rabbards en 1574 y a Cornelio Drebbel en el siglo XVII en unos intentos poco afortunados como sus precursores, se suele atribuir al estadounidense David Bushnell en el río Delaware durante su Guerra de Independencia las primeras minas realmente útiles que consistían en barriles con pólvora que se detonaban por un mecanismo de chispas al golpear contra los buques.

En el siglo XIX, ya existen muchas referencias a daños por explosiones bajo el agua por minas navales rusas, en esa época tuvieron especial importancia las

diseñadas por Alfred Nobel en el Golfo de Finlandia durante la Guerra de Crimea. Después de su Guerra Civil, los Estados Unidos adoptaron la mina como su arma principal para la defensa de costa y en las últimas décadas del siglo XIX se realizaron muchos experimentos con minas amarradas que explotaban al ser golpeadas, generalizándose su uso a partir de entonces.

Durante la I Guerra Mundial, las minas se utilizaron ampliamente para defender las costas, puertos y bases navales en todo el mundo. Los alemanes pusieron minas en muchas rutas de navegación, en especial para hundir a los buques mercantes que se fletaban hacia Gran Bretaña. En la II Guerra Mundial, su uso fue masivo y la mayoría de las naciones habían desarrollado minas que podrían ser lanzadas desde aviones y flotaban en la superficie. También se empezaron a desplegar minas acústicas, de presión y magnéticas.

Durante la Guerra de Corea, las minas colocadas por Corea del Norte causaron el 70% de los daños sufridos por los buques de Estados Unidos, provocando 4 hundimientos directos. Y seguimos viendo que en los últimos conflictos, las minas navales siguen teniendo su protagonismo, como en la pasada Guerra del Golfo donde minas iraquíes dañaron gravemente al USS Princeton y al USS Trípoli. Baratas, fáciles de producir, rústicas pero efectivas, tienen un tremendo impacto a nivel militar y civil.

Representan una amenaza no sólo para los buques militares, sino para el tráfico marítimo en su globalidad, suponiendo un reto muy importante en una sociedad como la actual. Su mera presencia o incluso la probabilidad de su existencia obligan a cerrar puertos,

playas, rutas marítimas, con las terribles pérdidas económicas que eso conlleva hasta que no se realice una limpieza concienzuda del área de influencia u operación. Lanzadas por buques especiales, las minas navales son un grave problema para la navegación civil y comercial, ya que al igual que sus parientes terrestres, permanecen activas incluso cuando la guerra ha terminado, continúan navegando a la deriva o ancladas en sus lugares de destino, pudiendo causar graves daños. Esto hace que la simple sospecha de que existe un campo minado sea motivo de alarma, poniendo en movimiento las fuerzas navales destinadas al dragado

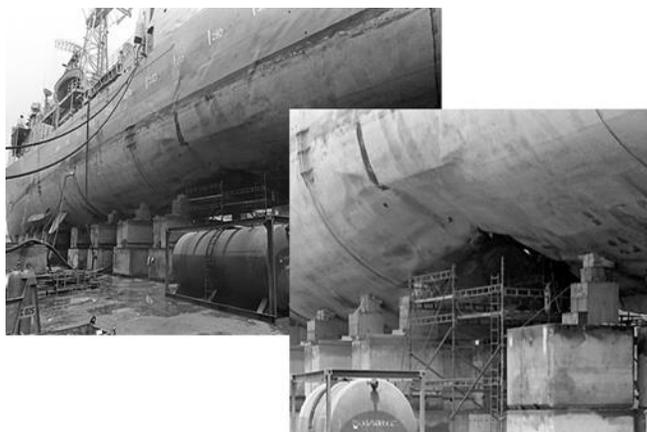
y a la caza de minas (Riola y Díaz, 2009), y aún a pesar de que sea una falsa alarma, se pierden días e incluso semanas comprobando la zona, implicando no sólo la movilización de buques especializados, sino el cierre del puerto, el desvío del tránsito marítimo o incluso su total prohibición. Esto se ve empeorado por el hecho de que las minas son armas comparativamente baratas, silenciosas y difíciles de detectar, atacan en el momento más inoportuno y en el punto más frágil de cualquier embarcación (debajo de la línea de flotación).

Las primeras referencias a minas en general, y a las



**Figura 2.** Lanzamiento al mar de una mina

Tomado de: <http://lakriegsmarineencastellano.blogspot.com.es/2012/04/ofensiva-de-minas-contra-aguas-inglesas.html>



**Figura 3.** Daño en el casco del buque Samuel B. Roberts de la USS, Guerra del Golfo, Dubai, 1988

Fuente: U.S. Navy



En la actualidad las zonas donde existen más minas o barcos hundidos con munición sensible de estallar son el Mar Báltico, el canal de Malta y la costa francesa de Normandía. Se trata de material que permanece hundido desde la II Guerra Mundial. Otra zona donde se realizó una importante labor de desminado fue en el Adriático donde se neutralizaron minas colocadas durante el reciente conflicto de Kósovo. Otra referencia la tenemos en el estrecho de Ormuz, donde Irán cuenta con diversos medios para cerrar una arteria vital para el conducto del petróleo.

## 2. FIRMA GLOBAL DE UN BUQUE

La firma global de un buque está compuesta por la suma de diferentes elementos radiados que comprenden principalmente las firmas: radar, infrarroja, acústica, magnética, de campo eléctrico, de presión y sísmica (Sánchez, Hernández, Rodrigo & Muñoz, 2013). A lo largo de los últimos años, se han venido realizando grandes esfuerzos en el desarrollo de medidas orientadas a reducir la influencia acústica, con el doble objetivo de disminuir la detectabilidad del buque (Vílchez y Sierra, 1999) [10] y reducir el nivel de contaminación acústica generada en el entorno marino (Rodrigo, 2012), al objeto de aumentar la discreción de los buques (*stealth*), la seguridad en puertos e infraestructuras críticas y la protección ambiental. En este sentido destacar que se han venido realizando importantes avances en materia de diseño (García y Riola, 2013) y (Riola, Pérez y Díaz, 2013).

Todos los buques, independientemente de su forma y tamaño, emiten al mar un conjunto de radiaciones que configuran la denominada firma del buque, que lo

caracteriza e identifica de forma unívoca del mismo modo que las huellas dactilares identifican al ser humano. Un adecuado estudio de estas firmas desde las fases iniciales de diseño de los buques, permite tomar en consideración medidas apropiadas que inciden en su reducción. Ya se ha destacado durante el apartado anterior la importancia de esta firma y como es conocida desde comienzos del siglo pasado, especialmente en el ámbito de defensa y centrada de forma particular en las denominadas firmas acústica y magnética.

### 2.1. Firma radar

Aquella que está relacionada con la energía electromagnética reflejada por el buque. Es evidente que una baja firma radar disminuye la distancia de detección reduciendo la vulnerabilidad de la plataforma frente a ataques en los que la señal radar juega un papel predominante. El mecanismo de actuación se basa en un sensor radar que emite un pulso de energía electromagnética y detecta la presencia de un objetivo por la energía que éste refleja en la dirección del sensor. El parámetro que describe la firma radar de un buque es la sección equivalente radar (RCS - Radar Cross Section) que se define como el área de un dispersor isotrópico (sección de una esfera metálica) que retorna al radar la misma potencia que el objetivo en la orientación particular del radar emisor. La ecuación básica que determina esta RCS es:

$$\sigma = 4 \pi r^2 \frac{S_r}{S_t} \quad \text{Ecuación 01}$$

$\sigma$  es la capacidad del objeto para reflejar las señales de radar en la dirección del receptor ( $m^2$ )

$S_r$  es la densidad de potencia que es interceptada por el objeto ( $W/m^2$ )

$S_i$  es la densidad de potencia dispersada en el rango ( $W/m^2$ )

Esta RCS, depende entre otros factores de la geometría y orientación del objetivo, la relación entre el tamaño del objeto y la longitud de onda del radar, el tipo de material de la superficie, la polarización, y las propias características del radar.

## 2.2. Firma infrarroja

Es aquella firma que está asociada con la radiación electromagnética emitida en la franja infrarroja del espectro. En este caso y como es conocido, todos los objetos, por estar a una temperatura por encima de 0 Kelvin, emiten energía térmica en la región infrarroja (IR) del espectro electromagnético. Esta radiación puede ser empleada como fuente para su detección y seguimiento por un arma dotada de sensores infrarrojos. Cuanto más caliente está la fuente mayor energía emitirá y más corta será la longitud de onda de la señal emitida. Existe una primera clasificación en bandas que las subdivide en región ultravioleta, región visible, y región infrarroja. Los principios sobre los que se basa la reducción de la firma IR consisten principalmente en reducir las diferencias de temperatura entre las superficies del buque y el ambiente y en la reducción de la temperatura de los gases de exhaustación. La ley de desplazamiento de Wien es una ley de la física que establece que hay una relación inversa entre la longitud de onda en la que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro (aunque puede aplicar de manera aproximada a cuerpos reales de alta emisividad) y su temperatura. La ley implica que cuanto mayor sea la temperatura del cuerpo menor es la longitud de onda en la cual emite el máximo de radiación.

$$\lambda_{max} = 0,0028976 \text{ m K/T}$$

*Ecuación 02*

$\lambda_{max}$  es la longitud de onda en la que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro y su temperatura y T es la temperatura del cuerpo negro en Kelvin.

## 2.3. Firma acústica

Es la firma asociada a la energía vibratoria transmitida al agua. El sonido creado por una fuente que vibra se propaga en el medio marino como una onda dentro de un medio elástico originando cambios de presión que son susceptibles de ser medidos. Constituye la forma de radiación conocida que se propaga de forma más eficiente en el medio acuático, y depende de parámetros ambientales (temperatura, salinidad, presión, corrientes marinas) y físicos (relieve del fondo, superficie, partículas en suspensión) (Urlick, 1993) [9]. Existen a bordo diversas fuentes que contribuyen a radiar, en general podríamos clasificarlas en fuentes de ruido estructural y fuentes de ruido hidrodinámico. El ruido estructural se produce en el interior del casco y es originado por la vibración inducida por la operación normal de los diferentes componentes que constituyen los sistemas de a bordo tales como la propulsión, la planta eléctrica, el aire comprimido, el aire acondicionado, la estabilización, el gobierno y otros servicios. El ruido generado por el contacto directo del casco con el agua y por aquellos componentes que actúan sobre ésta, se denomina ruido hidrodinámico, englobando principalmente el generado por la hélice y el originado por el flujo del agua alrededor de la carena y sus apéndices. Algunas de las medidas para minimizarlo pasan por la selección de maquinaria de bajo nivel de ruido estructural y aéreo, el montaje apropiado de la maquinaria propulsora y de los grupos diésel generadores, la correcta selección y diseño de las conexiones flexibles

apropiadas para conectar la maquinaria propulsora y los grupos diésel generadores con el resto del buque, el diseño adecuado de la carena y sus apéndices y propulsor. Las ecuaciones que modelizan tanto al sonar activo como al pasivo son:

$$SNR_R = NF - 2PT + NB - (NR - ID) \quad \text{Ecuación 03}$$

$$SNR_R = NF - PT - (NR - ID) \quad \text{Ecuación 04}$$

Donde SNR es la relación señal ruido del receptor, NF es el nivel de emisión del transmisor (cantidad de energía suministrada por el transmisor al medio), PT es la pérdida de energía en el camino debida a la atenuación y divergencia, NB es el nivel del blanco definido como la relación entre la energía incidente y la reflejada en el blanco, NR el nivel de ruido en el escenario acústico, e ID el índice de directividad del sistema.

La propagación del sonido en un medio elástico como es el agua del mar se describe matemáticamente mediante la resolución de la ecuación de ondas, usando las condiciones de contorno en los límites y del medio apropiadas para un entorno particular (Lurton, 2010) [3].

$$\Delta p = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2(x,y,z)} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad \text{Ecuación 05}$$

Donde  $p$  es la presión acústica de una onda que se propaga en el espacio como una función del tiempo  $t$ ,  $x$ ,  $y$  y  $z$  es la velocidad (longitud) del sonido.

$\Delta$  Es el operador Laplaciano.

Debido a la complejidad de esta ecuación en derivadas parciales, se han desarrollado diferentes aproximaciones teóricas a su solución como las basadas en la

teoría de rayos y la teoría de modos normales (Etter, 2003).

A nivel práctico, el principal efecto de la propagación acústica submarina es la disminución de la amplitud de la señal por efecto de la divergencia geométrica por un lado y la absorción por otro. Las pérdidas por divergencia tienen su origen en la disminución del nivel de la señal al propagarse desde la fuente al exterior, distinguiéndose entre divergencia esférica, caracterizada porque la potencia emitida por la fuente se radia igual en todas las direcciones y divergencia cilíndrica correspondiente a condiciones de propagación canalizada, donde la señal acústica en su propagación se encuentra limitada por dos planos horizontales paralelos.

Por su parte, la absorción consiste en un proceso de conversión de la energía acústica en calor y por tanto representa una pérdida real de energía acústica en el medio en el que se propaga la señal.

Las pérdidas por transmisión debidas a las divergencias esférica y cilíndrica y la absorción, vienen dadas respectivamente por las siguientes ecuaciones:

$$TL = 20 \log r + \alpha r \cdot 10^{-3} \quad \text{Ecuación 06}$$

$$TL = 10 \log r + \alpha r \cdot 10^{-3} \quad \text{Ecuación 07}$$

Estas ecuaciones representan una aproximación al valor real de las pérdidas sin tener en cuenta otros factores como los efectos de la reverberación debida a la interacción de las ondas acústicas con la superficie y el fondo del mar y dispersores de volumen en la columna de agua.



Donde  $TL$  referencia las pérdidas por transmisión expresadas en  $dB$ ,  $\alpha$  es el coeficiente de absorción expresado en  $dB \cdot km^{-1}$

y  $r$  la distancia expresada en  $m$ .

## 2.4. Firma magnética

Aquella que está asociada con los campos magnéticos

originados por el buque, la presencia de materiales con características magnéticas en los buques determina que éstos produzcan en su entorno una modificación del campo magnético terrestre. La influencia magnética está formada por dos componentes, la estática y la alterna. De forma genérica podríamos decir que un barco puede considerarse como un imán cuya intensidad es suma de una porción permanente y otra inducida, variable con la posición y el rumbo, como suma de

los elementos que lo integran.

Está formada por la firma magnética estática como una de las cuatro componentes de campo electromagnético y cuyas principales fuentes de contribución son los campos ferromagnéticos y los campos debidos al

sistema de protección catódica (corrosión) y por la firma magnética alterna cuyas principales fuentes de contribución son los campos dispersos (campos magnéticos necesarios para que funcionen las máquinas eléctricas, principalmente motores, alternadores y transformadores, pero que salen de su propio entorno y campos producidos por circuitos de corriente continua (CC) siempre que sean lazos cerrados) y los campos debidos a corrientes de Foucault (Eddy Currents).

por una bobina por la que circula una corriente viene determinado por la siguiente ecuación.

$$H_M = \frac{1}{4\pi} \oint_{\text{circuito}} \frac{I \, dl_p \, \vec{u}_{PM}}{r^2} \quad \text{Ecuación 08}$$

Donde  $H_M$  referencia la intensidad de campo magnético,  $dl_p$  un elemento de corriente de longitud  $dl$  y el sentido de circulación de la corriente,  $\vec{u}_{PM}$  el vector unitario y  $r$  la distancia entre el elemento lineal de corriente y el punto

El campo magnético generado en un punto por un volumen viene determinado por la siguiente ecuación:

$$H_M = \frac{1}{4\pi} \int_{\text{volumen magnetizado}} \frac{M \, dV_p \, \vec{u}_{PM}}{r^2} \quad \text{Ecuación 09}$$

Donde  $M$  referencia el momento magnético y  $V_p$  un elemento en volumen de corriente.

El campo magnético generado por un buque se puede caracterizar por una combinación de campos generados por bobinas y volúmenes magnetizados, de manera que el campo magnético en un punto generado

generado por un buque, generalmente se realizan simplificaciones como el método de los dipolos o el método de las elipsoides.

## 2.5. Firma de campo eléctrico

Está formada por una componente estática y una

mina UEP (*Underwater Electric Potential*) y representa la influencia en campo cercano. Se mide al paso del buque sobre un sensor o antena de sensores de campo eléctrico y su variación temporal depende de la velocidad y tamaño del buque. La firma eléctrica alterna se denomina ELFE (*Extremely Low Frequency Electric*).



La firma eléctrica estática es la que se debe a las corrientes eléctricas generadas en el proceso de corrosión galvánica, empleándose sistemas de protección catódica principalmente para evitarla. La firma eléctrica alterna se origina por diferentes causas, como la modulación de la corriente galvánica o el rizado en la alimentación de la maquinaria del buque.

Se denomina dipolo eléctrico a una configuración de dos cargas puntuales iguales y de signo opuesto situada en el espacio, donde estas cargas generan un campo eléctrico en dicho espacio tridimensional.

La intensidad del campo eléctrico no se puede medir en términos absolutos, es por ello que hay que determinar el potencial en dos puntos del espacio a partir de electrodos y calcular su valor en base a la siguiente ecuación.

$$E = \frac{(V_1 - V_2)}{d} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde  $E$  referencia la intensidad de campo eléctrico medida en  $V/m$ ,  $V_1$  y  $V_2$  el potencial en los puntos de medida seleccionados y  $d$  la distancia entre estos puntos.

Las corrientes estáticas que se generan en los buques de superficie tienen su origen en el fenómeno de la corrosión, sobre la base de la formación de uno o varios dipolos. Comúnmente las hélices actúan como cátodo y el casco como ánodo, realizándose la conexión a través del cable de masa del buque y de su casco. La celda de corrosión se completa con la presencia del electrolito que en este caso es el agua del mar. La intensidad de campo viene determinada por la siguiente

$$E = \rho J = \frac{1}{\sigma} J \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde  $\rho$  referencia la resistividad ( $\Omega m$ ),  $\sigma$  la conductividad ( $S/m$ ) y  $J$  la densidad de corriente ( $A/m^2$ ).

La densidad de corriente vendrá determinada por la diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo, de manera que si varía la conductividad, para una misma densidad de corriente, el campo eléctrico varía de manera inversa a la conductividad.

## 2.6. Firma de presión

La variación de presión que origina un buque a su paso constituye su firma de presión, origina un incremento de presión en la proa y popa y una disminución de presión en su zona central, cuyo pico es directamente proporcional a la velocidad del buque y depende en gran medida de la forma de la obra viva.

En este caso, la presión hidrostática es la presión existente en un punto de un medio, en nuestro caso el agua del mar, debida a la acción de la columna de fluido

ecuación:

que actúa sobre él. Esta presión se ejerce en todas direcciones y sigue el principio de Pascal.

Para una columna de mar de altura  $h$  metros tomando como referencia la superficie, la presión hidrostática  $P$  generada, medida en Pascales, viene dada por la ecuación siguiente:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \qquad \text{Ecuación 12}$$

Donde  $\rho$  referencia la densidad del agua del mar ( $kg/m^3$ ) y  $g$  la constante gravitacional ( $m/s^2$ ).

## 2.7. Firma sísmica

Finalmente nos referimos a la influencia sísmica, donde las ondas sísmicas se encuadran dentro de la categoría de ondas elásticas, que corresponden a perturbaciones tensionales que se propagan a lo largo de un medio elástico. Las ondas sísmicas se clasifican en ondas internas y ondas superficiales. Las ondas internas viajan a través del interior de la Tierra, mientras que las superficiales se propagan a través de su superficie.

Cuando una onda sonora alcanza una superficie la mayor parte de su energía se refleja, pero un porcentaje de ésta es absorbida por el nuevo medio. De este modo, las señales acústicas de muy baja frecuencia se transmiten hasta el subsuelo del fondo marino y se propagan a través de éste como perturbación de tipo sísmico. Así este tipo de perturbaciones viajan más rápidamente por el fondo marino que por el agua. La energía acústica que penetra en el fondo puede contribuir de forma considerable en ocasiones a transmisiones a media y larga distancia. La distancia de transmisión depende de las características de los materiales y capas que componen el fondo.

Las ondas internas se subdividen en ondas *P* y ondas *S*. Las ondas *P* o primarias son ondas longitudinales que se propagan produciendo oscilaciones del material en el mismo sentido en el que se propagan. Su velocidad de propagación es genéricamente 1.73 veces superior a las ondas *S*. En un medio isótropo y homogéneo, la velocidad de propagación de las ondas *P* viene dada por la siguiente ecuación.

$$v_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

*Ecuación 13*

Las ondas *S* o secundarias se caracterizan por un desplazamiento transversal a la dirección de propagación, por una velocidad de propagación inferior a la de las ondas *P* (dependiente como en estas ondas del tipo de material en el que se propagan) y por una amplitud mayor a la amplitud de las ondas *P*. La velocidad de propagación de las ondas *S* en un medio isótropo y homogéneo viene dada por la siguiente ecuación:

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

*Ecuación 14*

Donde  $\nu$  viene expresada en  $\frac{1}{\text{kg}}$ ,  $K$  referencia el índice de compresibilidad,  $\mu$  el módulo de corte o rigidez y  $\rho$  la densidad del material a través del cual se propaga la onda mecánica.

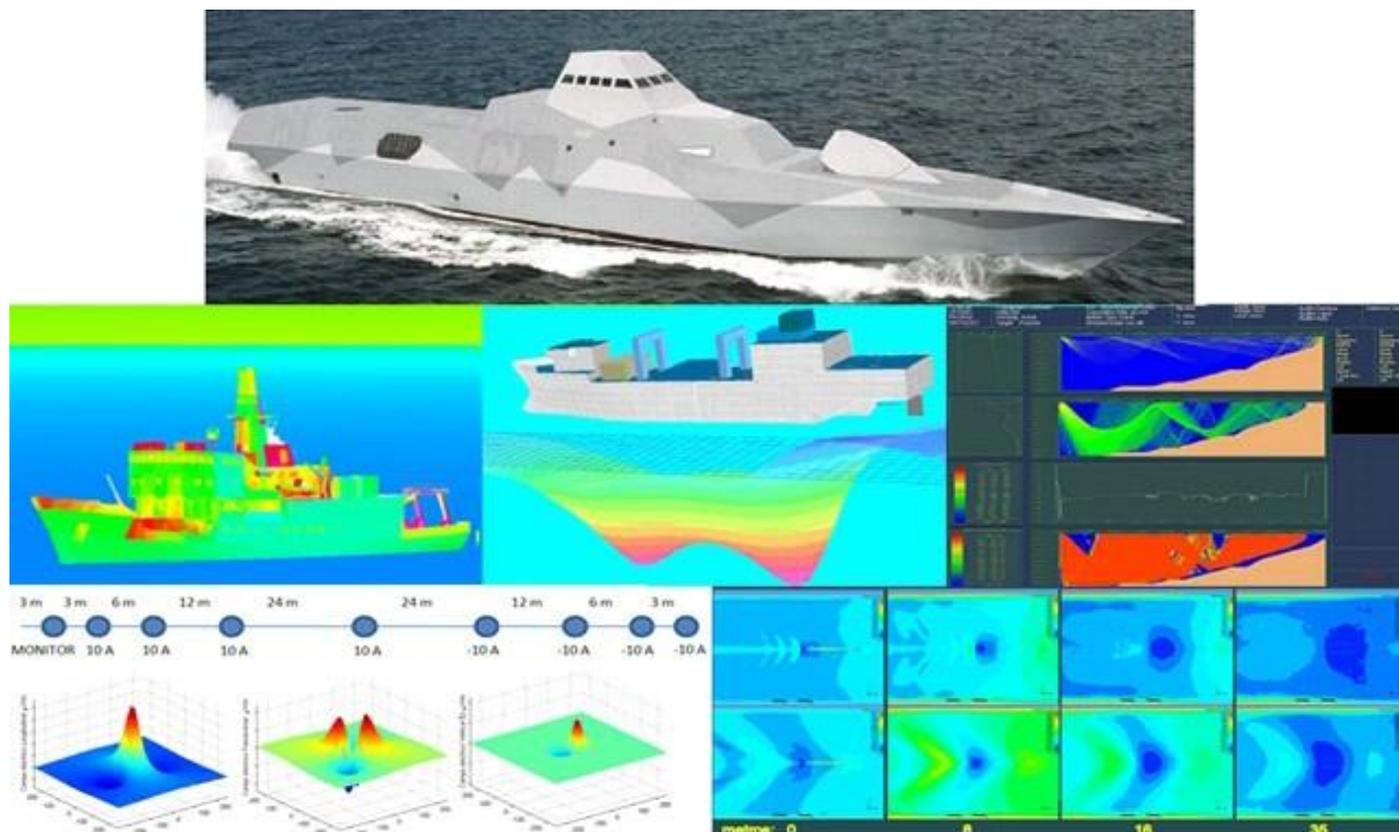
Las ondas superficiales se propagan a lo largo de la interfase tierra-agua y se subdividen en ondas Rayleigh y ondas Love. Ambas son ondas transversales y viajan a velocidades muy inferiores a las ondas *P* y *S*. Al igual que las ondas *S* poseen amplitudes mayores que las ondas *P*, pero sus periodos son mucho más largos.

Por último señalar, que existen diversos equipos y sistemas orientados a minimizar los valores de firma (deperming, sistemas de desmagnetización, sistema de protección catódica, filtros, etc.) que de forma conjunta con los métodos de diseño y construcción adecuados permiten dotar sobre todo a los buques de guerra de

mejores prestaciones.

Destacar los sistemas degaussing para reducir el magnetismo del buque de manera que su firma magnética no se encuentre dentro del rango que active la mina, estos equipos suelen ir instalados a bordo y se

conforman de bobinas instaladas paralelas a los principales planos del buque y que son energizadas con corriente continua controlada, de manera que los campos que generan se oponen a las componentes del magnetismo del buque compensando las componentes permanente e inducida.



**Figura 4.** Firma radar (sup.), IR (medio izq.), magnética (medio cen.), acústica (medio dcha.), eléctrica (inf. izq.) y presiones bajo quilla en planos horizontales (inf. dcha.)

Fuente: Elaboracion propia

### 3. ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA MULTI-INFLUENCIA

Los sistemas de medida multi-influencia de última generación actuales incorporan genéricamente características como son la integración de varios sensores

capaces de medir campos físicos de diferente naturaleza (magnético, eléctrico, sísmico y de presión), la operación de los sensores de forma síncrona entre ellos y con otros elementos externos (sistemas de posicionamiento GPS, sistemas de identificación automática de buques tipo AIS, videocámaras, etc.), y la capacidad de grabación y análisis de todos los datos grabados.

Los sensores comúnmente integrados en estos sistemas multi-influencia son: acústicos, magnéticos, eléctricos, sísmicos y de presión. Típicamente, los sensores acústicos se basan en un hidrófono omnidireccional; los sensores magnéticos integran magnetómetros triaxiales tipo fluxgate; los sensores eléctricos corresponden a pares de electrodos eléctricos para configurar los tres ejes (vertical, longitudinal y transversal) de medida, siendo los electrodos de plata/cloruro de plata o carbón; los sensores sísmicos están basados en acelerómetros y suelen ser también triaxiales y los sensores de presión se basan en transductores piezoresistivos para medir la variación de la presión en la columna de agua al paso del buque respecto a la presión atmosférica y no suelen ser direccionales.

Una vez captada la señal (acústica, magnética, eléctrica, sísmica o de presión) mediante un transductor, esta señal es acondicionada (amplificada y filtrada) y convertida al dominio digital para su envío, almacenamiento y procesado. En la actualidad, los sistemas adquieren las señales con un máximo de 24 bits, lo que permite tener canales con un amplio margen dinámico (hasta 140 dB). Debido a que son sistemas de medida de alta precisión, el nivel de ruido propio requerido para los sensores es muy bajo, estando por debajo al menos del nivel de ruido medioambiental.

Con relación a los procedimientos de medida, en la actualidad no existen estándares internacionales comúnmente adoptados por las diferentes naciones, a continuación se identifican aquellos que han sido acordados como principales referencias dentro del programa:

- STANAG 1136. Edition 3. Standards for use when

measuring and reporting radiated noise characteristics of surface ships submarines, helicopters, etc, in relation to SONAR detection and Torpedo Acoustic Risk. March, 1994.

- ICES Cooperative Research Report N° 209. May 1995.

- ANSI/ASA 12.64-2009. Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships.

- AMP-14. Protection of vessels from electromagnetic mines.

- MP-15. Standards for mine warfare acoustic measurements.

#### 4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Los objetivos específicos que persiguen el proyecto son: (1) el establecimiento de los requisitos de las medidas (procedimientos, formatos de datos, etc.), (2) la realización de pruebas de calibración en una estación fija con la participación de los sistemas de medida móviles, con objeto de analizar el efecto de los sensores, la adquisición de datos y el acondicionamiento de señal en cada sistema en los datos de las firmas, (3) la realización de pruebas con fuentes calibradas y los mismos parámetros en diferentes localizaciones, para evaluar la influencia del entorno en los datos adquiridos y (4) la recolección de datos de buques mercantes por los diferentes sistemas de medida para configurar una base de datos, (5) el análisis de los datos enfocado inicialmente a obtener datos calibrados en relación a los sistemas y el entorno a partir de la aplicación de métodos de normalización y modelos de transformación a los datos inicialmente medidos con las fuentes calibradas, (6) el análisis de las características de las

firmas individuales y (7) el estudio de una posible correlación entre las firmas, sobre la base de posibles relaciones entre características de buques individuales y características de diferentes clases de firma.

Durante la fase de medidas se han empleado siete estaciones con capacidad de medida de las firmas

señal, separación entre sensores multi-influencia, distancia lateral máxima permisible entre el buque bajo medida y el sensor, duración de la medida, precisión de los sensores (en términos de sensibilidad, margen dinámico, ruidos de los sensores, etc.), y recurrencia de los sistemas de posicionamiento del buque bajo



**Figura 5.** Estaciones de medida multi-influencia portátiles: IGLOO y Mini IGLOO (superior izqda.), OMEGA (superior centro), MOUSE (superior dcha.), PRIME (inferior izqda.) y MIRS (inferior dcha.)

Fuente: Elaboración propia

acústica, eléctrica, magnética, de presión y sísmica de los buques. Dentro de ellas, dos son instalaciones fijas, ubicadas en Alemania y Noruega, y cinco de ellas portátiles (sistemas polacos IGLOO y mini IGLOO; estación francesa OMEGA; estación sueca MOUSE; sistema holandés PRIME y estación española MIRS).

Durante la fase de análisis se desarrollaban diferentes tareas que comprendían la elaboración de los requisitos de medida, proporcionando como paso previo a las medidas de calibración requisitos de: profundidad de calado de los sensores, anchos de banda para cada

medida. Posteriormente se llevaron a cabo una serie de campaña de medidas en distintas localidades realizándose un análisis de comparación entre los sistemas desplegados estudiando la influencia de los diferentes entornos marinos (ambiente), dando como resultado final un análisis que consistió en determinar la influencia del entorno en la medida. Adicionalmente se realizaron análisis de las medidas de los buques mercantes medidos por cada país participante, con un posterior escalado / agrupamiento de determinadas características de las medidas (frecuencias propias, amplitudes, ancho de banda, etc.), en función de determinadas



miento, tamaño, etc.).

## 5. ÁMBITO DE APLICABILIDAD

Los resultados derivados del programa SIRAMIS, centrados en la compilación de una extensa base de datos de medidas multi-influencia de buques mercantes y su posterior análisis a nivel de firmas individuales y combinadas, tiene importantes implicaciones tanto en el ámbito de defensa, como en los ámbitos de seguridad y medioambiente.

Dentro del ámbito de defensa el interés es claro al

ciclo de vida, y permitan capacitar a las naciones participantes a la hora de mejorar y establecer puntos de referencia en sus modelos de interacción buque-mina.

En el ámbito de seguridad y medioambiental, la información que se aporte contribuye a un mejor entendimiento de las características de la propagación en diferentes entornos medioambientales de las distintas influencias, así como de su interacción con sensores específicos diseñados para la detección de amenazas a la seguridad y al medioambiente. Este tipo de sistemas también han mostrado su efectividad en la vigilancia de espacios protegidos, como reservas naturales mari-



**Figura 6.** Ámbitos de aplicabilidad Defensa (izqda.), seguridad (centro) y medioambiente (dcha.)

Fuente: Elaboración propia

tratarse de un proyecto desarrollado en el marco de la EDA. La base de datos de medidas multi-influencia de buques mercantes y su posterior análisis permitirá a los organismos de defensa disponer de información contrastada sobre la interacción entre las firmas de los buques y los sensores que integran las modernas minas multi-influencia, en entornos relevantes de operación y diferentes condiciones de propagación. Asimismo, posibilitará un desarrollo más preciso de diferentes tareas, entre las que se encuentran: la evaluación operacional de sistemas de rastreo de minas existentes y futuros y el establecimiento de herramientas operativas que apoyen el uso de sistemas MCM durante su

nas, y bienes culturales como pecios y restos arqueológicos submarinos, como protección ante accesos no deseados y son la base de proyectos para el estudio y la preservación medioambiental.

## 6. CONCLUSIONES

Como se ha visto, todos los buques al desplazarse en el medio marino radian al mar un conjunto de influencias (acústica, magnética, eléctrica, de presión y sísmica) que conforman su firma multi-influencia. Algunas de estas firmas vienen siendo medidas desde hace décadas para caracterizar a los buques en particular

dentro del ámbito de defensa debido a la importancia de las mismas frente al empleo de minas navales. Adicionalmente, durante la última década ha despertado el interés de la comunidad internacional el disponer de la firma completa de los buques para evaluar de forma global su impacto en el medio marino.

Los resultados obtenidos hasta el momento se muestran como ampliamente positivos, a pesar de la complejidad de los procesos llevados a cabo por el número de sistemas de medida empleados, los diferentes entornos operativos seleccionados y el número de parámetros analizados. La cooperación internacional en SIRAMIS ha mostrado su efectividad en términos de relación coste-beneficio y utilización de protocolos comunes.

El desarrollo del programa se enmarca en la tendencia actual de creciente importancia de los sistemas con capacidad de registro y análisis de medidas multi-influencia y de las bases de datos obtenidas a partir de estos sistemas, dentro del ámbito de defensa, así como en los ámbitos de seguridad y medioambiente. Entre otros aspectos, en defensa permiten la evaluación operacional de sistemas de rastreo de minas y la mejora de la capacidad operativa de los sistemas MCM a lo largo de su ciclo de vida. En el ámbito medioambiental, estudios preliminares llevados a cabo en el Mar Mediterráneo han mostrado los elevados niveles de radiación eléctrica y magnética emitidos por los cruceros. Finalmente en el de la seguridad permiten incrementar el grado de protección de instalaciones críticas, buques y áreas de valor cultural.

## REFERENCIAS

- Etter, P. (2003). *Underwater Acoustics modeling and simulation*. New York, Estados Unidos de América: CRC Press.
- García, A. y Riola, J. (2013). Proyecto hidrodinámico de un buque de escolta oceánico tipo trimarán: Dimensionamiento, diseño, estudio numérico y experimentación. En A. González-Marcos (Coordinación), *Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad. Conferencia llevada a cabo en el Congreso DESEi+d 2013*, Madrid, España.
- Lurton, X. (2010). *An introduction to underwater acoustics: principles and applications*. Nueva York, Estados Unidos de América: Springer.
- Riola, J. y Díaz, J. (2009). Aplicación de los USV al rastreo de minas - Proyecto SIRAMICOR. En J. Martín (Secretaría), *Industria Naval Española: Actuaciones para ganar el futuro*. Conferencia llevada a cabo en el 48º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima, Vigo, España.
- Riola, J., Pérez, R. y Díaz, J. (2013). Análisis del Comportamiento en la Mar de Buques de Guerra Multicasco. En L. Vilches (Presidencia), *Ingenieros e Ingeniería. El mar como oportunidad*. Conferencia llevada a cabo en el 52º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima, Madrid, España.
- Riola, J. (2012). Los sistemas de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. En P. García (Coordinación), *La Transferencia entre Ejército, Empresa y Universidad*. Conferencia llevada a cabo en las II

Jornadas en Tecnologías de doble uso, Murcia, España.

Sánchez, A. (2013). Programa SIRAMIS (Signature Response Analysis on Multi-influence Mines). En J. Franco (Dirección), *Acústica Submarina*. Conferencia llevada a cabo en las Jornadas Técnicas 27 y 28 noviembre 2013, Madrid, España.

Sánchez, A., Hernández, A., Rodrigo, F. y Muñoz, P. (2013). Underwater multi-influence measurements as a mean to characterize the overall vessel signature and protect the marine environment. *Ship Science & Technology*, 7(14), 67-75.

Urick, R. (1983). *Principles of Underwater sounds*. Nueva York, Estados Unidos de América: Mc Graw Hill.

Vílchez, F. y Sierra, H., (1999). Detectabilidad de Buques de Combate. En E. Romero (Presidencia), *Congreso Panamericano de Ingeniería Naval*. Conferencia llevada a cabo en la XVI COPINAVAL, Cartagena, Colombia.

# Arquitectura de Control Modular y Escalable para la Navegación de Sistemas Autónomos No Tripulados

Págs. 111-121

*Francisco J. Lastra<sup>a</sup> Jesús Trujillo<sup>b</sup> Francisco J. Velasco<sup>a</sup> Elías Revestido Herrero<sup>a</sup> Luis M. Vega<sup>c</sup>  
Enrique Rodríguez<sup>c</sup>*

<sup>a</sup>Departamento de Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Náutica - Santander (Cantabria), Spain. lastrafj@unican.es, velascof@unican.es, revestidoe@unican.es

<sup>b</sup>Iberalter, Madrid, Spain. jesus.trujillo@iberalter.es

<sup>c</sup>Departamento de Construcciones navales y técnicas de la navegación, Universidad de Cantabria. Escuela Técnica Superior de Náutica - Santander (Cantabria), Spain. vegalm@unican.es, enrique\_r.m@hotmail.com

## Resumen

En el presente artículo se propone una arquitectura híbrida basada en sistemas multiagente para el desarrollo de aplicaciones de inspección de cables submarinos. La elevada complejidad operativa imposibilita la utilización de arquitecturas de control estándar, por tanto, se ha desarrollado una arquitectura de control ad-hoc con características de modularidad y escalabilidad. También se ha desarrollado una metodología para la generación y el seguimiento de la trayectoria en el interior de un espacio virtual fiable, sobre el cual, la navegación se realiza bajo condiciones operativas de mayor seguridad y efectividad.

## Palabras Clave

UUV, arquitectura de Control Distribuida, modularidad, escalabilidad, sistemas supervisores.

## Abstract

In this paper a hybrid architecture based on multi-agent systems to develop underwater cables inspection applications is proposed. The high operational complexity does not allow the use of standard control architectures, therefore, it has been developed an ad-hoc control architecture with modularity and scalability characteristics. It has also been developed a methodology for generation and monitoring of a path within a reliable virtual space, on which the navigation is performed under conditions of greater operational safety and effectiveness.

## Keywords

UUV, Distributed Control architecture, modularity, scalability, supervisory systems.

*Fecha de recepción: Junio de 2015*

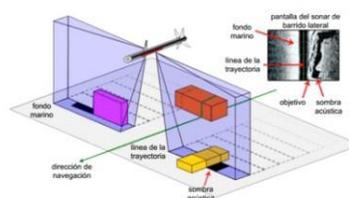
*Fecha de aceptación: Agosto de 2015*

## 1. INTRODUCCIÓN

La incorporación de sistemas robóticos en el entorno submarino es altamente compleja, debido principalmente al carácter variable e imprevisible sobre el que se desarrollan las diferentes actividades. Una de estas aplicaciones, es la inspección de cables submarinos en presencia de corrientes submarinas.

Los sistemas de inspección de cables submarinos han ido evolucionando junto con el desarrollo de los sistemas robóticos submarinos. La tendencia operativa convencional, ha evolucionado a partir de la inspección visual de los cables submarinos por parte de buzos especializados, siendo una operativa peligrosa, ya que se encuentran expuestos a los peligros propios de las altas profundidades, hasta la utilización de vehículos submarinos para la supervisión de los cables por parte de un operador humano, de manera que el vehículo submarino desarrolla tareas básicamente de localización y de posicionamiento, con el fin de mejorar la inspección de los cables submarinos a través de los sistemas de visión submarina (estéreo-visión).

La inspección mediante sistemas autónomos no tripulados crece de manera progresiva, gracias al aumento en la autonomía de este tipo de vehículo. Entendiendo autonomía tanto desde el punto de vista energético, como en la toma de decisiones. Tareas cada más complejas, desarrolladas por este tipo de vehículos, implica el diseño y desarrollo de arquitecturas cada vez más complejas. La arquitectura de control modular y escalable, facilita el diseño de estos equipos, permitiendo la inserción fiable de diferentes sub-sistemas dentro del conjunto del vehículo (diferentes grupos de adquisición de datos, etc.).



**Figura 1.** Aplicación Inspección mediante UUV.a. Escenario Operativo sistema sonar b. UUV propiedad Universidad de Cantabria para la inspección

Fuente: Tomado de

[http://www.southwestcoastalgroup.org/cc\\_mon\\_sidescan.html](http://www.southwestcoastalgroup.org/cc_mon_sidescan.html)

La arquitectura propuesta en el artículo parte del concepto convencional de arquitectura híbrida basada en capas, dividiendo el comportamiento del sistema en dos grandes grupos: un comportamiento reactivo, en el que el sistema deberá reaccionar de una forma automática ante un determinado evento, caso de los sistemas de evitación de obstáculos que deberán modificar la trayectoria del sistema de tal forma que se reduzca la posibilidad de un impacto, y un comportamiento deliberativo, en el que el sistema evalúa diferentes posibilidades determinando aquella más conveniente en cada situación, por ejemplo, la generación de trayectoria entre dos puntos dependiendo de los consumos, etc.

La plataforma utilizada es la plataforma multi-agente cooperativos (Woolridge,2002; Panait, 2005; Russel, 2003) la cual está compuesta por un conjunto de agentes que aportan los conceptos de modularidad y escalabilidad necesarios para este tipo de aplicaciones. La modularidad del sistema permite un aumento en la capacidad de intercambiabilidad y conectividad entre los módulos ausente de incompatibilidades y riesgos de comprensión entre los mismos. Mientras que la escalabilidad del sistema permite la reducción entre potenciales errores, propiciados por el cambio de nivel o

entorno.

También cabe destacar las restricciones temporales de funcionamiento de cada uno de los módulos de las diferentes capas, capaces de reducir los retrasos producidos por los intérpretes de los distintos niveles en el lanzamiento de interrupciones o subrutinas para distintos escenarios en el procesamiento de datos recibidos desde sensores.

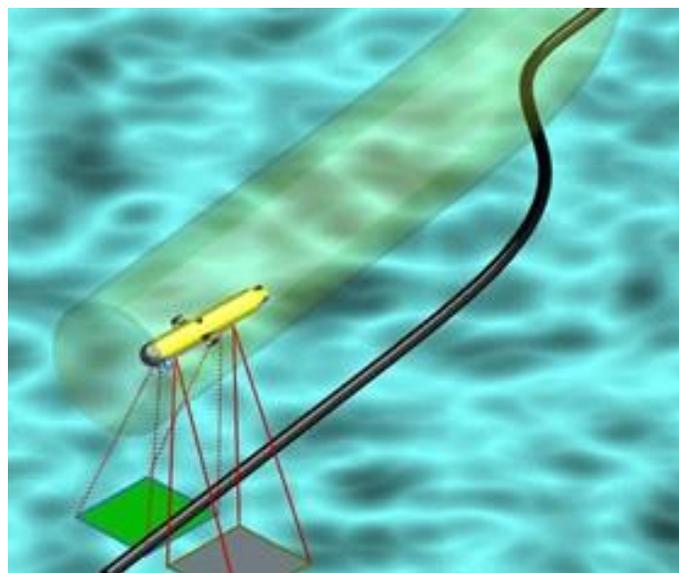
Estos agentes aportan características tales como autonomía, reactividad, sociabilidad/cooperación, e iniciativa. Aportando al sistema características de modularidad, reduciendo la complejidad al trabajar con módulos y sub-módulos para una determinada aplicación. Además los sistemas distribuidos permiten la aparición del paralelismo ya que permiten la repartición de tareas, fiabilidad, comportamiento fiable ante fallos y flexible, se puede habilitar/deshabilitar de forma dinámica. En este tipo de sistemas se viene trabajando durante años, aumentando la complejidad de los mismos a medida que aumenta su autonomía.

## 2. PROBLEMA A RESOLVER

El objetivo del sistema propuesto es la inspección de cables submarinos mediante la utilización de sistemas autónomos no tripulados en entornos no estructurados. Para ello, el sistema debe de realizar el seguimiento del cable on-line, y evaluar los datos obtenidos por los medios de captación para determinar los defectos en el cable.

Cabe destacar la estructura interna de los cables submarinos que incorpora en su interior cables de acero impidiendo cambios bruscos en la dirección de alojamiento

en el lecho marino. En la siguiente figura se muestra tanto a la aplicación a la que se hace referencia en el artículo (Ver Figura 2).



**Figura 2.** Aplicación de inspección de cables submarinos en el lecho marino

Fuente: (Lastra, 2015)

Actualmente, la Universidad de Cantabria dispone de varios vehículos marinos que componen el parque de vehículos del "Laboratorio de Experiencias Marinas de Cantabria" ubicado en la E.T.S. de Náutica de Santander. Para el desarrollo de esta aplicación se ha seleccionado el vehículo submarino C'Inspector (fig. 1.b), de la firma noruega Kongsberg. Este vehículo se ha modificado incorporando un conjunto de sonares de barrido lateral, capaces de aportar la información necesaria del fondo marino, a ambos lados del vehículo en la zona central y cuyo ancho nos permite detectar un ancho de aproximadamente 1 metro del lecho marino. Su localización en el vehículo fue estudiada al detalle con el fin de limitar su impacto en la maniobrabilidad del vehículo, ya que este vehículo se caracteriza por ser un vehículo de altas prestaciones, con gran versatilidad operativa gracias a su gran maniobrabilidad a alta velocidad.

El equipo consta de dos sistemas sonar independientes. Uno el sonar de navegación, cuya función es la obtención de una imagen sonar frontal del entorno utilizada para la detección de objetos frontales a diferentes distancias y de un conjunto side-scan sonar, encargado de proporcionar las imágenes a ambos lados del vehículo del lecho marino para su posterior estudio.

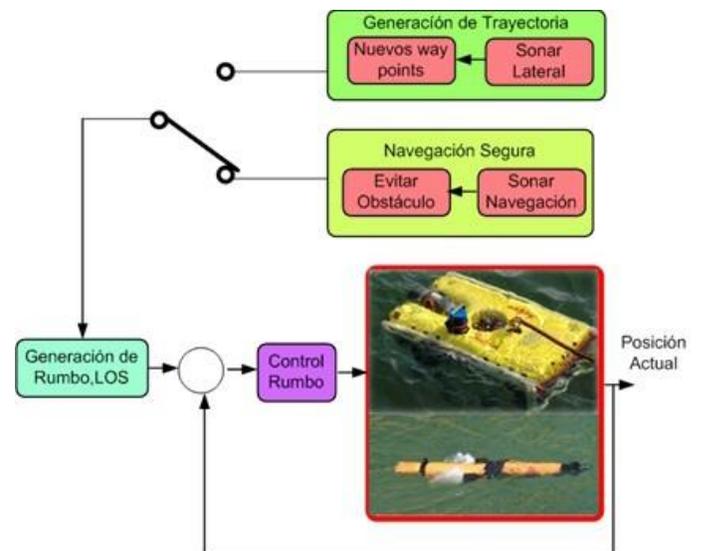
El estudio de las imágenes proporcionadas por los sonares se realiza de forma independiente mediante la utilización de técnicas de visión artificial. Mediante el estudio de la imagen frontal del entorno se podrá detectar los objetos con anterioridad, tanto dinámicos como estáticos, proporcionando una trayectoria al sistema fiable y segura. Mientras que el estudio de la imagen proveniente de los sonares laterales proporcionará la detección de diferentes objetos en el lecho marino, en dicho estudio se debe de tener en cuenta el estudio de las sombras acústica ya que nos proporcionará características propias de los objetos.

Como se ha comentado anteriormente los sonares de barrido lateral se encuentran adosados a la zona central del vehículo proporcionando información de los objetos dentro de la zona de detección determinada por el ángulo de detección del sonar. Esta zona de detección depende directamente de la profundidad, existiendo unos límites, tanto superior como inferior, para la detección segura del cable submarino.

Después de analizar y detectar el cable mediante las imágenes del sonar de barrido lateral se obtendrán los nuevos puntos de posición corroborando el correcto path determinado por el bloque de navegación (feedback). Por tanto, el vehículo navega a partir del desarrollo teórico de una trayectoria obtenido por el ajuste

de los puntos obtenidos del sonar mediante una función, es importante destacar la existencia de una íntima relación entre la generación de la trayectoria y los cambios bruscos de velocidad del equipo, ya que la generación de estos nuevos puntos es totalmente dependiente de la velocidad del equipo y por tanto, de la posición obtenida en cada iteración.

El análisis de estos cambios de velocidad proporcionará la aceptación o negación de los nuevos puntos por parte de los sistemas de supervisión de navegación del sistema.



**Figura 3.** Arquitectura Básica de Control UUV

Fuente: (Lastra, 2015)

En la figura anterior (Ver Figura 3) se muestra el funcionamiento básico del sistema para una aplicación de inspección de los cables submarinos a partir de un sistema UUV con las características anteriormente indicadas.

Este funcionamiento básico se fundamenta en cuatro módulos claramente diferenciados. Un módulo de

generación de trayectorias para el seguimiento del cable submarino, capaz de desarrollar una ruta teórica anticipativa a partir de la generación de una función que aúne todos los puntos previamente obtenidos y obtenga los siguientes puntos de paso de la trayectoria (way-point's), un sistema de navegación segura, capaz de analizar y evitar cualquier objeto que se encuentre o pueda interceptar la trayectoria fijada por el anterior módulo, un sistema de decisión, basado en reglas ECA (event-condition-action) (Almeida, 2005), capaz de modificar el comportamiento del sistema, cambiando el modo de funcionamiento de navegación a navegación segura en el instante que el sistema de detección muestra un potencial peligro y por último, un sistema de seguimiento de la trayectoria (trackerpath), encargado de seguir fielmente cada uno de los puntos de paso determinados por los dos módulos de navegación reduciendo el error transversal de camino entre los diferentes puntos que conforman la trayectoria.

### 3. ARQUITECTURA PROPUESTA

A partir de la arquitectura básica anteriormente indicada se ha desarrollado una arquitectura más compleja (Ver Figura 4) basada en el framework multi-agent systems.

En dicha figura se puede observar los diferentes módulos enmarcados dentro de cada capa y sus agentes correspondientes. Existen diferentes clases de agentes encargados de diferentes tareas, un grupo de ellos están encargados de la adquisición de los datos del entorno y del posicionamiento del vehículo en su entorno, otros del comportamiento del mismo ante distintas situaciones, y por último, el grupo que aporta cohesión a los diferentes módulos, los agentes supervisores, cuya

funcionalidad es cohesionar todos los grupos, planificando y controlando los diferentes bloques, los agentes verificadores, encargados de comprobar la fiabilidad de los bloques y los datos reduciendo los retrasos derivados de los diferentes lenguajes formales de las capas en las que se ha dividido el sistema.

Para el correcto funcionamiento del sistema se ha incluido un bloque de control de los agentes, el cual habilita/deshabilita los mismos dependiendo del comportamiento global del sistema. Esto es, modifica el comportamiento del bloque supervisor (Ramadge, 1987) con el fin de evitar comportamientos indeseados. Un claro ejemplo es la deshabilitación del bloque de navegación cuando el vehículo se encuentra dentro del bloque de evitación de obstáculos.

Si descendemos un poco más en el desarrollo del sistema se encuentran los diferentes bloques, y subbloques en los cuáles se ha dividido el sistema. Como se ha comentado anteriormente, la arquitectura propuesta está dispuesta en capas, por tanto, se deben de ubicar estos módulos en su capa correspondiente.

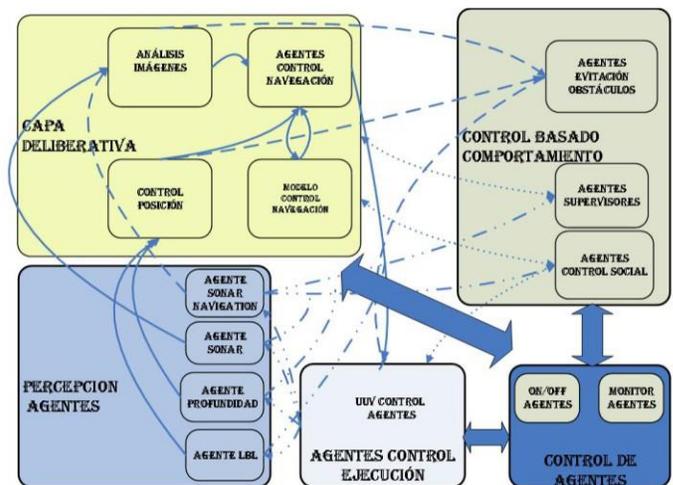


Figura 4. Arquitectura Multi-agente propuesta

Fuente: (Lastra, 2015)

Dentro de la capa deliberativa se dispone de los módulos de navegación, de pérdida del cable, y dentro de la capa reactiva, encontraremos los módulos de evitación de obstáculos y de seguimiento de la trayectoria entre cada punto determinado por el módulo de navegación.

El Módulo de Adquisición y Procesamiento de las Imágenes sonar es común a ambas capas, ya que los datos obtenidos por el sonar de barrido lateral es usado en la capa deliberativa, mientras el sonar de navegación se nutre de los datos propios del sonar de navegación.

Se incorporan por tanto, sistemas de verificación formales que permiten el desarrollo de las diferentes actividades junto con sus restricciones temporales, y se establecen supervisores zonales para evitar la aparición de datos incorrectos, tales como datos obtenidos fuera de tiempo con lo que el sistema se ve abocado al colapso. Para evitar algunos de estos problemas se están desarrollando sistemas software redundantes con el fin de obtener siempre datos fiables aunque no sean los óptimos para cada uno de los algoritmos evitando así paradas inesperadas de los módulos debidos a la carencia de datos.

El sistema se compone de cinco módulos principales. Las restricciones temporales de los módulos son diferentes, mientras que unos trabajan en tiempo real como es el Módulo de ejecución, otros sistemas se encuentran latentes esperando su habilitación a partir de un evento determinado, caso de este último tipo son los Módulos de Evitación de Obstáculos y el Módulo de Pérdida del Cable.

A continuación se explica de forma somera cada uno de los módulos del sistema. Cada módulo a su vez se encuentra dividido en sub-módulos, mostrándose así el flujo de datos dentro de cada uno.

### a. Módulo de Navegación

Es el encargado de generar una trayectoria fiable y segura para el vehículo. En el módulo de adquisición y procesado de las imágenes del sonar de barrido lateral se obtiene la posición del cable y se traslada su posición al eje de coordenadas mundo. El sistema genera una trayectoria a partir de los puntos obtenidos en las etapas anteriores, para ello, se aproximan los datos obtenidos a una función, dicha función es totalmente dependiente de la velocidad del vehículo. Cabe destacar, que el sistema de decisión no sigue la trayectoria definida cuando existe una variación grande de velocidad, ya que estas funciones son totalmente dependientes de la velocidad. A partir de la función se obtiene la zona de detección de los objetos de forma segura, siendo esta zona los límites de la trayectoria suavizada del vehículo submarino (ec.1 y Figura 5).

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i N_{i,j}(t) \quad (1)$$

Siendo  $P_i$  los vértices y

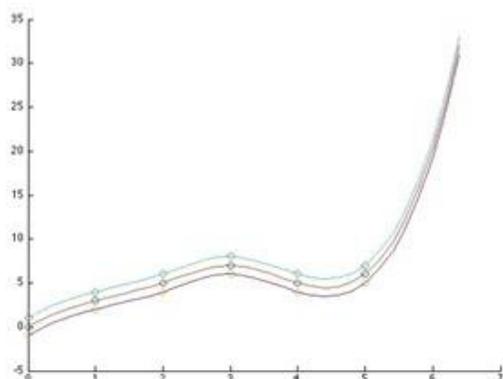
$$N_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{si } x_i \leq t \leq x_{i+1} \\ 0 & \text{en el resto casos} \end{cases} \quad (2)$$

$$N_{i,j}(t) = \frac{(t-x_i)N_{i,j-1}(t)}{x_{i+j-1}} + \frac{(x_{i+j}-t)N_{i+1,j-1}(t)}{x_{i+j}-x_{j+1}} \quad (3)$$

A partir de esta área, se puede obtener un volumen de funcionamiento del sistema seguro (Ver Figura 6).



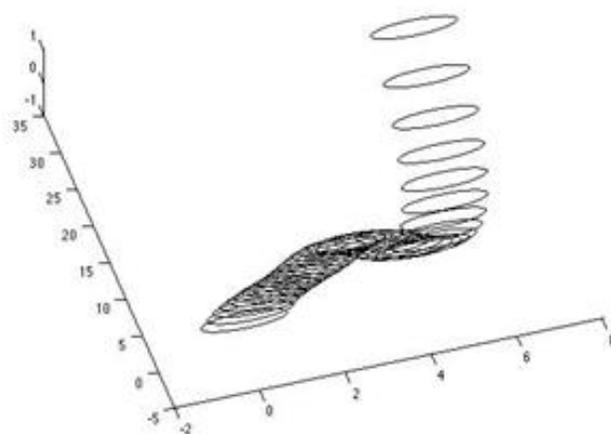
únicamente solapando las diferentes capas limitadas por la profundidad y una precisa caracterización de los objetos del lecho marino.



**Figura 5.** Área de detección (zona comprendida entre líneas azul-morada) y path teórico (línea roja)  
Fuente: (Lastra, 2015)

## b. Módulo de Adquisición y Procesado imágenes sonar

Sirve de alimentadores de los bloques de navegación y de evitación de obstáculos. Mediante el estudio de las imágenes propias del sonar de barrido lateral se determina la posición del cable en el lecho marino. Con el estudio de las imágenes provenientes del sonar de navegación se determina la posición de los objetos estáticos, tales como rocas, y se estudia la trayectoria de los objetos dinámicos, para ello, una vez detectados se estudia de forma pormenorizada una determinada zona de la imagen, aquella que es de interés para los diferentes módulos. Si un objeto dinámico es detectado, se estudia su trayectoria aproximando sus puntos a una determinada función, una vez obtenida dicha curva se evalúa buscando su posición en un horizonte conocido, con el fin de obtener un posible impacto, determinando el tiempo de evitación del mismo.



**Figura 6.** Volumen path seguro  
Fuente: (Lastra, 2015)

## c. Módulo de Evitación de Obstáculos

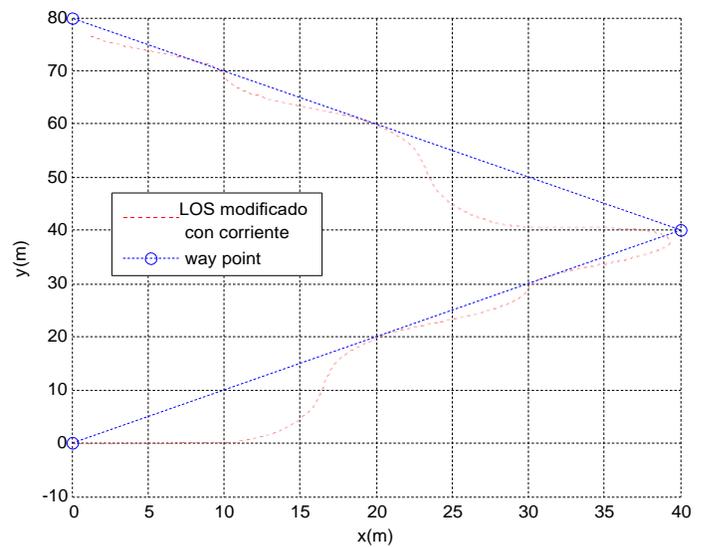
Se define una trayectoria fiable ante un potencial impacto del vehículo, determinado por la trayectoria proporcionada por el Módulo de Navegación y cualquier objeto que se encuentre en la zona frontal del vehículo. En el instante en el que se detecte la posición de un objeto, debido a que el método de detección es estático no se determina si el tipo de objeto es estático o dinámico, el sistema debe de determinar el tipo de objeto y por tanto, las acciones a determinar. Si el sistema es estático su localización quedará determinada desde el primer instante, y únicamente se deberá determinar si existe colisión o no según la trayectoria del vehículo. En el caso que sea un objeto dinámico, las posiciones relativas entre imágenes han cambiado, se debe detectar su trayectoria y determinar un punto de corte con la del vehículo en un horizonte cercano. Una vez determinado se modifica la trayectoria del vehículo, enviando estas nuevas posiciones al Módulo de Ejecución.

#### d. Módulo de Pérdida Cable

Una vez se ha producido una pérdida del cable en un instante, el sistema carga de nuevo la última posición conocida estableciendo una trayectoria segura a este nuevo punto, una vez alcanzada la misma el algoritmo de búsqueda establece un conjunto de trayectoria de forma cónica, partiendo desde el punto último conocido hacia la zona teórica determinada por el módulo de navegación. Una vez determinado el cable de nuevo, el sistema borra el conjunto de puntos correspondientes a la anterior trayectoria y comienza de nuevo el ciclo. En caso de no encontrar el cable el vehículo submarino asciende y transmite la última posición conocida a la estación de control.

#### e. Módulo de Ejecución

Este módulo está compuesto por otros dos módulos. Un módulo de toma de decisiones, en el cual se determina la acción a realizar en cada instante. Este bloque es dependiente del comportamiento del sistema, ya que es un sistema basado en eventos. Si se produce una identificación de un objeto por parte del módulo de evitación, la trayectoria viene determinada por el conjunto de puntos obtenidos de dicho bloque hasta que se ha superado el objeto, en este instante de nuevo toma el control el Módulo de Navegación. El otro sub-módulo es el correspondiente al algoritmo de seguimiento de ruta, el LOS modificado (Ver Figura 7), cuya función es la reducción del error transversal de camino entre cada uno de los puntos obtenidos en los Módulos de Navegación y el Módulo de Evitación de Obstáculos.



**Figura 7.** LOS modificado con Corrientes  
Fuente: (Lastra, 2015)

## 4. SIMULACIÓN

Para la simulación correspondiente a este apartado del artículo se ha utilizado la plataforma de desarrollo de Matlab/Simulink, siendo necesarias diferentes toolbox para el desarrollo de las mismas. Mediante la toolbox Statecharts se ha construido la máquina de estados finita para la ejecución del módulo de navegación y su posterior simulación.

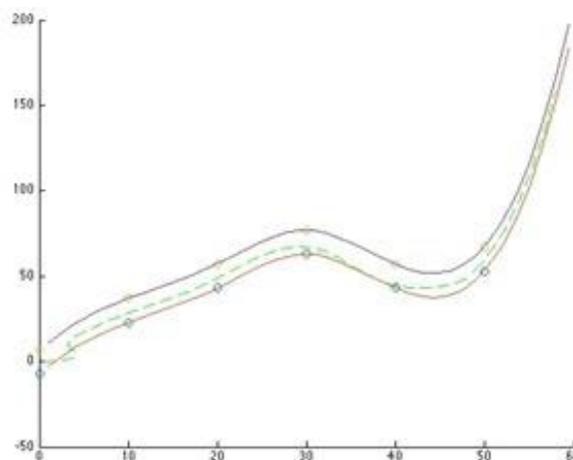
Para la simulación los Módulos de Navegación y de Ejecución se ha utilizado el modelo hidrodinámico (Fossen, 1994, 2002) del vehículo C'Inspector desarrollado a partir del trabajo de Velasco (2013).

En base al comportamiento discreto del Módulo de Adquisición y Procesado de la Imagen del Sonar de Barrido Lateral, se obtiene una función continua correspondiente a la trayectoria teórica del cable y es ésta, la que se utilizará para generar el path al vehículo submarino.

Uno de los requerimientos del sistema es la aportación de los dos primeros puntos, en este instante, la trayectoria se ajusta a una recta (punto de mayor error), como se puede comprobar en la figura la dinámica del submarino provoca una salida temporal de la zona de detección, una potencial solución a este problema sería situar al vehículo con un primer rumbo predeterminado.

A partir de aquí, se van obteniendo diferentes puntos. Todos estos puntos de paso son los puntos correspondientes a una curva que es la trayectoria teórica del cable. Una vez se posee la curva característica del cable, se crea el área de detección fiable. Cualquier posición dentro de esta área permitirá al vehículo captar el cable.

Se observa en la figura 8, como el Módulo de Ejecución del Sistema mantiene la trayectoria del vehículo siempre dentro del área de detección, por lo tanto el cable permanece en el área de detección.



**Figura 8.** Área de Detección y trayectoria simulada Vehículo C'Inspector

Fuente: Tomado de Matlab

Una vez determinado el área de detección fiable, para una determina profundidad, se podrá definir el volumen de detección fiable si se superponen todas las posibles capas obtenidas desde la posición inferior, punto donde no se pueden perfilar correctamente los límites del objeto, y la posición superior, siendo ésta el lugar donde no se puede detectar el cable o el estudio de las sombras no es concluyente.

Por tanto, la trayectoria del vehículo se deberá de encontrar en el interior de este volumen para que la detección sea fiable. Como se puede comprobar en la figura 9, la trayectoria anteriormente indicada se encuentra inmersa dentro de esta zona, así que detecta el cable en todos los puntos de la misma.

## 5. CONCLUSIONES

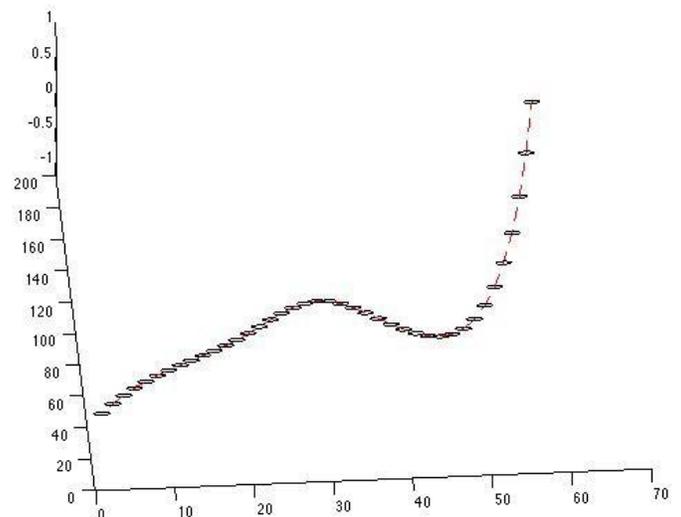
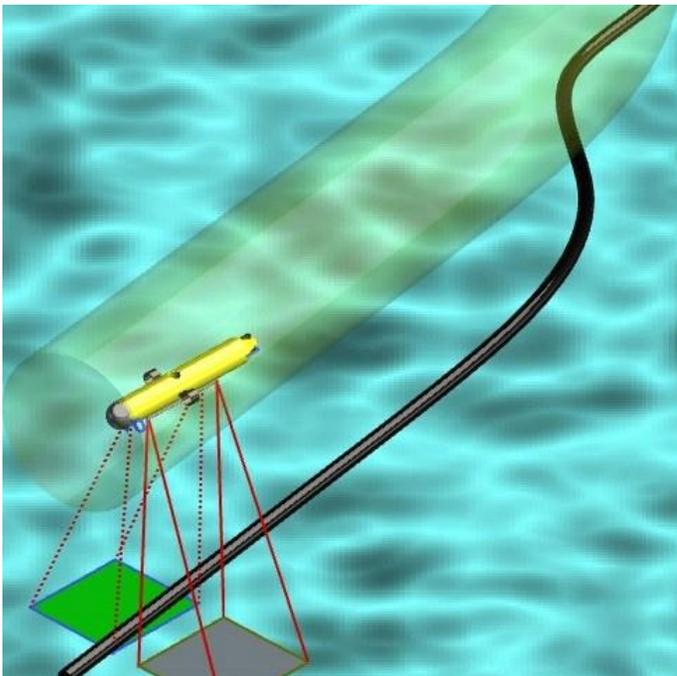
En el presente artículo se ha propuesto una arquitectura basada en un sistema multiagente. Esta arquitectura, permite dar respuesta a las restricciones actuales,

afectando tanto al tiempo como al seguimiento en la inspección de cables submarinos mediante la utilización de sistemas autónomos no tripulados.

La utilización de este tipo de vehículo en estos últimos años se debe al gran avance en la autonomía de los mismos, tanto desde un punto de vista energético como en capacidad de decisión.

La arquitectura de control se encuentra íntimamente ligada a la localización de los sistemas, en nuestro caso, la posición del sonar de barrido lateral condiciona el funcionamiento del sistema en su conjunto, evitando un seguimiento del cable desde su conocimiento

anticipado, determinando la posición teórica a alcanzar partiendo del conocimiento de todos los puntos anteriores. Una vez se determina una nueva posición, se crea el área de detección segura dependiente de la profundidad del conjunto cable-vehículo, y mediante el conocimiento de los límites superior e inferior de detección fiable, se obtiene el volumen de detección, lo que a priori permitirá el desarrollo de trayectoria fiables ya que no será necesario un posicionamiento tan exacto para la detección del cable. Mediante esta arquitectura propuesta, sumándole la metodología basada en la generación de un espacio virtual tubular, perseguimos, la reducción del tiempo de identificación y del seguimiento del objeto, además de conferir una operativa más fiable y segura.



**Figura 9.** Volumen de detección y trayectoria  
Fuente: Tomado de Matlab

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el MINECO (DPI2011-27990) con fondos FEDER y por el Ministerio de Defensa, programa COINCIDENTE-1003211003100.

## REFERENCIAS

- Almeida E., Luntz J. & Tilbury D. (2005). Modular finite state machines implemented as event-condition-action systems. Proceedings of the 16th IFAC World Congress.
- Fossen T.I. (2002). *Marine control Systems: Guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles*. Marine Cybernetics AS. Trodheim, Norway.
- Fossen, T. I. (1994). *Guidance and control of ocean vehicles*. New York, USA: John Wiley and Sons Ltd.
- Panait, Liviu; Luke, Sean (2005). "Cooperative Multi-Agent Learning: The State of the Art" (PDF). *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*.
- Russell, Stuart J. & Norvig, Peter (2003). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (2nd ed.), Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, ISBN 0-13-790395-2
- Ramadge P.J. Wonham W.M., (1987) Supervisory Control of a Class of Discrete event processes, in Analysis and Optimization of Systems, ser. Lecture Notes in Control and Information Sciences, A. Benso
- ussan and J. Lions, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 1984, 63, 475–498. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1007/BFb0006306>
- Velasco F., Lastra F., Revestido E, Riola J. & Díaz J. Navegación de Vehículos Submarinos no Tripulados en Entornos no Estructurados. DESEi+D 2013
- Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons. ISBN - 0-471-49691 - X



# Propuesta de Protocolo para la Creación de un Batallón de Infantería de Marina para el Desarrollo de Operaciones Humanitarias y Sostenimiento de Infraestructura en la Armada Nacional

Págs. 123-129

Ángel Leonardo Rojas Rodríguez<sup>a</sup> Cristian Alexi Solano<sup>b</sup>

a

Oficial Armada Nacional, Capitán de I.M. Arquitecto, especialista en Política y Estrategia Marítima, especialista en Conducción de Unidades Militares, Especialista en Gerencia Integral de obras, Magister en Gestión del Riesgo y Desarrollo. angeloreds@gmail.com

Oficial Armada Nacional, Capitán de Navío, ingeniero Civil, Magister en Gestión del Riesgo y Desarrollo. cfcrisolano@gmail.com

## Resumen

Las Fuerzas Militares en el mundo en especial el poder Naval han desarrollado de manera pragmática conocimiento en ingeniería militar, investigación y creatividad en el arte de la guerra, lo que les ha hecho partícipe de todos los acontecimientos de la humanidad, sin embargo estos aportes significativos han evolucionado hasta nuestros tiempos y hoy en día son utilizados por empresas y/o organizaciones para sus procesos de administración, reingeniería o mejoramiento continuo, ganando un lugar en la estabilidad de los pueblos y su desarrollo sostenible.

Connotación que enfoca a las fuerzas Militares hacia los diferentes ambientes operacionales y dinamiza los conflictos a nivel estratégico, los cuales buscan evolucionar el concepto de guerra a seguridad de la población, contribuyendo de esta manera a la reconstrucción de los pueblos, en sus sistemas políticos, la protección cultural, ambiental, económica y social.

**Palabras claves:** Acciones Humanitarias, Seguridad y Estratégico

## Abstract

The military forces in the world especially naval power have developed a pragmatic knowledge in the field of humanitarian relief and support, based on research and globalization of the military environment in the art of war, which has made them part of all events of mankind, however these have evolved significant contributions to our times and today are used by companies and / or organizations for their processes, management, reengineering or continuous improvement, earning a place in the stability of the peoples and sustainable development.

Connotation that the military focus to different operational environments and the dynamics of the conflicts that seek strategic level of war evolve the concept of security of the population, thus contributing to the reconstruction of the peoples, their political systems, the cultural protection, environmental, economic and social.

**Keywords:** Humanitarian Support, Strategic Security.

*Fecha de recepción:* Mayo de 2015

*Fecha de aceptación:* Agosto de 2015

## 1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país con un 49% de superficies de agua, ubicado en una de las posiciones geoestratégicas del globo terráqueo más importantes, e inmersa en una biodiversidad mayor del 50 % de todo el mundo, factor fundamental para el desarrollo de innumerables actividades económicas, culturales, sociales y ambientales, como lo enfatizó el *Ex comandante de la Armada Nacional Señor Almirante Roberto García Márquez en el XVII Seminario de Poder Marítimo*: “Hablar de temas marítimos es hablar de las locomotoras de desarrollo, estas iniciativas impulsan la discusión sobre los diferentes conceptos marítimos en el contexto nacional, es una oportunidad única” esta dinámica redefine estrategias nacionales y ordenamientos jurídicos para el control de la planificación y en especial a la gestión del riesgo en todos sus campos teniendo en cuenta la connotación específica de una amenaza intrínseca por tsunamis, inundaciones o acciones terroristas relacionadas con todos los desastres de origen antropogénico.

Colombia no ha sido ajeno a este proceso y desde la participación activa en todas las organizaciones de índole internacional, el reconocimiento de los convenios de Ginebra y tratados del Mar y ordenamientos en este escenario donde compete a la Armada Nacional, sumado a la implementación de la Política Integral de Derechos Humanos y Derecho Internacional Humanitario en el año 2008, el seguimiento a la ejecución del marco de acción de Hyogo 2005-2015, y por último la aceptación de la Corte Penal Internacional ha direccionado todos los alcances de los Gobiernos que definieron las actuaciones en este tema incluido en los Planes de Desarrollo.

Con este marco de referencia se redefinen los lineamientos para el Plan Estratégico Naval, el cual busca fortalecer y crear diferentes capacidades rehabilitando espacios de reingeniería para atender labores específicas no descritas en la normatividad vigente. Este argumento complementa la carta de navegación y orienta la Estrategia Pentagonal Naval sobre las siguientes líneas de acción: Defensa y Seguridad, Seguridad Marítima, Desarrollo Marítimo, Protección al Medio Ambiente e Internacional, en cada una de ellas se ven intrínsecos los procesos humanitarios, la seguridad humana y sobretodo las normas de cooperación nacional e Internacional robusteciendo y alineando el mejoramiento de los procesos para su participación activa en este escenario forjando las actuaciones del Poder Naval y anfibio.

## 2. DESARROLLO TEÓRICO

La cooperación internacional y la participación de Colombia en la CEA le ha sido partícipe de un organismo especializado en el estudio de los temas de seguridad y defensa regional y frente a las nuevas amenazas a la paz y la seguridad mundial, este foro americano permite a los países miembros su intervención para el desarrollo de Operaciones de Paz en beneficio de los pueblos americanos y de la seguridad regional e internacional.

Dicha capacidad de interoperar ofrece una herramienta útil para el eventual desarrollo de operaciones de ayuda humanitaria en caso de desastres, articulando los objetivos para la reducción de riesgos en desastres es decir “utilizar el conocimiento, la innovación y la educación para crear una cultura de seguridad y de resiliencia a todo Nivel”, prioridades de acción del Marco

de HYOGO, el cual busca no solo el fortalecimiento integral de la comunidad sino INCORPORAR todos los aspectos donde interactúa el ser humano es decir el enfoque social, político, cultural, ideológico, desarrollo, medio ambiente, seguridad etc., ver figura no. 01.

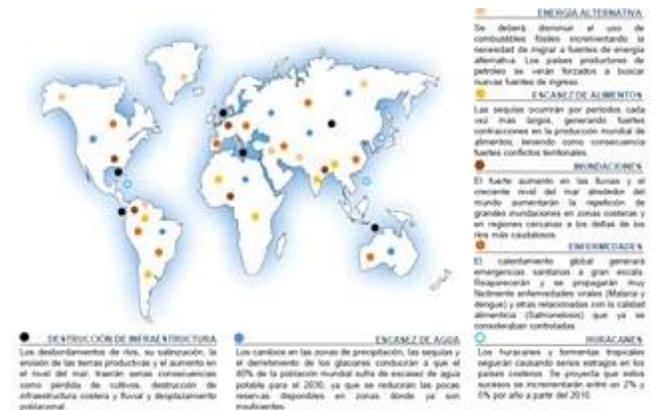


**Figura 1.** Mapa conceptual Marco de acción de Hyogo 2015 Prioridad 5

Fuente: Ángel Rojas y Cristian Solano, Interpretación Marco de Acción de Hyogo 2012

Para tal fin han desarrollado un Manual que se refiere principalmente a operaciones de mantenimiento de paz, que puede ser empleado en operaciones de la ONU que no sean conducidas por el Departamento de operaciones humanitarias.

Pero para aplicar esos conocimientos debe ser esencial conocer los teatros de operaciones que se vislumbran en el mundo y en los cuales se puede hacer partícipe una unidad con capacidades especiales, para ello es vital conocer uno de los eventos de mayor trascendencia por estos tiempos; el Cambio Climático, ver figura no. 2.



**Figura 2.** Siete amenazas mundiales del Cambio Climático y proyección de roles del futuro de las FFMM

Fuente: MDN. Vicemistro para la Estrategia y la Planeación Dirección de Estudios Sectoriales. Cambio Climático: riesgos Naturaleza y retos para la Fuerza Pública. Bogotá. D.C. Julio 2009

Este ordenamiento territorial se evidencia la necesidad de equipos especializados en prevención y rescate de inundaciones bien sea en mar, costas o en vertientes fluviales, acompañado de equipos de salud y reconstrucción que forjarán el nuevo horizonte de las acciones humanitarias a satisfacer en el mundo.

La Armada Nacional ha implementado una política de fortalecimiento del talento humano, los medios navales y fluviales adecuados para atender los escenarios de seguridad planteados en la estrategia Pentagonal, sin embargo debido a la dinámica del conflicto, las nuevas formas de terrorismo y el auge del narcotráfico como fuente de financiamiento, los teatros operaciones se han hechos más extensos, afectando notablemente el medio ambiente y por ende las comunidades y poblaciones circundantes, esta inestabilidad social, económica y territorial ha generado amenazas que aumentaron la vulnerabilidad desencadenando catástrofes de origen natural y antropogénico nunca antes vistas.

Este balance internacional demuestra que es necesario incorporar en la Armada Nacional y en especial a la Infantería de Marina, esfuerzos a labores de protección de la vida humana, con el fin de minimizar el nivel de riesgo tomando como ejemplo las estructuras organizacionales de Canadá y España, mediante el fortalecimiento de una respuesta conjunta a riesgos y catástrofes con la asignación de medios, entrenamiento, doctrina y procedimientos propios para el máximo de eficacia y eficiencia con el talento humano capaz de adelantar operaciones humanitarias en el teatro de operaciones con medios acuíferos.

¿Pero cómo prepararse para este rol de amenazas por el cambio climático? Figura 3, la respuesta específica es considerable al interior de la Doctrina militar, pues en este espacio debe ser partícipe los ingenieros militares como elementos de sostenibilidad de la infraestructura para garantizar no solo la seguridad humana sino las líneas de comunicación, logísticas y sobretodo el apoyo a las comunidades que se encuentran asentadas en estos bordes de riesgo. Sin embargo es necesario crear una unidad especializada que esté conformada por todas las especialidades de la Armada Nacional, con entrenamiento permanente en capacidades de búsqueda y rescate, transporte y distribución de ayuda humanitaria, remoción de escombros, atención de víctimas y reconstrucción de infraestructura entendiéndose esta última por puertos, hospitales, astilleros, buques, plataformas petroleras costa afuera o aeropistas en áreas costeras, fluviales e insulares.

En la actualidad la Armada Nacional cuenta con las siguientes capacidades las cuales no se encuentran formalizadas como doctrina pero se utilizan en el comité de manejo de desastres, y en muchas oportunidades

funcionan en forma descentralizada bajo el control operacional de varias unidades:

Prevención y alerta de tsunamis, prevención de desastres ambientales por el derramamiento de hidrocarburos, atención de desastres por naufragio de buques o lanchas de pasajeros en el mar y en los ríos, ayuda humanitaria por inundación de poblaciones producidas por desbordamiento de ríos, desminado humanitario, distribución de ayuda humanitaria y atención médica a nivel nacional e internacional.

Por lo anterior se requiere activar un Batallón de Infantería de Marina, para el desarrollo de operaciones humanitarias y sostenimiento de la infraestructura, que desarrolle la estructuración de los protocolos de este tipo de operaciones tanto para el interior de Colombia, como para la estabilidad regional e internacional.

### 3. TRABAJO DE CAMPO

El objeto de estudio está fundamentado en todos los elementos conceptuales que sean argumentados en documentos, escritos y fuentes bibliográficas, con el fin de proponer la elaboración de un protocolo para la creación de una Unidad de Infantería de Marina para el desarrollo de operaciones humanitarias y sostenimiento de infraestructura, que permita establecer los criterios básicos para que el Mando Naval tome las decisiones más apropiadas en la creación de la misma, soportadas en un estudio investigativo que permite integrar los recursos disponibles de talento humano, organización, infraestructura y capacidades operacionales para atender los requerimientos y la actualización del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres, en lo referente al planeamiento y la coordinación para la respuesta ante un posible Desastre Súbito de Cober-

tura Nacional o Internacional.

En ese orden de ideas las instituciones en su continuo cambio y/o transformación están desarrollando estructuras organizacionales tendientes a la participación en temas de operaciones humanitarias y estabilidad, para servicio de operaciones mantenimiento de la paz u operaciones de estabilidad, que fortalecen la capacitación, redistribución y mejoramiento de los recursos financieros lo cual le permitiría a las Fuerzas militares crear sostenibilidad en el desarrollo de estas operaciones.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se puede determinar que el esfuerzo por parte de todas las fuerzas en efectuar un esquema de participación humanitaria, no articula las herramientas que cada componente disponga, es decir es una acción sin retorno, en el caso de la Armada Nacional se han efectuado diferentes capacitaciones de oficiales y suboficiales en diferentes temas como operaciones expedicionarias, armas no letales, operaciones anfibia, construcción de unidades navales, participación en las conferencias de ejércitos de las Américas, entre otros, sin embargo no se han dado resultados tangibles de las mismas como por ejemplo manuales o protocolos de actuación del personal de la Armada Nacional en este tipo de operaciones no relacionadas con la guerra.

Otro hallazgo es la falta de seguimiento, retroalimentación de los procesos donde han sido partícipes como fuerzas de operaciones humanitarias bien sea en transporte logístico (asistencia humanitaria – ayuda humanitaria) o en efectividad en el desarrollo de procedimientos médicos, reconstructivos como lo sucedi-

do en Haití donde se generó una diversa actuación pero no quedó referenciada en un documento de consolidación de resultados conjuntos o en una carta diplomática de agradecimiento.

De acuerdo a las acciones anteriormente descritas y una vez cruzada con la literatura internacional en este tema, se puede evidenciar que en Colombia no se cuenta con suficiente bibliografía especializada en el tema de actuaciones en operaciones humanitarias y mantenimiento de paz por parte de la Armada Nacional, lo cual ha generado vacíos conceptuales y funcionales en el desarrollo de las misiones asignadas a la fuerza. Se puede precisar que es necesario la implementación de una doctrina, que permita a los Comandantes, Estados Mayores y demás integrantes de las fuerzas Militares conocer al detalle sobre el desarrollo de este tipo de Operaciones, sus capacidades, procesos, mando, conducción y sobre todo el proceso logístico y auto sostenible del desarrollo específico en la estabilidad nacional y mundial.

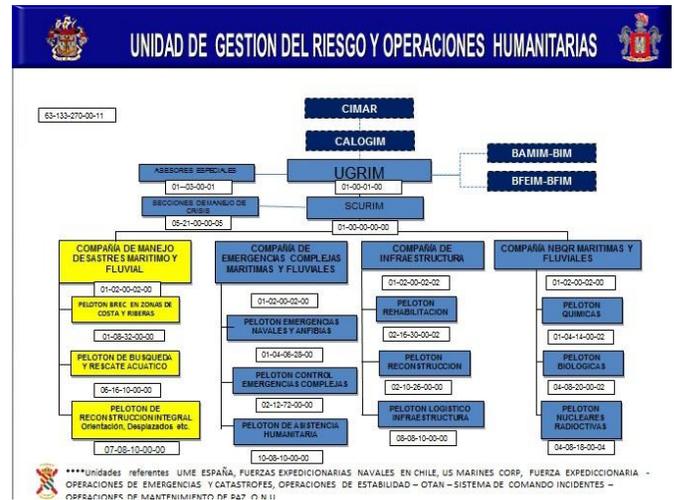


Figura 3. Diagrama Organización y Operatividad Modelo Operaciones Humanitarias

Fuente: Ángel Rojas, Cristian Solano

Finalmente de acuerdo al estudio de dirección sectorial MDN concluye con definir diferentes escenarios donde se vería inmersa Colombia en el 2018 y establece dos líneas de acción con prioridad; el fortalecimiento en materia de disuasión externa con participación y cooperación internacional (Escenario Colombia Disuasiva) y seguridad en la soberanía (Escenario papa ya partida) siendo finalmente rector financiero del gasto de las Fuerzas Militares, ver gráfico 1. Para el desarrollo de posibles apoyos, cabe recordar que la participación activa en este tipo de operaciones genera recursos extras a los países que brindan sus equipos, personal, medios y genera cultura de entrenamiento el cual puede desarrollarse desde el centro de entrenamiento avanzado de la Armada Nacional.

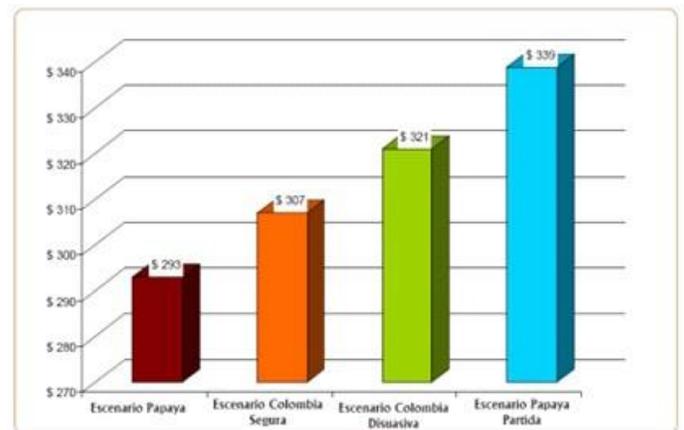


Gráfico 1. Comparación escenarios según VPN (billones de pesos 2007)

Fuente: Ministerio de Defensa Nacional —La Fuerza Pública y los Retos del Futuro Serie de Prospectiva Estudio No. 03.

Este protocolo de creación de la unidad con una perspectiva de ayudas humanitarias y un proceso social, económico y político claro, le dará a Colombia reconocimiento Mundial enmarcándolo como participante en las Operaciones de mantenimiento de paz o de estabilidad.

## REFERENCIAS

- Barrera, G. (2008). "Estrategia Pentagonal Armada Nacional" Políticas Comando Armada
- Congreso de la República (1991). Constitución Política de Colombia. Gaceta Constitucional No.116. Bogotá. D.C.
- ESDEGUE, CEDESSEN. (2011). XVII Seminario de Poder Marítimo. Recuperado de [http://esdegue.mil.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=854%3Axvii-seminario-de-poder-maritimo&catid=162%3Aoctubre-2011&Itemid=50](http://esdegue.mil.co/index.php?option=com_content&view=article&id=854%3Axvii-seminario-de-poder-maritimo&catid=162%3Aoctubre-2011&Itemid=50)
- Congreso de la República. (2012). Ley 1523. Colombia.
- Lawrence J, Korb B. & Max A. (2008). Restructuring the Military. *Issues in Science and Technology*, 25 (1), Pg. 35.
- MDN. (2006). Participación de las Fuerzas Militares en prevención y atención de desastres. Comando General Fuerzas Militares, Directiva Permanente No 300-08.
- OXFAM International. Posición de Oxfam Internacional relativa a la provisión de ayuda humanitaria por fuerzas militares.  
Recuperado de [http://www.oxfam.org.uk/resources/policy/conflict\\_disasters/downloads/oi\\_hum\\_policy\\_aid\\_military\\_sp.pdf](http://www.oxfam.org.uk/resources/policy/conflict_disasters/downloads/oi_hum_policy_aid_military_sp.pdf)
- Rey. (2005). Perspectivas de la ayuda humanitaria en la ayuda oficial al desarrollo, analista del Centro de Investigación para la Paz (CIP) e investigador del Instituto de Estudios de Conflictos y Acción Humanitaria (IECAH).
- Roberts, A. (1999). "El papel de las cuestiones humanitarias en la política internacional en los años noventa", en Unidad de Estudios Humanitarios, *Los Retos de la acción humanitaria*, Icaria, Barcelona.
- SNPAD. (1998-2009). *Desastres en Colombia*. Base de Datos. Recuperado de <http://www.sigpad.gov.co/>



## Crítica a los Modelos IS-LM – Solow

Págs. 131-138

*Oscar Torres Yarzagaray<sup>a</sup> Roberto Carlos Torres Castellar<sup>b</sup> Diana Osorio Physco<sup>c</sup> Luis Alejandro Lora<sup>d</sup>*

<sup>a</sup>Doctor en Ciencias Económicas. Magister en Gestión Logística. Economista. Ostoyar@hotmail.com

<sup>b</sup>Doctor en Ciencias Económicas. Magister en Administración. Economista. Roberto.torres@tecnar.edu.co

<sup>c</sup>Magister en Gestión Logística. Administradora de Comercio Exterior. dianyosorio@hotmail.com

<sup>d</sup>Magister en Gestión Logística. Director de Abastecimientos de la Armada Nacional. lualoj@gmail.com

---

**Resumen**

Se presenta una crítica a los modelos IS – LM y de Solow. El modelo IS – LM tiene como sustento la epistemología Keynesiana, se debate el argumento de que a mayor gasto público el nivel de crecimiento económico de un país aumenta, argumento rebatido por los austriacos. Del modelo de Solow se critica la utilización de una función micro para explicar fenómenos macroeconómicos mucho más complejos. De igual forma el ser útil para la era industrial, no necesariamente para la era del conocimiento y de ser útil para los países desarrollados, no necesariamente para los en vías de desarrollo.

**Palabras claves:** Crecimiento económico y la productividad agregada: general, optimal growth modelo, producción.

**Abstract**

LM and Solow - a critique of the SI models is presented. The IS - LM model is to support the Keynesian epistemology, the argument that increased public spending level of economic growth of a country increases, an argument refuted by the Austrians debate. Solow model using a micro function is critical to explain more complex macroeconomic phenomena. Equally useful for the industrial era to be, not necessarily to the era of knowledge and be useful for developed countries, not necessarily for developing.

**Keywords:** Economic growth and aggregate productivity general, optimal growth model production.

---

*Fecha de recepción: Mayo de 2015*

*Fecha de aceptación: Julio de 2015*

## 1. INTRODUCCIÓN

El modelo IS – LM enseña que un país que atraviesa por una etapa recesiva de su ciclo económico puede recuperar la senda de crecimiento económico vías expansión del gasto público. El supuesto anterior es tomado de la doctrina keynesiana.

En el presente trabajo se cuestiona la veracidad de este postulado keynesiano basado en los postulados de la Escuela Austriaca, contraria a Keynes. ¿Quién tenía razón Hayek o Keynes? ¿El mayor gasto público es generador de crecimiento económico o perturba las señales del mercado y es un desencadenante de futuras crisis?

Es de gravedad determinar quién está en lo correcto: si los keynesianos o los austriacos, de adherir a la escuela equivocada se llevarían a cabo políticas económicas erradas que llevarían a generaciones pérdidas de crecer económicamente.

Del modelo de Solow se debate si este es adecuado para la era de la información y el conocimiento o es un modelo de la era industrial, además si es adecuado para explicar el crecimiento económico en países en vías de desarrollo tales como los latinoamericanos.

## 2. MARCO TEÓRICO

### Fundamentos epistémicos modelo IS -LM: teoría general del empleo, el interés y el dinero:

Acorde con Gutiérrez, Irma (2009), presentando las ideas principales del libro:

*“El ingreso total de una sociedad está definido por la suma del consumo y la inversión; y en una situación y de capacidad productiva no utilizada, solamente puede aumentarse el empleo y el ingreso total, incrementando primero los gastos, sea en consumo o en inversión.”*

*La cantidad total de ahorro en la sociedad es determinada por el ingreso total, y por tanto, la economía podría alcanzar un incremento del ahorro aún si las tasas de interés se bajaran para estimular los gastos en inversión”.*

Según Carballa, Bruno (2010) Keynes basa su obra en los postulados de la escuela neoclásica realizando un rompimiento epistemológico con ella.

- La economía tiende a generar equilibrios, estos difícilmente son óptimos a nivel agregado.
- No existen mecanismos auto compensatorio que garanticen el pleno empleo.
- En la economía no se cumplen las condiciones de competencia perfecta.
- Los mercados de trabajo, de bienes y de capital no logran restablecer el equilibrio general.
- No puede existir un mercado de trabajo, sino que el nivel de empleo se determina unilateralmente de acuerdo con las expectativas sobre la demanda.
- No todo ahorro se convierte en inversión por la que la economía no tiende por si sola al pleno empleo.
- La determinación de los precios generales en la eco-

nomía es el último eslabón de la cadena causal, una vez determinado el nivel de empleo, y no como una interacción entre una oferta y una demanda global.

- El mercado no es por sí sólo un asignador de óptimo de recursos.

- El dinero tiene más funciones que la transaccional. Es también una reserva de valor.

### **Ruptura epistemología con la escuela neoclásica:**

- No utiliza el individualismo metodológico propio de los neoclásicos.

- Intuye que la suma de las partes no es igual al agregado.

- Hay que estudiar a la sociedad, no al individuo.

- Hay que buscar las leyes sociales, no individuales. Ambas categorías no son iguales o equivalentes.

- El concepto de racionalidad deja de ser la única herramienta detrás de los movimientos de la economía.

- Introducción de las expectativas acerca del comportamiento de la sociedad.

- Los individuos no se comportan siempre racionalmente. Los comportamientos no racionales no siguen una pauta que se pueda predecir.

- Introduce la incertidumbre como uno de los generadores de la irracionalidad.

### **Postulados de la Escuela Austriaca**

La Escuela Austriaca desarrolla una teoría

macroeconómica distinta y contraria a la desarrollada por Keynes en su teoría general. Friedrich A. Von Hayek fue un gran opositor a las doctrinas Keynesianas.

En palabras de Hayek (1996):

*“Al margen de las mejoras que puedan procurarnos los nuevos descubrimientos, nuestro nivel de vida, es decir nuestro consumo per cápita solo podrá aumentar si somos capaces de adoptar estructuras de producción más intensivas en capital o, lo que es lo mismo, estructuras que consumen más cantidad de tiempo entre la aplicación de los factores originales (tierra y trabajo) al proceso de obtención de bienes aptos para consumir.*

*Sin embargo, la adopción de esta clase de estructuras de producción exige siempre el sacrificio de nuestro consumo presente (ahorro), y todo intento de eludir este sacrificio mediante la generación de dinero – crédito conduce a la crisis y destrucción de esa estructura en la depresión”.*

Los fundamentos de la Escuela Austriaca, acorde a Krause, M. (2012), son:

- Subjetividad del valor.
- Individualismo metodológico.
- Fluctuaciones y ciclo económico.
- Imposibilidad del cálculo económico socialista.
- Conocimiento disperso, órdenes espontáneos.

- Proc. Yzaguiray, Cesar, et al.: Crítica a los Modelos IS-LM – Solow  
em- prendedor.

## El modelo de Solow

Acorde a CHAVARRIA, German et. All. (s.f.), se considera una función de producción del tipo Cobb-Douglas:

$$1. Y_t = K_t^\alpha A_t L_t^{1-\alpha}$$

En donde Y es la producción, K capital, L trabajo y A el nivel de tecnología. Además en el modelo de Solow las tasas de: ahorro, crecimiento de la población y progreso tecnológico son exógenas. Hay dos insumos: capital y trabajo, los cuales pagan marginalmente sus productos. L y A crecen exógenamente a tasas: n y g respectivamente.

$$2. L_t = L(0)e^{nt}$$

$$3. A_t = A(0)e^{gt}$$

## 3. CRÍTICA AL MODELO IS – LM

Una de las enseñanzas del modelo IS – LM es que es posible incrementar la producción nacional mediante mayores niveles de gasto público, idea tomada de las enseñanzas keynesianas.

Para Keynes las políticas fiscales expansivas llevan al incremento del crecimiento económico, es así como en momentos en que las economías atraviesan momentos depresivos deben ser aplicadas políticas fiscales contra cíclicas a través del incremento en el gasto público.

No deja de ser extraña la posición de Keynes. Enseñanzas de los austriacos hablan de que para incrementar el crecimiento económico se debe contraer el gasto, dedicando una parte de este al ahorro, ahorro que se traduce en inversiones e incremento del capital acumu-

lado y es este incremento de capital el que produce crecimiento económico de largo plazo (Hayek, 1996). Pensar que una nación se hace más rica gastando más es contrario a la lógica.

A nivel microeconómico es fácil comprender que un individuo no se hace más rico por gastar más, se hace más rico al ser más productivo, acumular capital e invertir. ¿Qué sentido tiene que una nación crezca económicamente porque gaste más? Recientemente tanto las economías de EEUU como de España han atravesado por momentos de recesiones económicas, ambas naciones presentan problemas de exceso de gasto público y no deja de ser extraño que a naciones con problemas macroeconómicos a raíz de unas finanzas públicas desequilibradas se les recomiende como salida a la crisis políticas keynesianas de incremento del gasto para reactivar el crecimiento económico. La cura puede ser causante de mayor enfermedad.

Colombia durante la década de los 80's tuvo periodos de fuertes déficits fiscales que conllevaron posteriormente a tasas de inflación del 30 por ciento. El argumento para sustentar el mayor gasto era que este conllevaría a mayores niveles de crecimiento. A partir de la constitución de 1991 que dio autonomía al Banco de la República se recuperó el equilibrio fiscal (se prohibió financiar gasto con emisión de moneda), gracias a esas medidas de austeridad hoy el país goza de una tasa de inflación de sólo 2 por ciento.

El argumento keynesiano de que el mayor aumento del gasto del estado jalona la demanda agregada, esté a su vez a la oferta y por esta vía se genera crecimiento económico. El mayor gasto del estado debe financiarse

en general vía mayores impuestos y los mayores impuestos significan menores ingresos disponibles o para los hogares o para las empresas, el estado para gastar más disminuye el gasto de los demás agentes con lo cual el efecto sobre la demanda agregada se anula.

Para los austriacos el gasto del estado es menos eficiente que el gasto de los demás agentes debido a que estos poseen mayor información sobre los gustos y deseos individuales de las personas, la cual es dada en el mercado a través del mecanismo de los precios, lo cual lleva a una mejor asignación de recursos. El estado carece de la información suficiente para una asignación óptima de recursos, Hayek, F. A. (1945).

La disputa entre Hayek y Keynes en los años 30's sobre las consecuencias de un mayor gasto del estado sobre el crecimiento económico, para Keynes aumentaba la producción nacional, para Hayek no permitía el ajuste de los mercados, dieron como ganador a Keynes. Keynes fue ganador porque le dijo a los políticos de la época lo que ellos querían escuchar: ahora tenían un sustento científico para gastar más. El discurso de Hayek era de sacrificio y ahorro y por eso no gustó.

Acerca de si el crecimiento económico se genera con mayor gasto o con mayor ahorro e inversión se apuesta más a una visión:

*“Es tranquilizador ver que (el crecimiento económico) puede hacerse a la antigua, mediante el ahorro, el trabajo forzado y la competencia”, (Dornbusch, Rudiger, et al. 2006, p. 89).*

### Crítica de Hayek a Keynes

De acuerdo a una entrevista con Friedrich Hayek en la que cuenta la anécdota de que se encontró a Keynes después de la segunda guerra mundial, en Cambridge, y lo interrogó sobre si era consciente de los efectos que tendría todo lo que estaba escribiendo, lo cual estaba dando soporte científico al deseo de los políticos de expandir el gasto, contestó:

Seis semanas después había muerto Keynes y no pudo hacerlo, yo creo que él hubiera estado luchando contra la política inflacionista.

## 4. CRÍTICA AL MODELO SOLOW DE CRECIMIENTO ECONÓMICO

El modelo de crecimiento de Solow presenta una notable muestra de aplicación econométrica y matemática, sin embargo, el estudio presenta debilidades epistemológicas y metodológicas que deben revisarse:

*“Y hablé con él después de la cena y le pregunté si no estaba alarmado por que dos de sus discípulos estaban haciendo campaña por más expansión, cuando de hecho el peligro era claramente la inflación. Keynes estuvo de acuerdo totalmente conmigo y me aseguró: mi teoría fue tremendamente importante en los años 1930 cuando el problema era combatir la deflación. Confía en mí, si la inflación se vuelve un problema en algún momento le daré la vuelta a la opinión pública”.*

1) Utilizar el concepto microeconómico de función Cobb-Douglas para explicar un fenómeno macroeconómico:

La función de Cobb-Douglas fue desarrollada para explicar la producción de una empresa manufacturera. No es correcto suponer que un modelo que ha sido validado a nivel microeconómico utilizarlo para medir la producción a nivel macroeconómico donde la función Cobb-Douglas no ha sido validada.

2) Incorrecto planteamiento del modelo macroeconómico de producción:

El modelo hacen un despliegue de habilidades econométricas y matemáticas en el estudio, sin embargo, ningún modelo matemático por complejo que este sea será correcto si procede de un incorrecto planteamiento de modelo económico a explicar.

El crecimiento económico se establece en función de las variables K y L propias de la función Cobb-Douglas. ¿En qué momento se demuestra que la producción a nivel agregado está en función sólo de estas variables?

¿Dónde están los factores políticos? ¿Dónde está el conocimiento como principal determinante de la generación de ventajas competitivas para un país? ¿Dónde está el desarrollo de una oferta exportable? ¿Dónde está la creación de un parque industrial competitivo? Una recesión mundial ¿Acaso no afectará el crecimiento económico? ¿Por qué no se incluyen estas y otras variables sensibles al crecimiento económico en el modelo? A pesar de que los modelos son simplificaciones de la realidad el modelo de Solow deja por fuera variables de mucho peso que afectan sensiblemente el comportamiento del crecimiento económico.

Los modelos econométricos y matemáticos deben seguir a los modelos económicos. Primero debemos

conocer qué variables determinan la producción en concreto en cada país y cómo es la relación existente entre ellas y a partir de allí plantear el modelo económico matemático.

La función de Cobb-Douglas no fue desarrollada para explicar la producción a un nivel macroeconómico donde la complejidad que se observa requiere a su vez de modelos complejos para explicar la realidad.

De igual forma antes de elaborar modelos econométricos y matemáticos para explicar los comportamientos económicos se hace necesario desarrollar la teoría y modelos que aporten información sobre cuáles son las variables a considerar y las relaciones que se establecen entre estas.

Cada país debería ser capaz de explicar teóricamente cuáles son los principales factores de los cuales depende su producto y a partir de la teoría crear el modelo matemático, no limitarse a copiar modelos foráneos los cuales se desconoce si son válidos para sí.

3) La medición del factor trabajo:

El método para medir el factor trabajo parece adecuado para la era industrial, con trabajadores principalmente operativos, dentro de un modelo Fordista de producción, pero no obedece a los cambios surgidos a partir de la era del conocimiento y la información.

Se seleccionan dos variables: el número total de horas laboradas y el número de personas ocupadas. En la sociedad del conocimiento la productividad de los trabajadores suele ser notablemente dispar. Quienes trabajan con el conocimiento su productividad no tiene sentido medirla en relación al número de horas que

trabaja debido a que trabaja principalmente utilizando sus habilidades cognitivas, creativas e intelectuales.

La desigualdad en la calidad y cantidad de educación que se recibe en las diferentes capas de estratos sociales crea brechas significativamente grandes en los niveles de productividad de los individuos. Estamos ante una suma de peras con manzanas.

#### 4) No plantear un modelo propio:

Es de recordar que los modelos económicos no necesariamente gozan de validez intertemporal e interespa- cial, es posible que sólo sean válidos para un tiempo y espacio determinado.

El modelo planteado puede ser una guía valiosa para comprender cómo ha sido el proceso de crecimiento de los hoy países desarrollados, ¿será válido también para las naciones en vías de desarrollo? ¿Será válido para Latinoamérica? ¿Será válido para Colombia donde el crecimiento económico es altamente sensible a las condiciones internas de seguridad debido al conflicto interno? ¿Será válido para Venezuela cuyo crecimiento económico está atado al comportamiento del petróleo?

El modelo de Solow supone que no hay sector gubernamental, ni comercio internacional o flujos de capital (Dornbusch, Rudiger et. All. 2006). De acuerdo a este planteamiento observamos que el modelo de Solow está pensado para países desarrollados, para los países en vías de desarrollo es de esperar que la principal fuente de inversión provenga del estado y de los flujos externos de capital debido a la escasez de ahorro interno y bajo nivel de ingresos de la población.

## 5. CONCLUSIONES

El modelo IS –LM a pesar de su gran utilidad para realizar análisis macroeconómicos se hace necesario replantear la postura de que una economía en recesión mejorará su crecimiento económico si expande su nivel de gasto público, el incremento en el gasto puede crear nuevas crisis.

Cada economía dependiendo de sus condiciones particulares, entendiendo primero las razones que la conllevan a la crisis, debe plantear salidas reales, así sean momentáneamente dolorosas pero que maximicen el crecimiento de largo plazo. Nada se hace dándole a los políticos y al pueblo soluciones mágicas, una nación con desequilibrios fiscales, el cual es generador de crisis macroeconómicas, debe volver a la senda de la austeridad y del equilibrio para recuperar la senda del crecimiento, no continuar en un aumento insostenible del gasto público.

El camino del crecimiento económico sostenido continúa siendo vía sacrificio del consumo presente vía ahorro, este canalizarlo a la inversión productiva dado en aumento del capital acumulado lo cual aumentará la productividad y el nivel general de producción, tal como lo ejemplificaron los Tigres Asiáticos y China. Colombia y Venezuela deben seguir este ejemplo.

El modelo de Solow no es necesariamente el mejor para guiar el camino al crecimiento en los países en vías de desarrollo, en especial Colombia y Venezuela. El modelo es útil para explicar el crecimiento de una economía desarrollada en la era industrial, pero es pobre para explicar el de países como Venezuela y Colombia donde el crecimiento depende de factores

muy disímiles tales como el petróleo y la mejora de la seguridad. Se hace menester el desarrollo de modelos de crecimiento propios, especialmente pensados para América Latina, Colombia y Venezuela.

## REFERENCIAS

- Chavarria, G. et. All (s.f.). Manual Introductorio a las Teorías del Crecimiento Económico. *Material suministrado en clase.*
- Dornbusch, R. et. All. (2006). Macroeconomía. *Décima edición.*
- Gutiérrez, I. (2009). Filósofos y economistas. Monografía. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos73/filosofos-economistas/filosofos-economistas2.shtml>
- Hayek, F. A. (1996). Precios y producción – Una explicación a las crisis de las economías capitalistas Biblioteca grandes economistas del siglo XX. *Ediciones AOSTA.*
- Hayek, F. A. (1945). The use of knowledge in society. *The american economic review.* 35(4).
- Krause, M. (2012). Fundamentos de la Escuela Austriaca. Video clase. Universidad de Buenos Aires (UBA). Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=\\_WWhI0kLaUc](https://www.youtube.com/watch?v=_WWhI0kLaUc)
- Krause, M. (2013). Fundamentos de la Escuela Austriaca. Video clase. Universidad El Cato – UFM. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=fbajv5TZO5o>
- Soto, J. (2011). Crítica de la teoría keynesiana. Video clase. Universidad Rey Juan Carlos. Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=Nv\\_qiDTuMh0](https://www.youtube.com/watch?v=Nv_qiDTuMh0)
- Soto, H. (2009). Dinero, crédito bancario y ciclos económicos. Cuarta edición. *Unión editorial.* ISBN: 978-84-7209-473-4.

# Nueva Generación de Hélices CLT ® Optimizadas para su Aplicación en Buques Militares

Págs. 139-153

*Juan González Adalid<sup>a</sup> Mariano Pérez Sobrino<sup>b</sup> José María Riola Rodríguez<sup>c</sup> Juan Jesús Díaz Hernández<sup>d</sup>*

<sup>a</sup>SISTEMAR, S.A. PhD. adalid@sistemar.com

<sup>b</sup>SISTEMAR, S.A. PhD. mps@sistemar.com

<sup>c</sup>Capitán de Fragata, Doctor por la Universidad Politécnica de Madrid, España. jrriorod@fn.mde.es

<sup>d</sup>Isdefe. jjdiaz@isdefe.es

## Resumen

Se introducen las hélices CLT (Contracted and Loaded Tip) destacando sus ventajas sobre hélices convencionales alternativas y se describen los hitos más relevantes en el desarrollo de la tecnología vinculada con dichas hélices. Se presentan algunas de las referencias más relevantes de hélices CLT tanto en buques mercantes como militares y se describen los últimos proyectos de I+D+i realizados.

Dentro del marco del programa COINCIDENTE del Ministerio de Defensa de España se va a llevar a cabo una optimización de la hélice CLT que dará lugar a modificaciones importantes en la geometría de la placa de cierre, con una mayor adaptación al flujo, con la finalidad de mejorar el comportamiento en cavitación y reducir tanto ruidos y vibraciones a bordo como ruido radiado al mar, lo que resulta especialmente indicado para su aplicación en buques militares.

**Palabras claves:** Hélice CLT, actividades de I+D, placa de cierre.

## Abstract

The paper introduces CLT (Contracted and Loaded Tip) propellers and describes them emphasizing their advantages about conventional propellers. Additionally explains the most important milestones related with this technology. Some of the most relevant CLTs references will be reported both in merchant ships and military vessels and the last and more recent R&D made will be illustrated.

Within the framework of the Spain Ministry of Defense program call COINCIDENTE it will be carried out an optimization of the CLT propeller that will lead major changes in the geometry of the sealing plate, with greater adaptation to flow, in order to improve cavitation behavior and reduce both noise and vibration on board as sea radiated noise, aim which is particularly suitable for use in military vessels.

**Keywords:** CLT propeller, R&D activities, end plates.

*Fecha de recepción: Abril de 2015*

*Fecha de aceptación: Julio de 2015*

## 1. INTRODUCCIÓN

El ahorro de energía es un objetivo prioritario en el diseño de hélices de buques. Además, las normativas cada vez más estrictas en términos de polución y emisiones de  $NO_x$  y  $SO_x$

Al mismo tiempo, las normativas relacionadas con el ruido radiado al agua y la emisión de vibraciones que puedan tener efectos negativos sobre la vida marina así como la importancia de la firma acústica en buques militares y buques de investigación deben tenerse en cuenta al abordar una nueva construcción y requieren por tanto un estudio específico del diseño de la hélice.

Gracias a su mayor rendimiento las hélices CLT reducen el consumo de combustible, las emisiones a la atmósfera y los índices Energy Efficiency Design Index (EEDI) y Energy Efficiency Operational Index (EEOI).

El desarrollo de la tecnología relacionada con el diseño de este tipo de hélices se inició en 1976, año en el que se publicaron las primeras ideas sobre la posibilidad de mejorar el rendimiento de las hélices propulsoras de los buques mediante la utilización de placas de cierre en los extremos de las palas. La primera generación de hélices con placas de cierre se denominó TVF (Tip Vortex Free) y fue desarrollada entre los años 1976 y 1986 en el seno de AESA (Astilleros Españoles, S.A.) y posteriormente SATENA (Sociedad Anónima de Tecnología Naval).

En 1986 se desarrolló una segunda generación de hélices con placas de cierre más avanzada denominada CLT. Desde entonces su desarrollo se ha realizado en el seno de la empresa SISTEMAR, creada en 1987 con el

objetivo de desarrollar y comercializar dichas hélices en todo el mundo.

En el presente trabajo se presentan los desarrollos vinculados a una tercera generación de hélices con placas de cierre especialmente diseñada para su aplicación en buques militares ya que la geometría de la placa de cierre se ha modificado optimizando su adaptación al flujo con la finalidad de mejorar el comportamiento en cavitación y reducir la excitación de pulsos de presión con la consiguiente reducción tanto de ruidos y vibraciones a bordo como del ruido radiado al mar. Estos desarrollos se están realizando dentro del ámbito del programa COINCIDENTE del Ministerio de Defensa de España.

## 2. HÉLICES CLT: FUNDAMENTOS, VENTAJAS, APLICACIONES POTENCIALES

Las hélices CLT se caracterizan por tener una placa de cierre en el extremo de cada pala localizada en la cara de presión (ver Fig.1). Las placas de cierre son elementos pasivos cuya única misión es permitir que se desarrolle una circulación finita en el extremo de las palas como consecuencia de la barrera que impide la comunicación del agua entre las caras de presión y de succión de las palas. Adicionalmente, dicha barrera tiene el objetivo de reducir la intensidad del torbellino de extremo de pala, mejorando así el comportamiento de la hélice en cavitación.



**Figura 1.** Hélice CLT instalada en el bulkcarrier “Paiute”

Fuente: Elaboración propia

El dimensionamiento adecuado de las placas de cierre es muy importante ya que debe minimizarse su resistencia viscosa tanto como sea posible. Por otra parte, resulta importante su adaptación al flujo que atraviesa la hélice.

Como es sabido, las palas de una hélice en funcionamiento producen un aumento en la velocidad del fluido (velocidades inducidas) a lo largo de la vena líquida que atraviesa el disco de la hélice. La componente axial de la velocidad inducida aumenta a lo largo de la vena líquida desde el infinito aguas arriba hasta el infinito aguas abajo, lo que origina una reducción progresiva del área transversal de la vena líquida de acuerdo con la ecuación de continuidad.

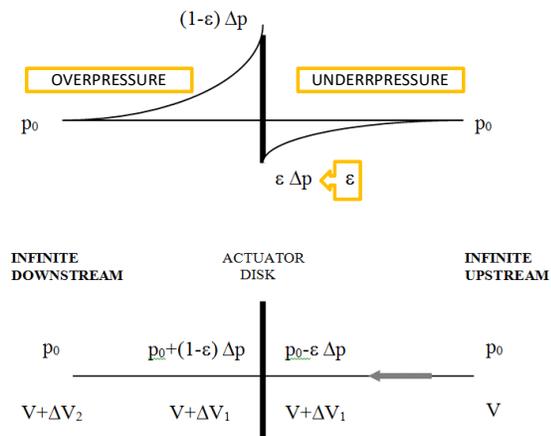
Las placas de cierre situadas en los extremos de las palas deben adaptarse a la contracción de la vena líquida con la finalidad de reducir al máximo su resistencia viscosa y evitar que se produzcan desprendimientos de flujo que podrían dar lugar al desarrollo de cavitación sobre la propia placa.

De esta manera surge hacia la mitad de los años 1980's una segunda generación de hélices con placas de cierre adaptadas a la contracción de la vena líquida que reciben el nombre de hélices CLT, caracterizadas porque las placas de cierre, dispuestas únicamente en cara de presión, no son tangentes a un cilindro coaxial con la línea de ejes sino que están adaptadas a la contracción de la vena líquida, de manera que el radio del borde de entrada de la sección extrema de la pala es mayor que el radio del borde de salida.

Una de las principales ventajas de las hélices CLT frente a las hélices TVF, a parte de su mejor interacción con el flujo de extremo de pala, es la posibilidad de extender la aplicación de hélices con placas de cierre a sistemas de paso variable (Pérez y González-Adalid, 1995).

Gracias a la existencia de las placas de cierre es posible diseñar las hélices CLT con una distribución radial de carga caracterizada por tener un valor finito no nulo en el extremo de la pala, lo que constituye una diferencia fundamental con las hélices convencionales en las que no es posible tener carga en el extremo de la pala debido a que la comunicación del agua en ambas caras de la pala impide que se establezca un salto de presiones y como consecuencia dichas secciones extremas no contribuyen a la generación del empuje total suministrado por la hélice.

Por medio de la Nueva Teoría de la Impulsión desarrollada por SISTEMAR (Pérez, Baquerizo y González-Adalid, 1983) y (Pérez, 1983), se demuestra que el empuje suministrado por la hélice se produce por medio de la acción combinada de una depresión aguas arriba y de una sobrepresión aguas abajo de la hélice (ver Fig.2) y que cuanto menor sea la depresión en la cara de succión y mayor la sobrepresión en la cara de presión, menores son las velocidades inducidas en el disco de la hélice y en consecuencia mayor es su rendimiento de propulsor aislado.



**Figura 2.** Disco actuador que explica el funcionamiento de la hélice de acuerdo con la Nueva Teoría de la Impulsión

Fuente: Elaboración propia

La existencia de las placas de cierre elimina la comunicación de agua entre ambas caras del extremo de la pala y en consecuencia facilita que se consiga un aumento de la sobrepresión en la cara de presión y una reducción de la depresión en la cara de succión. En una hélice convencional, el salto de presiones se distribuye aproximadamente en 60% sobrepresión y 40% depresión, mientras que en una hélice CLT el reparto aproximado es 90% sobrepresión y 10% depresión.

Debido al mayor rendimiento de propulsor aislado de la hélice CLT en comparación con una hélice convencional alternativa, es posible aumentar la velocidad del buque a igualdad de consumo de combustible o alternativamente reducir el consumo de combustible a igualdad de velocidad. Adicionalmente, se mejora el índice de eficiencia energética EEDI

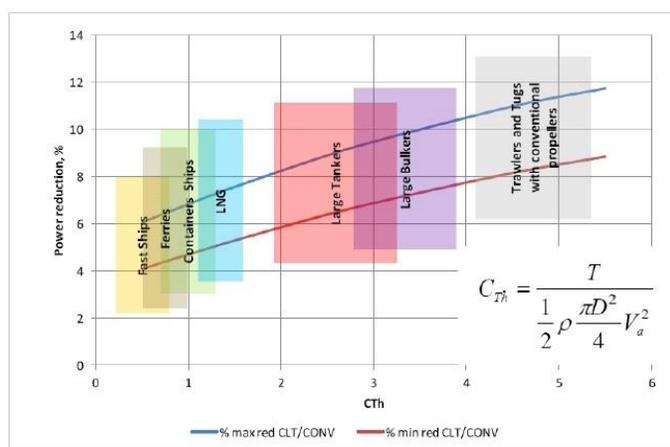
En buques militares, la mejora de rendimiento conseguida con hélices CLT se traduce en un incremento de la autonomía, mejora que puede ser estratégica en función del perfil operativo del buque.

Por otra parte, al ser mayor la sobrepresión aguas abajo de una hélice CLT, el campo de presiones que se genera alrededor del timón tiene valores más elevados que el desarrollado por una hélice convencional alternativa y además el flujo llega más concentrado, por lo que la acción del timón es más efectiva y en consecuencia se mejoran las características de maniobrabilidad del buque tales como el diámetro del círculo de evolución, la estabilidad de ruta, el tiempo y la distancia necesaria para detener un buque en marcha.

La intensidad del torbellino de extremo de pala es una hélice CLT es menor que en una hélice convencional alternativa. Además, al ser la depresión aguas arriba menor, la cavitación lámina desarrollada sobre la cara de succión es más estable lo que se traduce en unos armónicos de orden superior de los pulsos de presión más bajos que los correspondientes a la hélice convencional alternativa y en consecuencia los niveles de ruidos y vibraciones a bordo son menores.

La mejora del rendimiento conseguido con una hélice CLT depende del tipo de buque, siendo mayor para buques lentos y de alto coeficiente de bloque como

petroleros, bulkcarriers, etc. A continuación se presenta una indicación de la reducción de potencia que es posible conseguir mediante la instalación de hélices CLT para distintos tipos de buque en función del coeficiente específico de empuje (ver Fig.3).



En el caso de hélices de paso variable, las hélices CLT introducen mejoras muy significativas cuando se opera en posiciones de paso distintas de las de proyecto a revoluciones constantes gracias a su especial distribución radial de carga.

En la actualidad existen cerca de 300 aplicaciones a plena escala de hélices CLT instaladas en muy distintos tipos de barcos. Más de 60 aplicaciones se refieren a equipos de paso variable.

### 3. HITOS Y REFERENCIAS RELEVANTES EN EL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA VINCULADA CON LAS HÉLICES CLT

La idea de situar placas de cierre en los extremos de las palas de una hélice con la finalidad de mejorar su rendimiento, tiene en sus inicios un carácter totalmente intuitivo, ya que conceptualmente se entiende que de esa manera las secciones superiores de las palas tendrán una mayor contribución en la generación del empuje total suministrado por la hélice, pero en el momento de su planteamiento (Pérez, 1976) no existe ninguna teoría de diseño de hélices que permita avalar objetivamente dichas ideas.

En 1976 dio comienzo una ardua tarea de desarrollos teóricos con la finalidad de adaptar las teorías de diseño de hélices existentes para hacer posible el diseño de hélices con placas de cierre y carga no nula en el extremo de las palas. Como consecuencia de estos desarrollos se generalizaron la Teoría de las Líneas Sustentadoras y la Teoría de la Impulsión.

A finales de los años 1970's se realizaron varios diseños de hélices TVF en AESA para distintos tipos de buques y se desarrollaron extensos programas experimentales de ensayos con modelos. Se desarrolló un procedimiento de extrapolación específico para hélices TVF, teniendo en cuenta los efectos de escala de la resistencia viscosa sobre las palas y las placas de cierre.

La primera hélice TVF se instaló a plena escala en Abril de 1982 en el bulkcarrier de 35.000 tpm "Sokorri", de Naviera Sota. Con dicho buque se realizó un amplio programa de pruebas de mar que permitió por

una parte contrastar los resultados obtenidos en los ensayos de canal, pero por otra parte, permitió introducir modificaciones en el sistema propulsor; las experiencias realizadas a plena escala con el buque “Sokorri” han sido determinantes en el desarrollo posterior de las hélices con placas de cierre.

Hacia la mitad de los años 1980's se crea la empresa SISTEMAR y surge una segunda generación de hélices con placas de cierre adaptadas a la contracción de la vena líquida que reciben el nombre de hélices CLT. SISTEMAR se vio obligada a explorar en sus inicios un mercado totalmente nuevo como fue el sector pesquero, en el que no es frecuente realizar ensayos de canal, lo que supuso que los avances con las hélices CLT llevaran más tiempo del inicialmente esperado.

A comienzos de los 1990's se instalaron las primeras hélices CLT en buques mercantes de flotas españolas como Naviera Petrogas, Ership, Marítima del Norte, Flota Suardiaz, Trasmediterránea, etc. y también se llevaron a cabo algunas operaciones internacionales en Corea, Japón, Indonesia, Suiza, etc.

Desde el punto de vista teórico se avanzó en los desarrollos de la Nueva Teoría de la Impulsión Generalizada (Pérez, 1984) y se extendió la tecnología a la posibilidad del diseño de hélices en serie, tanto contra-rotativas como en tándem.

Con el objetivo de desarrollar y validar un procedimiento de extrapolación de resultados de ensayos de canal realizados con hélices CLT se inició en 1997 una estrecha colaboración entre AESA, el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR)

y SISTEMAR dentro del marco de un proyecto de I+D+i gestionado por la Gerencia del Sector Naval y el Ministerio de Industria. Se construyeron modelos tanto de carena como de hélices de distintos barcos instalados con hélices CLT de los que se tenían resultados de pruebas de mar y se realizó un gran número de ensayos de canal; la comparación de los resultados de ensayos y los resultados de pruebas de mar permitió definir una base de datos de los coeficientes de correlación empíricos necesarios para corregir las curvas de propulsor aislado de las hélices CLT para distintos tipos de buques.

La colaboración continuó con Izar y CEHIPAR para investigar el comportamiento en cavitación de hélices CLT, ya que debido a los efectos de escala que aparecen en los ensayos con modelos de este tipo de hélices, resulta importante tenerlos en cuenta a la hora de realizar los ensayos de cavitación y la medición de fluctuaciones de presión. Con esta finalidad se desarrolló entre 2001 y 2003 un nuevo programa de I+D+i, también gestionado por la Gerencia del Sector Naval y el Ministerio de Industria.

Para la realización de este proyecto se tomó como buque base el Ro-Ro “Super-Fast Levante” de Trasmediterránea, de nueva construcción en Unión Naval de Levante, instalado con palas CLT. Se realizaron unas mediciones de vibraciones detalladas en la popa del buque, que se compararon con los resultados obtenidos mediante integración de las fluctuaciones de presión medidas por CEHIPAR en los ensayos y los cálculos de vibraciones con elementos finitos realizados por Izar modelizando numéricamente la popa del buque. De esta forma se validó el procedimiento desarrollado por

CEHIPAR para la realización de ensayos de cavitación y medición de pulsos de presión con modelos de hélices CLT (Pérez et al, 2006).

Los procedimientos de extrapolación y de realización de ensayos de cavitación desarrollados en los proyectos mencionados se presentaron en una importante conferencia internacional y se siguen utilizando en todos los proyectos CLT desde entonces.

La colaboración entre Izar, CEHIPAR y SISTEMAR se extendió a un nuevo programa de I+D+i desarrollado entre 2003 y 2005 con la finalidad de aplicar los desarrollos anteriores a un caso concreto. En este proyecto también participaron dentro del consorcio Acciona Trasmediterránea y Técnicas y Servicios de Ingeniería (TSI).

Para el desarrollo de este proyecto se eligió como buque base el ferry de 1000 pasajeros y 24 nudos de velocidad "Fortuny" de Acciona Trasmediterránea, entregado por Izar-Puerto Real en 2002. El buque tiene dos líneas de ejes y cada una va acoplada a dos motores de 7.240kW; cada línea mueve una hélice de paso variable que opera a revoluciones constantes para sacar partido de la PTO. Operando a velocidades altas con las hélices convencionales en el paso de diseño, el comportamiento del buque desde el punto de vista de ruidos y vibraciones a bordo era muy satisfactorio; sin embargo, operando a revoluciones constantes con el paso por debajo del diseño los niveles de ruidos y vibraciones eran muy elevados. Tanto en ensayos de canal como en las mediciones de pulsos de presión realizadas a plena escala se comprobó que este problema se debía a la cavitación cara de presión que se desarrollaba en condiciones fuera de diseño y al espectro de

banda ancha de los pulsos de presión.

Mediante la instalación de palas CLT se resolvió el problema gracias a su distribución radial de pasos geométricos, que no se descarga tanto como la convencional en condiciones de paso distintas de la de diseño, evitando que aparezca cavitación en cara de presión y espectro de banda ancha de los pulsos de presión y además de eliminarse los problemas de ruidos y vibraciones en condiciones de paso distintas a las de proyecto, se comprobó por medio de pruebas comparativas de velocidad que las palas CLT redujeron el consumo de combustible del orden de un 8% en la zona alta de velocidades y más de un 15% en velocidades inferiores. El armador instaló palas CLT en el buque gemelo "Sorolla" en la siguiente varada.

A finales de los años 1990's y principios de los 2000's se consiguieron importantes pedidos de hélices CLT, como por ejemplo los de Cargill International correspondientes por una parte a los bulkcarriers de 164.1 tpm "Comanche" y "Cherokee", y por otra parte en los bulkcarriers de 70.000 tpm "Paiute" y "Powhatan", en los que el armador reconoció ahorros de combustible superiores al 8%.

También se instalaron hélices CLT entre 1999 y 2000 en tres bulkcarriers de 16.900 tpm ("Nogat", "Orla", "Pilica") y un buque de transporte de sulfuro líquido de 15.500 tpm ("Mitrope") de nueva construcción en el astillero polaco Szczecin Shipyard para Polish Steamships (PZM).

En 2001 se entregaron en Corea los quimiqueros de 37.000 tpm "Flores" y "Sicilia", construidos por

Hyundai Mipo Dockyard Co. Ltd. para los armadores Soponata (Portugal) y Arminster (Mónaco), instalados con hélices CLT de 5,45 m de diámetro.

Las siguientes hélices CLT relevantes se instalaron en los bulkcarriers de 67.000 tpm “Bernardo Quintana”, 63.700 tpm “W.H. Blount” y 78.570 tpm “Sklenar” de Barber Ship Management. Estas hélices comprendidas entre 5,5 m y 6,1 m de diámetro fueron construidas por Wärtsilä Propulsion en Drunen (Holanda).

A finales de los 2000's se recibió el importantísimo apoyo de la Armada Española, que decidió instalar palas CLT en el buque de aprovisionamiento de combate (BAC) “Cantabria”, entregado en 2009 por Navantia Puerto Real y en la serie de buques de acción marítima (BAM) “Meteoro”, “Rayo”, “Relámpago” y “Tornado” (Riola y Díaz, 2011) y (Riola, 2011).

En 2006 A.P. Moller-Maersk (APMM) realizó un estudio interno de soluciones capaces de reducir el consumo de combustible y las emisiones de la flota del Grupo. Se realizaron cálculos y ensayos de canal con hélice CLT en diferentes tipos de buques, desde portacontenedores de 2.500 TEU a 8.500 TEU a petroleros de 35.000 tpm a 320.000 tpm. El M/V “Roy Maersk”, petrolero de 35.000 tpm, fue seleccionado como buque de referencia para la realización de un proyecto de demostración.

Se realizaron ensayos de canal en CEHIPAR (Madrid) y HSVA (Hamburgo) y a la vista de los resultados satisfactorios obtenidos de los ensayos APMM decidió construir la hélice CLT a plena escala y confirmó el pedido a Wärtsilä Propulsion (Drunen,

Holanda) en Diciembre 2008. Después de la instalación de la hélice CLT APMM realizó una monitorización del comportamiento en servicio para comparar con la hélice convencional original. Por otra parte, HSVA realizó una observación de la cavitación a plena escala y mediciones de las fluctuaciones de presión y comparó con los resultados de los ensayos. Los resultados obtenidos han sido satisfactorios.

SISTEMAR ha participado subcontratado por CEHIPAR en el proyecto de I+D+i europeo “SILENV” (Ships oriented innovative solutions to reduce noise and vibrations), desarrollado entre 2009 y 2012 para estudiar la reducción de ruidos y vibraciones en buques y crear una etiqueta verde de buques silenciosos.

Dentro del ámbito de la convocatoria FP7 de la Unión Europea se ha realizado el proyecto “TRIple Energy Saving by Use of CRP, CLT and PODded Propulsion” (TRIPOD) (Pérez et al, 2013), con el objetivo de desarrollar y validar un nuevo concepto de propulsión para el ahorro energético de buques por medio de la combinación avanzada de tres tecnologías de propulsión existentes: propulsión azimutal tipo pod (POD), hélices CLT y hélices contra-rotativas (CRP). El proyecto comenzó en Noviembre 2010 y ha finalizado en Junio 2013. Los miembros del consorcio que han desarrollado el proyecto TRIPOD son ABB y VTT de Finlandia, AP Möller Maersk de Dinamarca y CEHIPAR, Cintrnaval-Defcar y SISTEMAR de España.

A lo largo del proyecto se han analizado diversas configuraciones del sistema propulsor. Se ha tomado como buque base para el proyecto el portacontenedores de

8.500 TEU “Gudrun Maersk”, de 351 m de eslora entre perpendiculares y con una MCR de 68.640 kW a 102 rpm, equipado con una hélice convencional de 8,95 m de diámetro y 6 palas.

Se ha diseñado en una primera fase una hélice CLT de 8,65 m de diámetro y 6 palas para comparar con el sistema de referencia y en una segunda fase, se ha modificado el sistema de referencia quitando el timón y poniendo en su lugar un sistema POD en configuración CRP, con diferentes combinaciones de hélices (convencional y CLT) y se han analizado y comparado con el sistema de referencia original. En una etapa final, representativa del caso de nueva construcción, se han optimizado las formas del buque directamente para ser equipado con un sistema CRP-CLT-POD.

Todas las configuraciones analizadas durante el proyecto mejoran el comportamiento de la hélice original, pero algunas de las soluciones tienen un retorno de la inversión demasiado elevado, por lo que no son viables para buques existentes.

El primer pedido de hélices CLT para buques de nueva construcción en China se confirmó a finales de 2012 y corresponde a una serie de cuatro LEG carriers de 12.000 m<sup>3</sup> construidos por Sinopacific Offshore & Engineering CO. LTD. para Greenship Gas de Singapur a través de la compañía subsidiaria Evergas de Copenhague.

El segundo pedido de hélices CLT en China se ha confirmado en Mayo 2014 y corresponde a dos bulkcarriers de 120.000 tpm de nueva construcción en el Astillero Shanhaiguan New Shipbuilding Industry

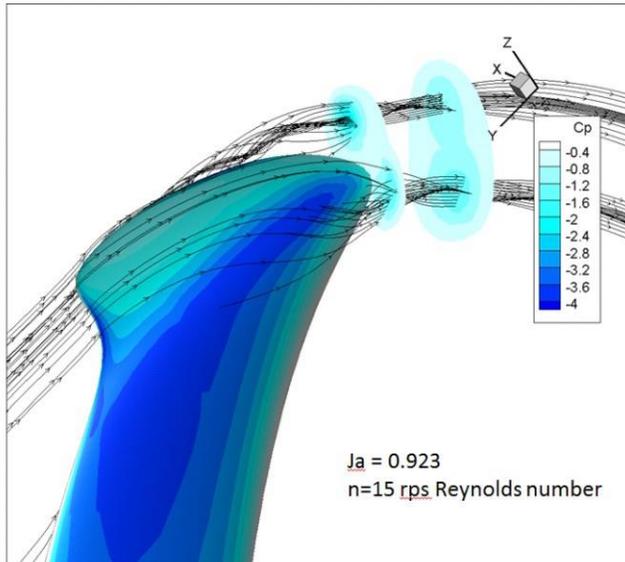
CO. LTD. para el Armador español Empresa Naviera Elcano. Las pruebas de mar con el primer barco están previstas para Junio 2015.

En Octubre 2014 se confirmó la decisión de instalar hélices CLT en dos quimiqueros de 19.800 tpm de nueva construcción en el Astillero Ningbo Xinle Shipyard para el Armador holandés De Poli Tankers. Las hélices de 5,45 m. de diámetro, 4 palas y 13,6 t. de peso están siendo construidas por YHC. El diseño ha sido aprobado por RINA y las pruebas con la primera unidad están previstas para Diciembre 2015.

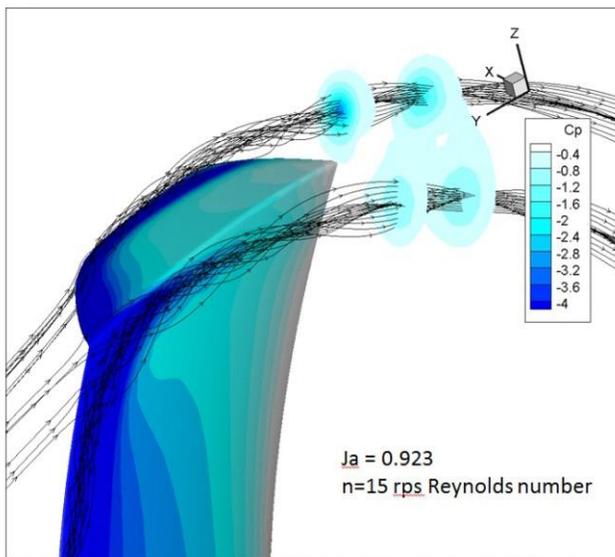
#### **4. PROGRAMA COINCIDENTE: NUEVA GENERACIÓN DE HÉLICES CLT OPTIMIZADAS PARA SU APLICACIÓN EN BUQUES MILITARES**

SISTEMAR ha realizado en 2012-2014 un proyecto de I+D+I con la Office of Naval Research (ONR) de la U.S. Navy y NSWCCD (Naval Surface Warfare Center Carderock Division) dentro del marco de los proyectos NICOP (González-Adalid, 2012), con el objetivo de demostrar que las hélices CLT pueden mejorar el rendimiento de las hélices de buques militares en un rango comparable al obtenido en buques mercantes sin sacrificar el comportamiento en cavitación. SISTEMAR ha desarrollado un diseño CLT y NSWCCD ha desarrollado un diseño TLP usando sus propias teorías de diseño. A continuación se representa la modelización CFD del flujo alrededor del extremo de la pala de una hélice CLT (ver Fig.4).

## Tip-vortex Visualization (TLP)



## Tip-vortex Visualization (CLT)



**Figura 4.** Modelización CFD del flujo alrededor del extremo.

Fuente: Elaboración propia

Se han construido sendos modelos en CEHIPAR y se han realizado ensayos de propulsor aislado y de cavitación, incluyendo medición de pulsos de presión, con especial interés en la inyección de cavitación. Por otra parte, se han realizado cálculos numéricos para ambos

diseños por NSWCCD y SISTEMAR/VTT usando códigos RANS para números de Reynolds del campo modelo y campo buque para comprobar los efectos de escala de este tipo de hélices (Pérez y González-Adalid, 2000) y (Pérez et al, 2005).

También en el marco del 7º Programa Marco de I+D de la Unión Europea y como continuación del proyecto SILENV se ha desarrollado el proyecto AQUO, que tiene como objetivos primordiales suministrar a la UE una potente herramienta para la gestión de la contaminación acústica submarina encaminada a la toma de decisiones sobre la ordenación del tráfico marítimo y crear unas guías de diseño para la reducción de la huella acústica de los buques de la flota.

SISTEMAR, diseñador exclusivo a nivel mundial de hélices CLT, ha realizado un esfuerzo continuado de innovación, desde su creación en 1987, mediante proyectos de I+D+i, estudios teóricos, aplicaciones experimentales y validación de resultados. La gran mayoría de sus aplicaciones han sido realizadas en buques mercantes, aunque existen algunas aplicaciones recientes en buques militares que han demostrado la conveniencia de optimizar los diseños para este tipo de buques. Para ello recientemente la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) del Ministerio de Defensa Español (MDE) ha aprobado un proyecto específico denominado “Optimización de las hélices CLT para operación en buques militares y demostración mediante ensayos del comportamiento en cavitación, presiones inducidas y ruido radiado”.

El objeto de este proyecto es adaptar el diseño de las hélices CLT para perfeccionar sus posibilidades de aplicación a las condiciones propulsivas de los buques

militares, de acuerdo con estos tres objetivos:

- Desarrollo de una nueva geometría de las palas de las hélices CLT, con especial atención a la forma de las placas de cierre.
- Adaptación de las herramientas de diseño incorporando de forma más sistemática procedimientos numéricos (Computer Fluid Dynamics – CFD) al proyecto y geometría de las hélices CLT.
- Optimización de las hélices CLT para la mejora de su comportamiento propulsivo con los requerimientos de los buques militares, en los que, además del rendimiento, son de gran importancia la cavitación, las presiones inducidas al casco y el ruido radiado.

El proyecto propuesto tiene una primera fase de extensión o adaptación de las herramientas de diseño de las hélices CLT para incorporar los requerimientos específicos de los buques militares; después hay que validar estos desarrollos con la selección de un demostrador que será sometido a un proceso de optimización; del óptimo seleccionado se construirá un modelo a escala y se realizarán ensayos en el Canal de Experiencias Hidrodinámicas. En él se prevé desarrollar nuevas herramientas de cálculo, diseño y análisis. Para ello se han establecido una serie de condicionantes y requisitos que cubra todo el rango de los objetivos propuestos partiendo de la recopilación y análisis de la información más reciente correspondiente a hélices CLT incluidas las aplicaciones en buques de la Armada, la revisión de los coeficientes de correlación y propuesta y validación de los procedimientos definitivos, el estudio de las relaciones de los parámetros básicos de diseño con el rendimiento y con la geometría de la línea media de las secciones de pala. Para posteriormente

llevar a cabo la definición de una nueva geometría CAD de la hélice, sus cálculos CFD y posterior validación mediante un exhaustivo test de ensayos que incluirá predicción de resultados de propulsor aislado y de cavitación. Una vez se obtengan éstos, se llevará a cabo el análisis y comparación de los cálculos con los de VTT y NSWCCD, para ser capaces de definir una nueva geometría de hélice, además de adaptar el proceso de cálculo CFD mediante variaciones sistemáticas de parámetros geométricos de pala-placa. A través de todo el proceso descrito se pretende seleccionar definitivamente un demostrador de hélice CLT óptima, su construcción en el CEHIPAR, realización de ensayos y validación de los resultados experimentales, para ser capaces de predecir los resultados de propulsor aislado en flujo libre y comparar con los calculados mediante CFD para Rn-modelo y Rn-buque para deducir efectos de escala.

El coordinador del proyecto será SISTEMAR, que estará encargado de la gestión global del proyecto, de la preparación de los desarrollos y adaptaciones de las hélices CLT para optimizar su comportamiento en las aplicaciones a buques militares y del análisis final de los resultados. Participarán en el desarrollo del proyecto el grupo de investigación del Canal de ensayos de la ETSIN-UPM, que como agente colaborador será el encargado de los desarrollos y adaptaciones de los procedimientos de cálculo numérico con la utilización de herramientas CFD. Y finalmente el CEHIPAR realizará los ensayos con modelos de las hélices CLT para validar los resultados de los cálculos realizados.

## 5. CONSIDERACIONES FINALES

Los desarrollos realizados en los últimos 40 años en la tecnología implicada en el diseño, ensayos, análisis, construcción, etc. de hélices con placas de cierre, confirman que la tecnología está madura y su aplicación conduce a importantes ventajas en el comportamiento de los buques tanto desde el punto de vista de rendimiento como de comportamiento en cavitación y niveles de ruidos y vibraciones.

La utilización de procedimientos de cálculo numérico está permitiendo dar un salto cualitativo en el diseño de las hélices con placas de cierre de manera que además de las ventajas anteriormente señaladas se optimice la interacción de la placa de cierre (Sánchez, González-Adalid y Pérez, 2012) y (Sánchez et al, 2014) con el flujo y se reduzcan sensiblemente los ruidos radiados al mar, lo que hace que esta tecnología sea especialmente adecuada para su aplicación en buques militares.

## REFERENCIAS

- Álvarez, P., Gallego, J., Serrano R., González-Adalid, J., García, J., Pérez, L., Cercós, J., Souto, A., (2009). La Hidrodinámica y la eficiencia energética en pesqueros: resultados del proyecto Superprop. Ingeniería Naval.
- ANAVE, (1991). Reunión sobre ahorro energético en la propulsión de buques. Hélices CLT. Ingeniería Naval.
- Boeta, R., (1994). Ship performance improved by fitting CP-CLT blades. The Motor Ship supplement.
- Boeta, R., (1996). Trasmediterranea fits first hydrofoil. The Motor Ship supplement.
- Cerrada, P., Soriano, J., Beltrán, P., Pérez, A., Pérez, G., González-Adalid, J., (2002). Conclusiones del programa especial de mediciones de vibraciones realizado en el Super-Fast Levante. Ingeniería Naval.
- Ferrer, J., (1987). Service data back tip loaded propeller claims. The Motor Ship.
- Gaggero, S., Brizzolara, S., (2011). End plate effect propellers: a numerical overview. Trabajo presentado en el IMAM 2011 XIV Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean.
- Gaggero, S., Viviani, M., Villa, D., Berletta, D., Vaccaro, C., Brizzolara, S., (2012). Numerical and experimental analysis of a CLT propeller cavitation behaviour. Trabajo presentado en el CAV 2012 8th International Symposium on Cavitation.
- Gennaro, G. y González-Adalid, J., (2012). Improving the propulsion efficiency by means of Contracted Loaded Tip (CLT) propellers. Trabajo presentado en el Society of Naval Architects and Marine Engineers SNAME SOME Symposium, Atenas, Grecia
- Gennaro, G., González-Adalid, J. y Folso, R., (2009). Contracted and Loaded Tip (CLT) Propellers: latest installations and experiences. Trabajo presentado en el 16th International Conference of Ship and Shipping Research NAV 2009, Mesina, Italia.
- González-Adalid, J., (2012). NICOP CLT Project:

- Energy efficient Contracted Loaded Tip (CLT) propellers for Naval ships. Infomarine Marine. 4-4.
- González-Adalid, J., Tuduri, J., (2012). CLT propellers: an efficient measure to reduce fuel consumption and ship emissions. InfoMarine.
- González-Adalid, J. y Gennaro, G., (2011). Contracted and Loaded Tip (CLT) Propellers experience. Trabajo presentado en el Ship Power Forum. ImarEST 2011, Londres, Reino Unido
- González-Adalid, J. y Gennaro, G., (2011). Latest experiences with Contracted and Loaded Tip (CLT) Propellers. Trabajo presentado en el XIV Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean IMAM 2011, Génova, Italia.
- Haimov, H., Vicario, J., Corral, J., (2011). RANSE code application for ducted and end plate propellers in open water. Trabajo presentado en el SMP'11. International Symposium on Marine Propulsors.
- Hollstein, H., (1995). Performance improvement of the orange juice carrier Bebedouro by means of a CLT propeller. The Motor Ship supplement.
- Hollstein, H., Pérez, G., González-Adalid, J., (1997). Bulkcarrier speed trials with a Sistemar CLT propeller. The Naval Architect.
- Hollstein, H., Pérez, G., González-Adalid, J., (1998). Before and after comparisons of a CLT propeller installation. The Naval Architect.
- Palao, L., Pérez, M., González-Adalid, J., (2012). Colaboración Cehipar-Sistemar para el desarrollo de las hélices de alto rendimiento y tecnología española CLT. Rotación.
- Pérez, G., (1976). Una innovación en el proyecto de hélices. Ingeniería Naval.
- Pérez, G., (1984). Application of a New Momentum Theory to the design of highly efficiency propellers having finite load at the blade tips. Trabajo presentado en el West European Conference of Marine Technology, París, Francia.
- Pérez, G., (1983). Correcciones de la teoría clásica de la impulsión y habilitación de la misma para el diseño de propulsores. Ingeniería Naval.
- Pérez, G., Baquerizo, I., González-Adalid, J., (1983). Aplicación de la Nueva Teoría de la Impulsión al diseño de propulsores. Comparación con la Teoría de las Líneas Sustentadoras. Ingeniería Naval.
- Pérez, G., González, F., Baquerizo, B., (1980). Some improvements of traditional Lifting Line Theory for ship propellers. International Shipbuilding Progress.
- Pérez, G., González-Adalid, J., (1993). First CLT propeller fitted in South Korea. The Motor Ship supplement.
- Pérez, G., González-Adalid, J., (1994). Contrarotating and tandem CLT propellers. Trabajo presentado en el Symposium Propellers'84, SNAME.
- Pérez, G., González-Adalid, J., (1994). Optimización del sistema propulsor de un buque utilizando la

Nueva Teoría de la Impulsión Generalizada. Ingeniería Naval.

- Pérez, G., González-Adalid, J., (1995). Tip Loaded Propellers (CLT). Justification of their advantages over conventional propellers using the New Momentum Theory. *International Shipbuilding Progress*, Vol.42, nº429.
- Pérez, G., González-Adalid, J., (1996). Consideraciones sobre la modelización matemática de la acción que la hélice ejerce sobre el agua. *Ingeniería Naval*.
- Pérez, G., González-Adalid, J., (1997). Optimization of the propulsion system of a Ship using the Generalized New Momentum Theory. Trabajo presentado en el West European Conference of Marine Technology Golden Medal Awards.
- Pérez, G., González-Adalid, J., (1998). Comparación entre lo comportamientos del panamax Powhatan con hélice convencional y con hélice CLT. *Rotación*.
- Pérez, G., González-Adalid, J., (1998). Detailed design of ship propellers. Fondo Editorial de Ingeniería Naval.
- Pérez, G., González-Adalid, J., (1999). Nuevo procedimiento para definir la geometría de las líneas medias de las secciones anulares de las palas de una hélice. Generalización de los desarrollos precedentes. *Ingeniería Naval*.
- Pérez, G., González-Adalid, J., (1999). Nuevo procedimiento para definir la geometría de las líneas medias de las secciones anulares de las palas de una hélice. *Ingeniería Naval*.
- Pérez, G., González-Adalid, J., (2000). Scale effects in the performance of a CLT propeller. *The Naval Architect*.
- Pérez, G., González-Adalid, J., García, A., Masip, J., Quereda, R., Pangusión, L., Minguito, E., Pérez M., Beltrán, P. y Galindo, C., (2006). Full scale comparison of a superferry performance fitted with both high skewed and CLT blades. Trabajo presentado en el World Maritime Technology Conference 2006, Londres, Reino Unido
- Pérez, G., Pérez, M., González-Adalid, J., García, A., Masip, J., Quereda R., Minguito, E., Beltrán, P., (2006). Un hito español en la propulsión naval: rentabilidad de un amplio programa de I+D+i. *Ingeniería Naval*.
- Pérez, L., Souto, A., González-Adalid, J., Alvarez, P., Merino, D., Cercós, J., (2007). Sobre la optimización de la propulsión en pesqueros y remolcadores en servicio. Trabajo presentado en la XX COPINA-VAL.
- Pérez, M., Aláez, J., García, A., Pérez, G., González-Adalid, J., (2000). Optimización de la propulsión de buques. Un proyecto español de I+D+i. *Ingeniería Naval*.
- Pérez, M., Minguito, E., García, A., Masip, J., Pangusión, L., Pérez, G. y González-Adalid, J., (2005). Scale effects in model tests with CLT propellers. Trabajo presentado en el 27th Motor Ship Propulsion Conference, Bilbao, España

- Pérez, M., Sánchez, A., Quereda, R., Masip, J., Nijland, M., Veikonheimo, T., Kokkila, K., González-Adalid, J. y Uriarte, A., (2013). TRIPOD: the development of a novel propulsion concept. Trabajo presentado en el 52º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima, Madrid, España.
- Quereda, R., Bobo, J., Pérez, M., Masip, J., González-Adalid, J., Veikonheimo, T., Sánchez, A., Uriarte, A., Nijland, M., Kokkila, K., (2013). Model test extrapolation for performance prediction of a CRP-POD propulsion unit. Trabajo presentado en el SMP'13. 3rd International Symposium on Marine Propulsors.
- Riola, J.M., (2011). Hélices con tecnología CLT en la popa del BAM. *Revista General de Marina*. 261, 701-710.
- Riola, J.M., Díaz, J.J., (2011). Hélices CLT: tecnología BAM. *Boletín de Observación Tecnológica de Defensa*. 2(31), 22-27.
- Ruiz, R., Pérez, G., (1981). Evolución de los propulsores TVF: proceso de diseño y primeros resultados experimentales. *Ingeniería Naval*.
- Ruiz, R., Pérez, G., (1981). Fuel saving from a new type of propellers. *Marine Propulsion*.
- Ruiz, R., Pérez, G., (1983). Full scale results of first TVF propellers. Trabajo presentado en el ISSHES' 83.
- Ruiz, R., Pérez, G., (1984). Service results with the TVF propeller duct system. Trabajo presentado en el 6th International Marine Propulsion Conference.
- Sánchez, A., (2012). Unsteady analysis of a CLT propeller using a lifting surface vortex-lattice method. Trabajo presentado en el MARNA 2012. International Conference on advances and challenges in Marine Noise and Vibration.
- Sánchez, A., González-Adalid, J. y Pérez, M., (2012). Study of end-plate shape variations for tip loaded propellers using a RANSE solver. Trabajo presentado en el 29th Symposium on Naval Hydrodynamics SNH 2012, Gotemburgo, Suecia
- Sánchez, A., González-Adalid, J., Pérez, M. y Saisto, I., (2014). Evaluation of end plate impact on tip loaded propeller performance using a RANSE solver. *International Shipbuilding Progress*. 61(1-2), 103-128.
- Sánchez, A., Sipila, T., Pylkkanen, J., (2011). Simulation of the incompressible viscous flow around an endplate propeller using a RANSE solver. Trabajo presentado en el 26th Symposium on Naval Hydrodynamics.
- Sendagorta, I., Uriarte, R., Pérez, G., González-Adalid, J., (1992). Mejoras en el Sierra Guadarrama con una hélice CLT. *Rotación*.
- Zatarain, G., (1991). Comportamiento del buque Guardo equipado con una hélice CLT. *Rotación*.
- Zatarain, G., (1992). Experience with retrofitting CLT propellers. Trabajo presentado en el 14th International Marine Propulsion Conference.

## INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

Todos los contenidos se encuentran disponibles en la página web de la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”:

<http://www.escuelanaval.edu.co>

La Revista Derrotero de la Ciencia y la Investigación tiene como fin divulgar conocimiento teórico y aplicado a todos los investigadores, estudiantes y profesionales interesados en temas de desarrollo científico y académico, en las áreas de Ingeniería Naval, Administración Marítima, Oceanografía Física, Ciencias Navales y Náuticas, Ciencias Básicas y Geopolítica.

La revista está abierta a investigadores nacionales y extranjeros y se publicarán artículos que no hayan sido divulgados, ni estén siendo considerados por otra revista para su publicación. Las opiniones expresadas en los artículos de esta revista son responsabilidad exclusiva de los autores.

### 1. GENERALIDADES

**1.1.** La revista Derrotero de la Ciencia y la Investigación recibirá solo artículos de investigación e innovación definidos por Publindex Colciencias, los cuales son documentos en los que el autor(es) presenta la producción original e inédita, resultado de procesos de investigación, reflexión o revisión, en las áreas mencionadas anteriormente.

**1.2.** Los artículos se deben remitir a los correos: [derrotero@enap.edu.co](mailto:derrotero@enap.edu.co) y [emejiac@enap.edu.co](mailto:emejiac@enap.edu.co). La aceptación de los artículos por parte del Comité Editorial, no implica que estos vayan a ser publicados. Además a estos correos se debe informar los datos de cada uno de los autores con nombres y apellidos completos, título universitario de pregrado y máximo nivel de formación obtenido, correo electrónico, cargo actual, nom-

bre de la institución o empresa donde trabaja actualmente, dirección de residencia u oficina, teléfono o celular, documento de identidad y fecha de nacimiento. Esta información se hace necesaria para el ingreso de información a las plataformas de bases bibliográficas y para registro de publicaciones de la revista.

**1.3.** La revista publica artículos en idioma español e inglés.

**1.4.** Al enviar un artículo, el autor debe hacer constar que éste es original e inédito, producto del mismo, que no ha sido publicado en otras revistas simultáneamente y que cita todas las fuentes usadas. El autor deberá diligenciar el formato “Carta de originalidad para artículos revista Derrotero” el cual se encuentra en la web <http://www.escuelanaval.edu.co/>, apartado publicaciones. Si son varios autores cada uno deberá remitir el formato.

**1.5.** El autor debe manifestar su aprobación a la publicación en la revista Derrotero y su cesión de derechos, diligenciando los formatos “Aprobación para publicar” y la “Cláusula de Cesión de los derechos patrimoniales de autor”, los cuales se encuentran en la web <http://www.escuelanaval.edu.co>, apartado publicaciones. Si son varios autores cada uno deberá remitir el formato.

**1.6.** Cada autor recibirá un ejemplar de la revista como reconocimiento a su aporte.

**1.7.** Todos los artículos deben llevar anexo en archivos separados, los las tablas, gráficos, dibujos y fotografías, en archivos .pdf, Tiff, JPG o Raw con un peso mayor a 2Mb. Las tablas y gráficos en Excel deben anexarse en los archivos Excel originales. De la misma manera fórmulas, deben anexarse en archivos separa-

dos en su versión original.

## 2. PROCESO DE DICTAMEN

Este proceso exige anonimato de los dictaminadores. A continuación se muestra el proceso de revisión por los pares a modo general para información de los autores:

**Fase 1:** El artículo recibido será analizado por el Editor de la Revista, que realizará la selección de acuerdo a los criterios establecidos. Una vez se tenga el artículo preseleccionado, pasará al Comité Editorial y en caso de ser aceptado será sometido a una revisión de por lo menos dos pares académicos evaluadores, bajo la modalidad de doble ciego, los cuales emitirán sus conceptos en forma separada para el autor acuerdo el formato propuesto para esto.

**Fase 2:** Si el concepto de los pares académicos evaluadores es favorable, el artículo se remite nuevamente al autor para que realice las correcciones, en caso de que existiesen.

**Fase 3:** Finalmente el Editor presenta ante el Comité Editorial el artículo revisado y tomará la decisión para su publicación luego de haber recibido el formato de aceptación a publicar por parte del autor. Además, una vez aceptado el artículo para su publicación, el autor transferirá los derechos a la ENAP por medio de un Acta de Sesión de Derechos, de acuerdo con lo estipulado por la Dirección Nacional de Derechos de Autor de Colombia. El Comité Editorial entiende que las opiniones expresadas por los autores son de su exclusiva responsabilidad.

## 3. INSTRUCCIONES PARA LA DIGITACIÓN

**3.1.** Los artículos deben ser presentados usando el procesador de texto Word, hoja tamaño carta, a dos columnas, fuente Times New Roman 12, las márgenes serán: superior, inferior y derecha 2,5 cm; mientras que la margen izquierda será de 3,0 cm, interlineado 2.

**3.2.** La alineación de los párrafos en el documento deberá ser justificado. Se debe utilizar sangría de 5 espacios en la primera línea de cada párrafo y sangría francesa para todas las referencias. El espaciado entre cada línea que conforma el párrafo deberá ser doble.

**3.3.** No se debe hacer doble “enter” entre párrafo y párrafo. Se mantiene todo con el mismo interlineado de dos puntos. Para identificar que se inicia un párrafo nuevo, se utilizará la sangría anteriormente mencionada.

**3.4.** En cuanto al uso de viñetas, solo será permitido el uso del punto y la línea. No se puede utilizar otro tipo de viñeta.

**3.5.** La extensión del título no podrá superar las 30 palabras, en negrilla y centrado al texto, debajo aparecerán los nombres y apellidos de los autores (nota al pie de la página, los títulos académicos, afiliación institucional y localidad).

**3.6.** Se debe escribir resumen en castellano y en inglés (con una extensión no superior a 150 palabras). Un máximo de 10 palabras clave en castellano y en inglés.

**3.7.** La extensión del artículo debe ser mínima de 8 páginas y máxima de 10. (Extensiones menores o mayores conllevarán a la no evaluación del artículo).

**3.8.** Para la numeración de páginas, se deberá hacer empezando por la primera hoja, es decir por la hoja en donde se encuentra el título. Se utilizarán números 1, 2, 3...

**3.9.** La numeración debe ir en la parte superior a la derecha.

**3.10.** La redacción del texto debe realizarse en forma impersonal, con la siguiente estructura:

**3.10.1. Introducción:** Esta debe explicar el problema, partiendo de lo general a lo específico, resolviendo la hipótesis del estudio; debe ser presentada de una manera atractiva para el lector.

**3.10.2. Metodología:** Se describe el diseño de la investigación y se explica cómo se llevó a la práctica. La elección de los métodos, técnicas e instrumentos, se deben justificar.

**3.10.3. Resultados:** Se mencionan los resultados del estudio, resaltando los hallazgos relevantes, inclusive si éstos son contrarios a los objetivos propuestos. Deben presentarse utilizando texto, tablas e ilustraciones.

**3.10.4. Conclusiones:** Se requiere examinar las implicaciones de los hallazgos, sus limitaciones y sus proyecciones en futuras investigaciones. Estas deben estar enlazadas con los objetivos planteados.

**3.11.** Las figuras e imágenes deben tener alta resolución y deben estar tituladas en la parte inferior. Estos títulos deben estar centrados y numerados correlativamente con letra Times New Roman cursiva a tamaño 10.

**3.12.** Evitar las notas de pie de página; en caso de ser muy necesarias deben contener solamente aclaraciones o complementos del trabajo que, sin afectar la continuidad del texto, aporten información adicional que el autor considere indispensable incluir.

## 4. CITACIONES Y REFERENCIAS

Las referencias bibliográficas corresponderán a los textos citados o referenciados en el cuerpo del artículo y sólo aparecerán al final del mismo; cada cita y referencia debe cumplir con la última versión de las Normas APA (a la fecha Versión 6). A continuación se indican criterios importantes (para más información consultar la Norma APA):

### 4.1. Citas en el texto

El apellido del autor y la fecha de la obra se incluyen en paréntesis dentro de la oración. Si la oración incluye el apellido del autor, sólo se escribe la fecha entre paréntesis. Si no se incluye el autor en la oración, se escribe entre paréntesis el apellido y la fecha.

*Ej: La situación climática de la Isla de Cabo Verde puede ser influenciada por los patrones ambientales en las zonas más vulnerables a contaminaciones químicas (López, 2007).*

Si la obra tiene más de dos autores, se cita la primera vez con todos los apellidos. En las menciones subsiguientes, sólo se escribe el apellido del primer autor, seguido de la frase et al.

*Ej: Los algoritmos implementados en los métodos de control avanzado fueron experimentados en 1988 por Molina, Pérez y Castro. (Quiroga, De La Manchada, Turco,*

2008).

*Ej: En cuanto al desempeño de un motor fuera de borda controlado multi-aleatoriamente, Quiroga et al. (2008) encontraron que su rendimiento es directamente proporcional a la temperatura.*

Si son seis o más autores, se utiliza et al. Desde la primera mención.

## 4.2. Lista de Referencias

Una lista de referencias incluye sólo las fuentes que sustentan nuestra investigación y que se utilizaron para la preparación del trabajo. Estas deben tener un orden alfabético por la primera letra de la referencia y si son obras de un mismo autor se ordenan cronológicamente.

Es importante tener en cuenta que cada referencia tiene el formato de párrafo francés (hanging indent) y a espacio y medio.

Los documentos electrónicos no deben incluir el nombre de la base de datos donde se encontró el artículo, pero sí en el caso de las tesis y los libros electrónicos. Además estos no incluyen la fecha en que se recuperó el artículo y no se les escribe punto después de la dirección Web (URL).

Formas básicas para libros completos:

*Apellidos, A.A. (Año). Título. Ciudad. Editorial*

*Apellidos, A.A. (Año). Título. Recuperado de <http://www.xxxxx.xxx>*

# DERROTERO

1  
5  
9

Revista de la Ciencia y la Investigación de la  
E.N.A.P.

*Formato de Canjes*

Journal of Science and Research of  
E.N.A.P.

*Swap Form*

Nombres:

Apellidos:

Dirección:

Ciudad:

País:

Teléfono:

Celular:

Correo Electrónico:

Afiliación Institucional:

Nombre de la Revista de Institución con la que  
se hace el canje:

Edición Revista:

Names:

Last names:

Adress:

City:

Country:

Home phone:

Mobile Phone:

Email:

Institucional asociación:

Name of the Journal of institution with which the  
swap is made:

Journal Edition:

Firma:

Signature:

Favor llenar este formato debidamente diligenciado a la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”; Cartagena, Colombia en la siguiente dirección: Bosque Manzanillo, Decanatura Académica – Centro de Investigaciones Científicas ENAP, o a las direcciones de correo electrónico: [derrotero@enap.edu.co](mailto:derrotero@enap.edu.co); [emejiac@enap.edu.co](mailto:emejiac@enap.edu.co)

La Revista Derrotero de la ENAP se publica anualmente.

Please send this form and annotations to Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”, Cartagena, Colombia; in the following address: Bosque Manzanillo, Decanatura Académica – Centro de investigaciones Científicas ENAP, or the following email address: [derrotero@enap.edu.co](mailto:derrotero@enap.edu.co) or [emejiac@enap.edu.co](mailto:emejiac@enap.edu.co)

Derrotero Journal of the ENAP is published annually.

*Cláusula de Cesión de los Derechos Patrimoniales del autor*

Cedente:

---

Cesionario: Revista Seriado Derrotero de la Ciencia y la Investigación de la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. ISSN 2027-0658

Yo \_\_\_\_\_ en calidad de autor del artículo titulado \_\_\_\_\_ que se publicará en la Edición No. \_\_\_\_\_ de la Revista Derrotero de la ENAP, manifiesto que cedo a título gratuito la totalidad de derechos patrimoniales de autor derivados del artículo en mención a favor de la citada publicación.

El cedente declara que el artículo es original y que es de su creación exclusiva, y no existe impedimento de ninguna naturaleza para la cesión de derechos que está haciendo y responderá además por cualquier acción de reivindicación, plagio y otra clase de reclamación que al respecto pudiera presentarse.

En virtud de la presente cesión, el Cesionario queda autorizado para copiar, reproducir, distribuir y publicar el artículo objeto de la cesión, por cualquier medio digital, electrónico o reprográfico, y está obligado a respetar en todo caso los derechos morales del autor, contenidos en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982.

Se firma en señal de aceptación a los \_\_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Firma

---

Cedente

*Secession of Patrimonial Rights of the Author*

Assignor:

---

Assignee: Revista Seriada Derrotero, de Ciencia e Investigación de Escuela Naval “Almirante Padilla”. ISSN 2027-0658

I \_\_\_\_\_ in quality of author of the article titled: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ that will be published in the edition No. \_\_\_\_\_ of  
the Journal Derrotero de la ENAP, manifest that I cede to the gratuity title all of the patrimonial rights of author derived of the article in mention thanks to the publication cited.

The assignor declares that the article is original and that it is of his/her exclusive creation, and that no impediment exists for the cession of rights that he/she is making, and will respond furthermore for any reindictive action, plagiarism or other type of reclamation that could present itself.

In virtue of the present cession, the Assignee remains authorized to copy, reproduce, distribute, and publish the article object to the cession, through any digital media, electronic, or reprography, and is obliged to respect in all cases the moral rights of the author contained in article 30 of law 23 of 1982.

To be signed in signal of acceptance on the \_\_\_\_ day of the month of \_\_\_\_\_ of \_\_\_\_\_

Signature

---

Assignor

## SUSCRIPCIONES

**Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”**  
Centro de Investigaciones Científicas

*SUSCRIPCIONES*  
Revista Derrotero  
De la Ciencia y la Investigación  
ISSN 2027-0658  
www.escolanaval.edu.co

Por favor diligenciar el formato,  
escanearlo y enviarlo a:  
derrotero@enap.edu.co  
Asunto: Suscripción a la Rev. Derrotero  
De la Ciencia y la Investigación - ENAP

Por la presente deseo suscribirme a la Revista Derrotero de la Ciencia y la Investigación, publicada por la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”, en Cartagena, Colombia.

Names:

Last Names:

Ocupation:

Email:

Institution:

Job Title:

Street Address:

City:

Country:

Home phone:

Mobile phone:

Teléfono:

Celular:

## SUBSCRIPTIONS

**Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”**  
Centro de Investigaciones Científicas

*SUBSCRIPTIONS*  
Derrotero  
Science and Research Journal  
ISSN 2027-0658  
www.escolanaval.edu.co

Please fill out the following format,  
scan it, and send it to:  
derrotero@enap.edu.co  
Subject: Subscription Derrotero  
Science and Research Journal - ENAP

I hereby request a subscription to Derrotero /Science and Research Journal, published by the Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”, in Cartagena, Colombia.

Nombres:

Apellidos

Dirección

Ciudad:

País:

Profesión:

Dirección electrónica:

Cargo:

Código postal:

Ciudad:

País:

Teléfono:

Celular: