



# INGENIERÍA naval

REVISTA DEL SECTOR MARÍTIMO

[sectormaritimo.es](http://sectormaritimo.es)

AÑO XCIII · N°1030 · ENERO · 2024



# 63<sup>rd</sup> International Congress of Naval Architecture, Marine Technology and Maritime Industry

Madrid, 24<sup>th</sup>-26<sup>th</sup> April, 2024



TRANSFORMING  
OCEANS:

INNOVATION and naval architecture for  
a **CONNECTED** and **SUSTAINABLE** world



# MONEDAS DE COLECCIÓN

tienda.fnmt.es



## 250 Aniversario de JORGE JUAN

EMISIÓN 2023



Metal: plata 925  
Peso: 27 g  
Diámetro: 40 mm  
Tirada: 6.000 uds.

**PVP: 72,60 €**

PLATA PROOF



Julián Llorente  
C/ Espoz y Mina, 15  
28012 - Madrid  
Tel: 659 806 460

Lamas Bolaño  
C/ Gran Vía, 610  
08007 - Barcelona  
Tel: 93 270 10 44  
www.lamasbolano.com

Edifil  
C/ de Carvajales, 3  
28005 - Madrid  
Tel: 91 366 70 30

También en:  
Comercios Numismáticos  
y Filatélicos

Visite el Museo de la  
Real Casa de la Moneda  
C/ Dr. Esquerdo, 36

La Tienda del Museo  
C/ Dr. Esquerdo, 36  
28009 - Madrid  
Tel: 91 566 65 42  
91 566 67 92

\* Precios válidos en el momento de la publicación del anuncio, que podrán ser modificados en función de las cotizaciones de los metales o los impuestos aplicables.



# Redacción

N.º 1030 • ENERO • 2024

Revista editada por la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España.  
**Fundada en 1929 por Aureo Fernández Ávila, I.N.**

## **PRESIDENTE DE AINE Y DE LA COMISIÓN DE LA REVISTA**

Diego Fernández Casado, I.N.

## **VOCALÉS DE LA COMISIÓN DE LA REVISTA**

Francisco Pérez Villalonga, Dr. I.N.

Jesús Valle Cabezas, Dr. I.N.

Luis Guerrero Gómez, Dr. I.N.

Raúl Villa Caro, Dr. I.N.

## **REDACCIÓN**

Verónica Abad Soto, I.N. (Redactora Jefe)

## **PUBLICIDAD**

revista@sectormaritimo.es

## **ADMINISTRACIÓN**

Noemí Cezón López

## **DIRECCIÓN**

Castelló, 66 - 28001 Madrid

Tels.: 915 751 024 / 915 771 678

e-mail: revista@sectormaritimo.es

www.sectormaritimo.es

## **DISEÑO Y MAQUETACIÓN**

DiseñoPar Publicidad S.L.U.

parpubli@parpubli.com

www.parpubli.com

## **IMPRESIÓN**

Imedisa Material de Oficina, S.L.

Tel: 914861606

## **SUSCRIPCIÓN ANUAL**

### **SUBSCRIPTION FEE (2024):**

Electrónica general 80,00 €

Electrónica estudiantes 40,00 €

Papel + electrónica 100,00 €

(sólo España)

SUSCRÍBETE AQUÍ:  
sectormaritimo.es



**AÑO XCIII • N.º 1030**

**enero 2024**

**Publicación mensual**

**ISSN: 0020-1073**

**Depósito Legal: M 51 - 1958**

**REVISTA DEL SECTOR MARÍTIMO**



## **NOTAS:**

No se devuelven los originales. La Revista de Ingeniería Naval es una publicación plural, por lo que no necesariamente comparte las opiniones vertidas por sus colaboradores en los artículos, trabajos, cartas y colaboraciones publicados, ni se identifica con ellos, y sin que esta Revista, por su publicación, se haga en ningún caso responsable de aquellas opiniones. Los firmantes de los artículos, trabajos, cartas y colaboraciones publicados son autores independientes y los únicos responsables de sus contenidos. Se permite la reproducción de nuestros artículos indicando su procedencia, pero no la distribución de la revista por ningún tipo de medio (electrónico y/o físico).

## **CONSEJO TÉCNICO ASESOR**

D. Francisco de Bartolomé Guijosa  
D. Manuel Carlier de Laval  
D. Diego Colón de Carvajal Gorosabel  
D. Luis Francisco García de España  
D. Víctor González  
D. Rafael Gutiérrez Fraile  
D. José María de Juan-García Aguado  
D. José Antonio Lagares Fernández  
D. Nandi Lorensu Jaesuria  
D. Agustín Montes Martín  
D. Francisco Javier del Moral Hernández  
D. Miguel Ángel Palencia Herrero  
D. José Esteban Pérez García  
D. Mariano Pérez Sobrino  
D. Gerardo Polo Sánchez  
D. José María Sánchez Carrión  
D. Jesús Valle Cabezas  
D. Fernando Yllescas Ortiz

# Sumario

Nº 1030 • ENERO • 2024

## 6. artículo técnico

“Reducción de resistencia por microburbujas aplicado a la propulsión marina”,  
por P. López Gavilán; A. García-Magariño;  
S. Sor Mendi

## 24. transición energética

“Tendencias y preferencias: la opinión de los armadores españoles sobre los combustibles alternativos y las tecnologías de mejora de la eficiencia energética a bordo”,  
por F. Marcos; L. Calvo

## 34. conectados

## 35. construcción naval

## 40. actualidad

## 46. coyuntura del sector naval

“CONFLICTOS. Estrechos y canales: desafío al transporte marítimo y a la economía mundial”,  
por J-E. Pérez García

## 60. tribuna

“El nacimiento del Astillero del Arsenal de Ferrol. (I parte)”,  
por José M<sup>a</sup>. de Juan-García Aguado

## 77. guía de empresas

## 60 tribuna

El nacimiento del Astillero  
del Arsenal de Ferrol







# 38

## construcción naval

Cotenaal, Armón Vigo y bound4blue involucradas en el nuevo buque de Tuhaa Pae



# 46

## coyuntura del sector naval

CONFLICTOS.  
Estrechos y canales:  
desafío al transporte  
marítimo y a la  
economía mundial



# 43

## actualidad

La capacidad mundial de cruceros  
crecerá un 19% hasta 2028

## Editorial

A pocos días de que finalice el plazo de presentación de ponencias al 63º Congreso Internacional de Ingeniería Naval e Industria Marítima, creemos oportuno dedicar estas líneas al evento de este año que tendrá lugar del 24 al 26 de abril en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de Madrid, bajo el lema “Transformando océanos: innovación e ingeniería naval para un mundo conectado y sostenible”. Un lema que es una llamada a la acción para seguir trabajando al servicio de la sociedad, conectado al mundo, desarrollando soluciones creativas y responsables, y liderando el cambio para crear un legado duradero para las generaciones futuras. En esta nueva edición, volveremos a poner sobre la mesa la importancia de la ingeniería naval, en particular, y del sector marítimo, en general, a través del análisis en cuatro áreas temáticas principales: defensa, eólica marina, mercante - buques especiales - cruceros y pesca. El 63 Congreso tomará el relevo de las conclusiones volcadas en su predecesor, que recordemos apuntaron un futuro del sector naval marcado por la innovación, la diversificación, la sostenibilidad integral y la aspiración a la soberanía nacional, tecnológica, alimentaria y energética, y la imperiosa necesidad de acercar a los más jóvenes a la ingeniería naval y al resto de profesiones que conforman el sector marítimo.

Iremos actualizando próximamente  
toda la información del Congreso en:

[www.63congreso.ingenierosnavales.com](http://www.63congreso.ingenierosnavales.com)



El I Simposio de Buques Históricos, que tendrá lugar en la misma sede del 63º Congreso, los días 24 y 25 de abril, ha generado un interés tan significativo que ha llevado a ampliar la duración y la capacidad inicialmente planificadas. En total serán 24 ponencias divididas en los cinco siguientes grupos temáticos: La protección de buques y embarcaciones históricas en la legislación; Historia y tecnología de buques históricos relevantes; Pecios singulares y su investigación/recuperación; La ingeniería naval forense aplicada a buques históricos y Otra investigación histórica naval.

# Reducción de resistencia por microburbujas aplicado a la propulsión marina

ADELAIDA GARCÍA-MAGARIÑO, Dr. Ingeniero Aeronáutico, INTA-CEHIPAR

SUTHYVANN SOR MENDI, Dr. Ingeniero Aeronáutico, INTA



PABLO LÓPEZ GAVILÁN, Dr. Ingeniero Industrial, INTA-CEHIPAR

Trabajo presentado en el 62 Congreso Internacional de Ingeniería Naval e Industria Marítima, celebrado en Bilbao del 24 al 26 de mayo.

## ÍNDICE

1. Introducción
2. Estado del arte
3. Estudio teórico
  - 3.1. Planteamiento del problema
  - 3.2. Modelo de esfuerzo de cortadura como consecuencia de la presencia de una mezcla bifásica no miscible en la capa límite
  - 3.3. Modelo de los esfuerzos viscosos derivados de la aplicación de técnicas MBDR en la capa límite de propulsores marinos
  - 3.4. Desarrollo teórico del impacto sobre el empuje de técnicas MBDR en propulsores marinos
  - 3.5 Resultados y discusión
4. Estudio experimental
  - 4.1. Experimento base
  - 4.2. Dispositivo de reducción de inestabilidad en la superficie libre
  - 4.3 Resultado y discusión
5. Conclusiones
6. Agradecimientos
7. Referencias

## RESUMEN

Reducir la resistencia en buques supone un ahorro de combustible y de emisión de contaminantes, ayudando con ello a la descarbonización. De entre las técnicas en estudio actualmente se encuentra la técnica de reducción de resistencia viscosa por inyección de microburbujas en la superficie. Esta técnica se utiliza normalmente en la superficie del casco. No obstante, recientemente se ha iniciado una línea de investigación sobre la aplicación de dicha técnica en los propulsores marinos que propulsan las plataformas. Se ha revisado la literatura existente y se ha estudiado el problema desde un punto de vista de mecánica de fluidos fundamental, diseñando para ello pequeños experimentos. Se presenta la idea conceptual de la nueva línea de investigación, contextualizada en la literatura existente, así como los experimentos diseñados.

## ABSTRACT

*Reducing the resistance in ships means saving fuel and polluting emissions, thereby helping decarbonization. Among the techniques currently under study is the technique of reducing viscous resistance by injection of microbubbles on the surface. This technique is normally used on the hull surface. However, a line of research has recently begun on the application of this technique in the propellers.*



*Existing literature has been reviewed and the problem has been studied from a fundamental fluid mechanics point of view, designing small experiments for it. The conceptual idea of the new line of research is presented, contextualized in the existing literature, as well as the experiments designed.*

## 1. Introducción

La reducción del consumo energético y la eficiencia energética de vehículos marítimos ha constituido un campo de estudio activo y de interés por parte de la industria desde la adopción por parte de la IMO (International Maritime Organization) en 2013 del EEDI (Energy Efficiency Design Index). En concreto se establece que los buques de nueva construcción deben cumplir con un nivel de eficiencia energética vinculado a la tipología del mismo. Además, se establece un incremento en las restricciones gradual cada 5 años. Se plantea como objetivo para el periodo de 2025 una reducción en el consumo de combustible del 30%. La organización no establece ninguna restricción tecnológica, permitiendo la adopción de tecnologías innovadoras a la hora de alcanzar los objetivos.

Esta reducción de consumo en el tráfico marítimo también figura en el paquete de medidas «Objetivo 55» de la Unión Europea

donde se incluyen las emisiones vinculadas al mismo dentro del régimen de comercio de derechos de emisión. Respecto a los mismos se ha establecido una reducción en la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) del 75%. Además, la IMO establece a través de la aplicación de los indicadores de intensidad de carbono (CII) y el plan de gestión de la eficiencia energética del buque (SEEMP) un instrumento para calibrar los efectos y examinar la implantación de nuevas tecnologías.

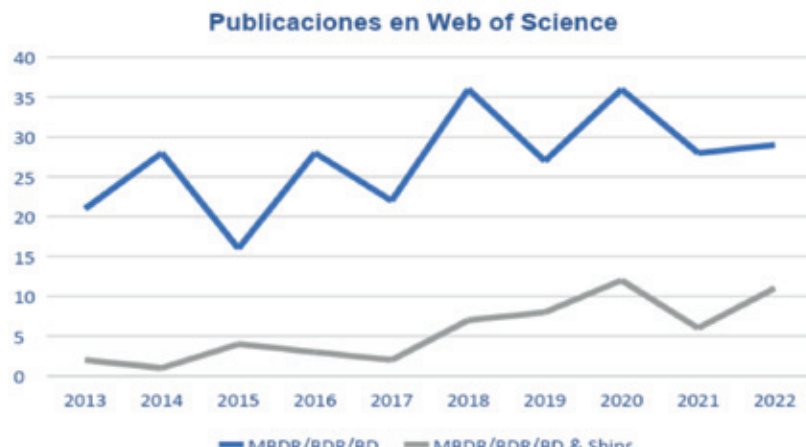
Una de las fuentes de consumo energético y por tanto de emisión de contaminantes es la resistencia viscosa (por rozamiento), la cual en función de la plataforma naval puede llegar a suponer hasta un 80% de la resistencia total al avance [1]. Debe entre los métodos de reducción de resistencia viscosa, cabe destacar los mecanismos de reducción de resistencia hidrodinámica por inyección de gas [2- 4]. La lubricación por inyección de burbujas (BDR) y microburbujas (MBDR) en la capa límite turbulenta se ha mostrado recientemente como una técnica prometedora para la reducción de resistencia en buques [4].

Una búsqueda bibliográfica en la Web of Science con las palabras clave “Microbubble Drag Reduction” (MBDR), “Bubble Drag Reduction” (BDR), o “Bubbly Drag” (BD) y excluyendo los fenómenos de burbujas

**Figura 1.1. Resultados búsqueda bibliográfica en la Web of Science con las siguientes palabras clave: MBDR= “Microbubble Drag Reduction”, BDR= “Bubble Drag Reduction”, o DR= “Bubbly Drag”.**



Figura 1.2. Resultados búsqueda bibliográfica en la Web of Science con las siguientes palabras clave: MBDR= “Microbubble Drag Reduction”, BDR= “Bubble Drag Reduction”, o DR= “Bubbly Drag”.



de recirculación muestra un total de 459 entradas, de las cuales 148 incluyen además la palabra “Experimental” y 84 están relacionadas con buques (incluyen las palabras “Ship”, “Vessel”, “Boat”, “Frigate” o “Barge”). La figura 1.1 muestra la evolución durante los últimos 10 años del número de publicaciones relacionadas con la reducción de resistencia por inyección de microburbujas (según la búsqueda anterior), indicando cuantas de ellas tenían un carácter experimental. Puede observarse que se vienen publicando una media de 27 publicaciones anuales, de las cuales 10 tienen carácter experimental. La figura 1.2 indica además cuantas de las publicaciones estaban relacionadas con buques. Puede verse claramente en la figura 1.2 como el número anual de publicaciones totales y de las relacionadas con buques tiene una tendencia creciente en los últimos 10 años.

En relación al impacto de las microburbujas en la reducción de la resistencia hidrodinámica, uno de los principales problemas es que de acuerdo a resultados experimentales, ésta depende de la fracción de vacío local [5-6] y de la modificación de la transferencia de momento por parte de las estructuras turbulentas como consecuencia de las burbujas [7-11], siendo un parámetro muy relevante su tamaño en comparación a la escala turbulenta. Actualmente, no existe por tanto aun

un marco teórico firme que explique la complejidad de los mecanismos observados [12]. A lo anterior se unen nuevas observaciones experimentales que parecen indicar que la reducción de resistencia se vería beneficiada por una inyección intermitente vinculada a una frecuencia relacionada con la longitud de recuperación turbulenta [13-14].

El estudio de MBDR se presenta por tanto como un campo de investigación muy activo dado el interés científico básico y su aplicabilidad en el campo naval. Es en este contexto donde surge la nueva línea de investigación del INTA enmarcada en el proyecto BIFLOWPROP, donde no solo se aplica el concepto de reducción de resistencia por microburbujas en buques, sino que además se aplica a los propulsores marinos. Este artículo resume los principales avances dentro de este proyecto. Primeramente, en el apartado 2, se mostrará un resumen del estado del arte actual sobre la técnica de reducción de resistencia por inyección de microburbujas y sus fundamentos, para lo cual se presentarán algunos resultados, principalmente experimentales, recogidos en la literatura. Después, en el apartado 3, se desarrolla de forma teórica el resultado de aplicar esta técnica a los propulsores marinos, permitiendo discutir sobre su aplicación. Más tarde, en el apartado 4 se describirán los primeros experimentos realizados hasta la fecha



para el estudio fundamental del problema. Finalmente, en el apartado 5, se resumirán las conclusiones.

## 2. Estado del arte

Existe mucha controversia en la literatura acerca de los fundamentos de la reducción de resistencia por inyección de burbujas en la capa límite. Es por ello que numerosos estudios se han dedicado al estudio fundamental del problema. Uno de los primeros modelos simplificados desarrollados es el de Legner [5]. Legner [5] parte de la hipótesis de que los esfuerzos de Reynolds se pueden asumir proporcionales al gradiente de difusión,  $\overline{U'V'} = -q\Lambda \partial \overline{U}/\partial y$  (siendo  $q^2$  la energía turbulenta y  $\Lambda$  la escala turbulenta) y de que en presencia de burbujas disminuyen, no pudiendo despreciarse la viscosidad molecular para construir el esfuerzo de cortadura, que quedaría como  $\tau = (\mu + \rho q\Lambda) \partial \overline{U}/\partial y$ , si bien para el caso de fluido monofásico sí podría despreciarse. El autor aplica las siguientes hipótesis: la presencia o no de fase gaseosa no modifica el gradiente de velocidad en regiones cercanas a la pared, se utilizan las relaciones empíricas del aumento de la viscosidad como consecuencia de presencia de fase gaseosa del artículo Sibree [15] y la reducción de la viscosidad de torbellino en la mezcla es función de la fracción de vacío ( $\alpha$ ). Como resultado se obtiene la relación final de reducción del esfuerzo viscoso,

$$\frac{\tau_I}{\tau} = 10^{-3} \left(1 - 1.09\alpha^{\frac{1}{3}}\right)^{-1} + (1 - \alpha) \frac{q_1 \Lambda_1}{q\Lambda}$$

que se relaciona con un balance entre la reducción de densidad de la mezcla, el aumento de la viscosidad de la suspensión y la modificación de la turbulencia en la capa límite. Este modelo entra en contradicción con observaciones posteriores.

A partir del modelo de Legner [5], Kim & Cleaver [6] estudian la relación de los da-

tos de experimentos de inyección porosa en función del parámetro adimensional  $C_v = Q_a / (Q_a + Q_w)$  siendo  $Q_a$  y  $Q_w$  el caudal volumétrico de aire y agua respectivamente. Los autores centran el análisis sobre la capa límite, considerando que  $Q_w = 0.122b U_\infty x Re_x^{-1/7}$  siendo  $b$  el ancho de la región porosa,  $U_\infty$  la velocidad del flujo libre,  $x$  la distancia al punto de inserción y  $Re_x$  el número de Reynolds en el flujo libre. Considerando el análisis de Legner [5], donde el ratio de reducción de resistencia (DR) es función de la fracción de vacío local, los datos deben correlacionar con la relación  $Re_x^{6/7} / Re_{vi}$ , siendo  $Re_{vi} = Q_a / (bu)$ . Los autores encuentran que los datos experimentales colapsan en la siguiente relación  $DR = 1 - \exp(-0.055 Re_x^{6/7} / Re_{vi})$ , siendo DR igual al ratio de reducción de resistencia. Se debe tener en cuenta que el colapso descrito está relacionado con dos series experimentales.

Más tarde, Murai et al [7] estudiaron en una instalación de canal hidrodinámico horizontal el mecanismo de reducción de resistencia hidrodinámica ante la presencia de burbujas de distintas dimensiones. El canal utilizado era de 6.000 mm de longitud, 100 mm de ancho y 10 mm de altura y se ensayó a velocidades de 1 m/s, 1,5 m/s y 2 m/s, distintas fracciones de vacío y varios diámetros de burbuja,  $d$ . Para burbujas de gran tamaño ( $d = 20$  mm, 5 mm, 1mm) inyectadas mecánicamente, los autores concluyen que la inserción de burbujas y la modificación de la densidad media no se traducen en una reducción del coeficiente de fricción si la estructura de la capa límite no se ve afectada. Además detectan que para fracciones de vacío bajas, inicialmente se produce un incremento en el coeficiente de fricción y que empieza a reducirse para fracciones de vacío altas (>10%). Bajo estas condiciones los autores estudian la evolución de los esfuerzos con el tiempo y encuentran periodos de reducción vinculados a flujos secundarios en la región posterior de las burbujas que

deslizan sobre la pared. En el caso de burbujas de tamaño intermedio,  $d \sim 1\text{mm}$ , los autores observaron una cinemática compleja de las burbujas, encontrando que el empuje, la flotabilidad y las fuerzas de inercia inducen un movimiento oscilatorio normal a la pared complejo. Por otro lado, se generaron microburbujas ( $1\text{ }\mu\text{m} < d < 80\text{ }\mu\text{m}$ ) por electrólisis a través de una placa de electrodos instalada en la región superior del canal. Los autores además indican que se debe evitar la utilización de electrodos en base a cables o barras cilíndricas por interferir en el flujo de forma significativa, afectando a la capa límite y sobreestimando el DR. Se llegan a alcanzar porcentajes del 20% de DR para  $\alpha = 0,02\%$ , encontrando mayor sensibilidad a la fracción de vacío cuanto mayor es la burbuja. De los experimentos además los autores no son capaces de observar directamente el porqué de la reducción del esfuerzo de Reynolds, si bien concluyen, al igual que otros autores, que debe estar vinculado a la atenuación de las estructuras coherentes turbulentas en la capa límite.

Por su parte, Dominguez-Ontiveros et al. [16] estudian el efecto de la fracción de vacío local de microburbujas de  $30\text{ }\mu\text{m}$  en agua en la reducción de resistencia hidrodinámica, utilizando distintos sistemas de medida de esfuerzos de cortadura sobre la pared. Para ello, los autores se sirven de una instalación de canal hidrodinámico de dimensiones  $4.800\text{ mm} \times 206\text{ mm} \times 56\text{ mm}$  (L x W x H) fabricado en acrílico que emplea un método de altura de columna de agua constante (consistente en un depósito sobreelevado que repone volumen a través de una bomba sumergida en un tanque de remanso) para impulsar el agua. Las microburbujas son generadas a través de electrólisis por un hilo de platino a  $100\text{ mm}$  de la sección de medida. El canal esta instrumentado por un medidor de caudal, un transductor de presión de reluctancia que mide la diferencia de presión en

dos puntos separados  $23\text{ cm}$ , un transductor óptico Doppler de medida de esfuerzos de cortadura y un sistema PIV con un área total de medida de  $1\text{ cm}^2$  y una resolución de  $9\text{ }\mu\text{m}$ . Si bien los autores indican un DR del 10% para una fracción de vacío del 2,4%, lo más interesante del artículo es su análisis en cuanto a las distintas técnicas de medida. Por un lado, el sistema PIV/PTV tiende a sobrestimar el DR, dotándonos de una mayor resolución espacial pero una pobre resolución temporal. En cuanto al sistema óptico, si bien los autores dotan de información para eliminar frecuencias vinculadas a la presencia de burbujas, encuentran limitación del método para elevados valores de fracciones de vacío, aunque por otro lado ofrece muy buena resolución temporal. Por último, el sensor de presión ofrece buena sensibilidad pero pobre resolución temporal, y los autores concluyen que es un método razonable de medida al no requerir de sembrado.

Posteriormente Hassan y Gutiérrez-Torres [8] emplean la misma instalación experimental bajo las mismas condiciones para estudiar en detalle el efecto de la presencia de microburbujas en distintas fracciones de vacío sobre la capa límite y su correlación con el DR. Los autores ensayan para fracciones de vacío locales en la capa límite  $\alpha < 0,05$  alcanzando valores de DR de hasta el 38%. Los autores se centran en la región  $20 < y^+ < 60$ , donde encuentran un incremento en la magnitud de la intensidad turbulenta normal y de las rms de las fluctuaciones de velocidad turbulentas a medida que se aumenta el DR. Estas condiciones parecen indicar que los mecanismos de reducción son distintos que los relacionados con partículas sólidas. Los autores indican además que este aumento está relacionado con la reducción de los esfuerzos de cortadura en la pared como consecuencia de la reducción de los esfuerzos de Reynolds relacionados con una decorrelación entre las velocidades de fluctuación  $u'$  y  $v'$  que lleva



a reducir  $u'v'$ . Para interpretar mejor los resultados se analiza también las modificaciones de vorticidad que deben decrecer con la reducción de los esfuerzos de Reynolds. La vorticidad se estima en base a los resultados del PIV donde se ve su reducción con la fracción de vacío, y el aumento del DR se relaciona con el mecanismo de “vortex stretching”. El resultado es una reducción en la producción de energía turbulenta en la pared y una modificación en la escala integral de las estructuras turbulentas. Para estudiar esto último se trabaja sobre el coeficiente de correlación normalizada de la velocidad entre dos puntos en  $y^+ = 17,4$ .

Wu et al. [17] realizan un estudio paramétrico de factores que afectan al DR en una instalación de canal hidrodinámico vertical aplicando el método Taguchi. La instalación de canal hidrodinámico vertical, de longitud 3.600 mm, ancho 150 mm, y altura 15 mm estaba llena de agua destilada. El agua es impulsada a través de una bomba centrífuga a velocidades desde 4 m/s hasta los 7 m/s. Dado que la capa límite queda totalmente desarrollada a 1000 mm de la entrada, la inyección de aire se realiza por un compresor a 1.200 mm a través de un medio poroso fabricado con virutas de cobre (2 y 10  $\mu\text{m}$  en función del tamaño de burbuja). Se toman medidas de la resistencia sobre la pared a través de un transductor no especificado. Los autores varían el volumen de aire inyectado, el área de inyección de aire y el tamaño de las burbujas para realizar un barrido paramétrico de los factores que afectan al DR y su interacción. Se recoge también la velocidad del flujo. Los autores encuentran que una inyección excesiva de aire genera una reducción del DR como consecuencia de una destrucción de la capa límite turbulenta. Por otro lado, cuanto menor sean las burbujas mejor será el DR. No obstante, no incluyen dispositivos de medida de tamaño y el análisis es meramente cualitativo. Encontraron

un valor óptimo para la combinación de parámetros de este montaje, obteniéndose un DR medio del 21.6% para el intervalo de velocidades dado.

Por su parte, Oishi et al. [18] emplean una instalación de túnel hidrodinámico para estudiar la influencia que las fluctuaciones de la fracción de vacío tienen sobre la respuesta de reducción de resistencia hidrodinámica y su persistencia en el tiempo. Para ello se sirven de una instalación en túnel hidrodinámico con dimensiones 6000 mm x 160 mm x 20 mm fabricado en acrílico. La inyección de burbujas se realiza a través de un sistema de inyección por compresor a través de 140 tubos capilares de diámetro interior 0.1 mm que producen burbujas de diámetro medio 0.7 mm en el seno de aceite de silicona. Los autores sincronizan la filmación de las burbujas por PTV a través de una cámara de alta velocidad a 1.000 fps con un transductor de esfuerzos de cortadura mecánico de 3,9 mN y 30 Hz de frecuencia de adquisición montada en una placa alineada con el canal. Los autores extraen las trayectorias de las burbujas y además correlacionan los valores de la fracción de vacío con el esfuerzo de cortadura variando la velocidad del flujo y el gasto de aire en el compresor. Como resultado concluyen que, para las burbujas ensayadas en flujo laminar y transicional, las burbujas presentan DR negativos. Para flujos en origen turbulentos, elevado  $Re$ , las burbujas generan un DR del orden del 9%. Por otro lado, el análisis de la correlación entre el DR y  $\alpha$  parece indicar el carácter no estacionario de la interacción entre las dos fases. Por tanto, la reducción de resistencia podría verse beneficiada por una inyección intermitente vinculada a esta frecuencia de advección. Estos resultados serían reflejados y extendidos en una publicación posterior de los autores [19].

Relacionado con el análisis de Hassan y Gutiérrez-Torres [8], uno de los estudios más

importantes es el de Paik et al. [9] donde estudian con una metodología rigurosa el DR en relación a los efectos de las microburbujas sobre la capa límite y su influencia sobre los esfuerzos de Reynolds a través de visualizaciones de la misma. Para ello se sirven de la instalación de túnel de cavitación del KROSI (Korean Research Institute of Ships and Ocean Engineering) con una sección de ensayos rectangular de dimensiones 2.600 mm x 600 mm x 600 mm donde se instala una placa plana horizontal de acero con dimensiones 2.000 mm x 400 mm x 10 mm. Se hace circular agua a velocidades comprendidas entre 1 y 3 m/s. En la placa se instala un inyector de burbujas a través de tres toberas con un ángulo de  $15^\circ$  respecto de la horizontal. La medida de esfuerzos de cortadura se realiza a través de un sensor “Multibeam” Doppler con respuestas en frecuencia de 50 kHz y áreas de medida de 100 mm. Para estudiar el comportamiento de las burbujas se aplica la técnica de imagen en sombra a través de una cámara de alta velocidad con resolución 1.024x1.024 pixeles grabando entre 12.000 fps y 40.000 fps con una óptica de microscopio que permite obtener un área de interés por debajo del  $\text{mm}^2$ . Para la medida del campo fluido se emplea dos sistemas PIV distintos. Para el fluido monofásico se emplea la cámara previamente indicada en combinación con un láser pulsado de 200mJ. Posteriormente se aplica un análisis de correlación con ventana de interrogación de 32 x 32 pixeles. Se obtienen en total 400 campos de velocidades instantáneos. Para evitar daños en la cámara por reflexión de láser y tomar datos a 12.000 fps se realizó un análisis PIV sobre un área de interés de 17 mm x 14 mm iluminado por un sistema láser de 4W. El tamaño de las burbujas era de 3-5 pix. Los autores encontraron que un DR máximo del 15 % aparecía para velocidades de 1,5 m/s. La explicación la encontraron en la reducción del espesor de la capa límite a consecuencia del aumento de velocidad.

Los autores encontraron también que la velocidad en sentido de la corriente de la fase gaseosa aumenta con respecto al caso monofásico en la “buffer layer” ( $10 < y^+ < 200$ ). En relación con esto último, los autores remarcan el interés de futuros trabajos centrados en esa región. Los autores estudian los cuadrantes  $v'$  y  $u'$  para el fluido monofásico y bifásico centrándose en los cuadrantes de producción de turbulencia ( $2^\circ$  y  $4^\circ$ ). Las conclusiones son que la inserción de burbujas mitiga el módulo del producto  $u'v'$  en los cuadrantes de producción y lo aumenta en los cuadrantes disipativos. Posteriormente a través del sistema de imagen estudian la influencia de la fracción de vacío en la capa viscosa y en la capa de amortiguamiento (“buffer” layer) y llegan a la conclusión de que el pico de fracción de vacío local se encuentra a 1,5 m/s que coincide con el pico de DR. Los autores encuentran también que el aumento de velocidad dificulta la incorporación de burbujas en la capa límite. Por otro lado destacan que si bien la concentración de burbujas en la capa límite es un parámetro vinculado al DR, el evento de movimiento vertical de las burbujas se muestra como un mecanismo efectivo para la reducción de resistencia hidrodinámica.

Por último, otro artículo muy interesante es Park et al. [10] en el cual emplean un sistema de visualización codificada en color sobre las micro-burbujas y estructuras turbulentas para estudiar su interacción y los efectos sobre la resistencia hidrodinámica. La instalación consiste en un canal hidrodinámico horizontal lleno de agua de dimensiones 3.485 mm x 180 mm x 253 mm donde se desplaza agua a números de  $Re < 2,3e04$ . El agua desemboca en un tanque de desgasificación y el caudal se regula con la bomba de impulsión y un caudalímetro. El sistema de inyección consiste en un electrodo de hilo embebido en una placa de material dieléctrico de 675 mm x 203 mm x 5 mm que sirve de superfi-



Artículo relacionados	Datos instalación				Fluido	Sistemas de medida						
	Sección	Impulsión	Dim. (LxWxH en mm)	Re_v		Generación burbujas (tamaño burbujas)	deltaP	Esfuerzos cortadura	Imagen de burbujas	Campo Velocidades	Detalles campo	Fracción vacío
Dominguez-Ontiveros et al. [16]	Rectangul ar/ Horizontal	Columna agua cte. (2 m)	4800x206x56	5128	Agua	Electrolisis, hilo de platino (30 $\mu$ m 25mA)	Sensor reluctanci a (1000 Hz)	Optical shear stress (LDV)	-	PIV/PTV (1008x1018 px) 0.3Hz + Pulsado 7ns	1 cm x 1cm, Ventana de interrogacion 20 x 20 px	Herramient a imagen (volumen fases)
Hassan & Gutierrez-Torres	Rectangul ar/ Horizontal	Columna agua cte. (2 m)	4800x206x56	5128	Agua	Electrolisis, hilo de platino (30 $\mu$ m 25mA)	Sensor reluctanci a (1000 Hz)	Optical shear stress (LDV)	PTV CCD 1007 x 1007 px a 60 fps - Double exposure(1KHz)	PIV/PTV (1008x1018 px) 0.3Hz + Pulsado 7ns	1 cm x 1cm, Ventana de interrogacion 20 x 20 px	Herramient a imagen (volumen fases)
Oishi et al.	Rectangul ar/ Horizontal	Bomba de impulsión	6000x160x40	[1103, 4425]	Aceite de Silicona	Inyección a traves de agujas capilares por compresor (0.7 mm)	-	Mecánico S10W-43.9 mN y 30 Hz	PTV CCD 1024 x 1024 px a 1000 fps - 1/20000s/ AOI: 53.8 mm x 53.8 mm	-	-	Herramient a imagen (volumen fases)
Murai et al. [7]	Rectangul ar/ Horizontal	Bomba de impulsión	6000x100x10	[5e03, 1e04]	Agua	Inyección por compresor (20-1 mm)/Electrolisi s placa de electrodos (1-80 $\mu$ m)	-	Mecánico	PTV	-	-	Herramient a imagen (volumen fases)
Wu et al.	Vertical/ Horizontal	Bomba de impulsión	3600x150x15	[3e04, 5.2e04]	Agua destilad a	Inyección a traves de medio poroso por compresor	-	Mecánico	-	-	-	Estimación de gasto inyector y area de inyección
Paik et al.	Túnel de cavitación	Impulsión	2600x600x600	[1.5e05, 4.5e05]	Agua	Inyección en tres toberas de 2 mm (100 $\mu$ m)	-	Optical shear stress (LDV)/20KHz 100mm	PTV CCD 800 x 600 px a 12000 fps - 40000 fps/ AOI < 1 mm	PIV Pulsado 200 mJ + PIV continuo 4W	14 x 14 mm <sup>2</sup> , Ventana de interrogacion 32 x 32 px	Herramient a imagen en BL (volumen fases)
Park et al.	Rectangul ar/ Horizontal	Bomba de impulsión	3485x180x253	<2.3e4	Agua	Electrolisis, hilo embebido (30 $\mu$ m)	-	-	Visualización codificada en color	-	-	-

**Tabla 2.1. Resumen Experimentos Otros Autores**

cie sobre la que generar la capa límite y que se encuentra a 175 mm del lateral del canal. La placa incorpora un borde afilado de 30° en la cara oculta. Las burbujas generadas tienen un diámetro medio de 30  $\mu$ m y se encuentran en el intervalo de 10-50  $\mu$ m. Para la visualización de las estructuras turbulentas se diluyen micro-partículas de estructura cristalina que se alinean con la dirección principal del tensor de deformaciones. Estas partículas bajo la iluminación de un CW láser LED de 532 nm combinada con un cámara de alta velocidad permiten la visualización de las estructuras turbulentas. Además se dispone de una iluminación volumétrica codificada usando un proyector de cristal líquido (LCDP) que combinado con una cámara de alta velocidad a 500 fps a 110° permite

la visualización de las mismas. Se encontraron nubes de microburbujas acumuladas preferentemente a rayas de baja velocidad cerca de la subcapa viscosa y vórtices en forma de horquilla en la capa de amortiguamiento, lo que lleva a una difusividad reducida de las microburbujas en relación con la difusividad del momento turbulento.

Un resumen de los estudios experimentales descritos anteriormente puede verse en la Tabla 2.1, en la que pueden verse detalles de las dimensiones de las instalaciones utilizadas, el tamaño de burbujas generadas, el tipo de fluido empleado y las técnicas experimentales empleadas. Como puede verse en la Tabla 2.1, estos estudios mencionados involucran únicamente instalaciones del

tipo de canales o túneles de cavitación. No obstante, autores como Fokoua et al. [20], afirman que los flujos del tipo Taylor-Couette son considerados valiosos a la hora de estudiar el problema de reducción de resistencia por microburbujas. Dichos flujos se generan por la rotación de un cilindro en el interior de otro cilindro concéntrico de mayor tamaño, en los que se inyectan burbujas en el hueco entre ambos cilindros.

### 3. ESTUDIO TEÓRICO

#### 3.1. Planteamiento del problema

La principal novedad de este trabajo es la posible aplicación de la técnica de reducción de resistencia viscosa por inyección de microburbujas (MBDR) en la capa límite en propulsores dentro del ámbito naval. En este apartado, se muestra consecutivamente el desarrollo teórico de dicha aplicación basado en la literatura existente a través de los siguientes pasos:

- Modelo de esfuerzo de cortadura como consecuencia de la presencia de una mezcla bifásica no miscible en la capa límite.
- Modelo de los esfuerzos viscosos derivados de la aplicación de técnicas MBDR en la capa límite de propulsores marinos.
- Desarrollo teórico del impacto sobre el empuje de técnicas MBDR en propulsores marinos.

Cada apartado está basado en un conjunto de simplificaciones e hipótesis incluidas, que permiten realizar una primera aproximación al problema y establecer un marco teórico sobre el que discutir acerca del problema planteado.

#### 3.2. Modelo de esfuerzo de cortadura como consecuencia de la presencia de una mezcla bifásica no miscible en la capa límite.

Para modelar la reducción de los esfuerzos de cortadura debido a la presencia de micro-

burbujas en la capa límite, nos servimos del análisis recogido en Park et al [13] donde los autores redefinen la ecuación de cantidad de movimiento para la capa límite sobre una placa plana bajo las siguientes hipótesis:

1. La densidad de la mezcla,  $\rho_{eq}$ , en la capa límite es función lineal de la fracción de volumen de las fases,  $f(x,y,t)$ , en la misma:

$$\rho_{eq} = \rho f(x, y, t) \quad (3.1)$$

$$f(x, y \geq \delta, t) = 1; \quad f(x, 0, t) = 0$$

Siendo  $\rho$  la densidad de la fase líquida y  $\delta(x)$  es el espesor de la capa límite.

2. La viscosidad no se modifica respecto del fluido monofásico  $\mu_{eq} = \mu = \text{cte}$ .

3. Las condiciones de contorno son por tanto:

$$U(x, \delta, t) = \overline{U_p} = \text{cte}; \quad V(x, \delta, t) = V = \text{cte}; \quad (3.1)$$

$$U(x, 0, t) = V(x, 0, t) = 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} = 0$$

Por tanto la ecuación de cantidad de movimiento en su forma diferencial quedaría como:

$$\rho \left( \frac{\partial f u}{\partial t} + \frac{\partial f u^2}{\partial x} + \frac{\partial f u v}{\partial y} \right) = \mu \frac{\partial u^2}{\partial y^2} \quad (3.3)$$

Tras una serie de manipulaciones y aproximaciones, la ecuación 3.3 toma la forma:

$$\frac{\partial}{\partial t} (U_\delta \delta (1 - \alpha_\delta)) + \frac{\partial}{\partial x} (U_\delta^2 \delta (1 - \alpha_\delta)) = -\frac{\tau_w}{\rho} - V \overline{U_\infty} \quad (3.4)$$

Donde  $\tau_w$  son los esfuerzos viscosos sobre la placa. Por otro lado,  $\alpha_\delta$  y  $U_\delta$  son las cantidades promedio en la capa límite para la fracción de vacío y la velocidad definidas como:

$$\alpha_\delta(x) = \frac{1}{\delta(x)} \int_0^{\delta(x)} (1 - f(x)) dy \quad (3.5)$$

$$U_\delta(x) = \frac{1}{\delta(x)} \int_0^{\delta(x)} u dy \quad (3.6)$$

Si consideramos en primera aproximación el caso de capa límite estacionaria, con  $V/\bar{U}_\infty < 1$ ,

$$\frac{\partial}{\partial x}(U_\delta^2 \delta (1 - \alpha_\delta)) = \frac{\partial}{\partial x}(U_\delta^2 \delta) - \frac{\partial}{\partial x}(U_\delta^2 \delta) \alpha_\delta - U_\delta^2 \delta \frac{\partial \alpha_\delta}{\partial x} = -\frac{\tau_w}{\rho} \quad (3.7)$$

Sabemos que, para el caso monofásico, la fracción de vacío  $\alpha_\delta=0$ , resolviendo:

$$\frac{\partial}{\partial x}(U_{\delta_0}^2 \delta_0) = -\frac{\tau_{w0}}{\rho} \quad (3.8)$$

Después de todo el desarrollo se justificará un modelo de correlación para los esfuerzos viscosos en pared de la forma:

$$\tau_w(x) = \left( \frac{\partial}{\partial x}(C_0 U_\delta^2 \delta) - \frac{\partial}{\partial x}(C_1 U_\delta^2 \delta) \alpha_\delta - C_2 U_\delta^2 \delta \frac{\partial \alpha_\delta}{\partial x} \right) \quad (3.9)$$

Para conseguir la igualdad  $\tau_w(x) = \tau_{w0}(x)$  para  $\alpha_\delta=0$

$$\tau_w(x) = \tau_{w0}(x) \left( 1 - G_1 \alpha_\delta(x) - G_2 \frac{d\alpha_\delta}{dx} \right) \quad (3.10)$$

Donde  $G_1$  y  $G_2$  son parámetros experimentales que se pueden obtener del artículo de los autores. El resultado es que si bien  $\alpha_\delta$  es siempre mayor que cero su  $d\alpha_\delta/dx$  es menor que cero si no existe aporte adicional de aire en la capa límite al ser  $d\delta/dx > 0$  por la propia definición de la fracción de vacío. Una conclusión directa bajo estas hipótesis es que un cambio brusco en la fracción de vacío puede llevar a un aumento de  $\tau_w(x)$  respecto de su valor base para,

$$\frac{d\alpha_\delta}{dx} < -\frac{G_1 \alpha_\delta}{G_2} \quad (3.11)$$

Por otro lado, la disminución de la fracción de vacío a medida que nos desplazamos aguas abajo provoca una pérdida de rendimiento en la reducción de esfuerzos viscosos.

### 3.3. Modelo de los esfuerzos viscosos derivados de la aplicación de técnicas MBDR en la capa límite de propulsores marinos

En primer lugar, nos centraremos en las siguientes simplificaciones y criterios para

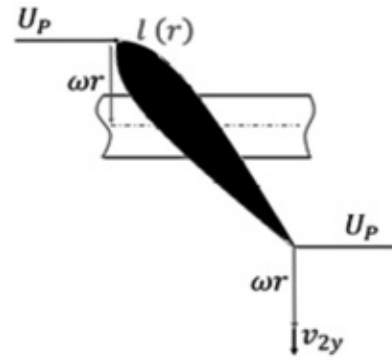


Figura 3.1. Esquema y notación sobre el elemento de pala

modelar el efecto de las burbujas sobre la capa límite del propulsor:

1. La velocidad media sobre una sección del perfil  $\bar{U}_p(r)$  se extrae directamente del balance de trabajo sobre un elemento de pala del propulsor, considerando  $r$  la componente radial tal que  $r \in [R_0, R_f]$  siendo  $R_0$  el radio del núcleo de la hélice y  $R_f$  el radio de la punta de pala.

$$\bar{U}_p(r) = \sqrt{U_p^2 + \left( \frac{2\omega r + v_{2y}}{2} \right)^2} \quad (3.12)$$

Siendo  $V_p$  la velocidad de la corriente incidente sobre el borde de ataque, que se presupone uniforme en todo el disco y  $\omega$  la velocidad de rotación del propulsor y  $v_2$  la velocidad de la corriente deflectada. Véase figura 3.1

2. El coeficiente de resistencia viscosa de un perfil aerodinámico perfectamente adherido, se puede obtener de la expresión, Schlichting y Gersten [21]:

$$C_{D\delta} = \frac{2dD}{\rho \bar{U}_p^2 l dr} = \frac{2\delta_{2TE}(r)}{l(r)} \left( \frac{\sqrt{U_p^2 + (\omega r + v_{2y}(r))^2}}{\bar{U}_p(r)} \right)^{(0.12+5)Re/2} \quad (3.13)$$

Donde  $\delta_{2TE}$  es la suma de los espesores de cantidad de movimiento en el borde de salida suponiendo una placa plana de longitud



igual a la cuerda del perfil  $l(r)$ .  $U_{TE}$  es la velocidad en el borde de salida y  $H_{12}$  un factor de forma función de la capa límite en el borde de salida. El resultado directo es que el déficit de cantidad de movimiento generado por la capa límite influye directamente en la estela y por tanto afectará al empuje efectivo del propulsor derivado del balance de cantidad de movimiento del sistema. La resistencia por unidad de longitud será:

$$dD = \rho \bar{U}_p^2 \delta_{2TE}(r) \left( \frac{\sqrt{U_p^2 + (\omega r + v_{zy}(r))^2}}{\bar{U}_p(r)} \right)^{(H_{12}+5)TE/2} dr \quad (3.14)$$

3. Considerando que a bajos ángulos de ataque la resistencia por forma es del orden  $< 10\%$  de la resistencia por fricción viscosa, en primera aproximación es razonable suponer que la resistencia tiene su origen en las fuerzas viscosas y nos permite modelar el coeficiente de resistencia del propulsor de número de palas,  $N_{palas}$ , a partir de la ecuación 3.14 como el promedio sobre toda su longitud.

$$C_{Dp} = \frac{2D_p}{\rho V_p^2 A_p} = \frac{2D_{pp}}{\rho V_p^2 A_p} + \frac{2D_{\tau_w}}{\rho V_p^2 A_p} \approx \frac{2N_{palas} \int_{R_0}^{R_f} dD dr}{\rho V_p^2 A_p} \quad (3.15)$$

Para obtener el coeficiente de resistencia vamos a resolver por tanto la capa límite turbulenta sobre una placa plana con longitudes  $x \in [0, l(r)]$ . Partimos de las siguientes hipótesis:

1. Como indicamos previamente el flujo es turbulento en toda la pala y se considera que esta perfectamente adherido. Además, el perfil es esbelto y por tanto  $\delta \in l$ . Donde  $\delta$  es el espesor de la capa límite definido como el punto donde  $u = 0.99 \bar{U}_p(r)$ , siendo  $\bar{U}_p(r)$  la velocidad en el flujo libre y que al tratarse de un valor medio se considera constante sobre toda la unidad de longitud del elemento de pala.

2. Todos los valores serán por tanto valores medios por sección. Bajo estas condiciones

podemos aproximar a gradiente de presiones nulo y velocidad constante por lo que podremos utilizar la aproximación a partir de la integral de Karman:

$$\frac{d\delta_2}{dx} = \frac{C_f}{2} = \frac{2\tau_w(x)}{\rho \bar{U}_p^2} \quad (3.16)$$

Siendo  $\delta_2$  el espesor de cantidad de movimiento en la capa límite y  $\tau_w(x)$  los esfuerzos viscosos de la capa límite sobre la pared de la placa plana

Siguiendo el análisis de Mäkiharju et al. [22] es posible representar el perfil de velocidades en la capa límite del fluido multifase bajo la ley exponencial:

$$\frac{u}{\bar{U}_p} = \eta^{1/n} \quad (3.17)$$

Donde  $u$  es la velocidad en componente tangente a la superficie del perfil esbelto y  $\eta = y/\delta$  la variable de semejanza en dirección perpendicular. Los valores de  $n$  para el caso turbulento oscilan según Mäkiharju et al. [22] entre  $n \sim 5$  y  $n \sim 8$ . Podemos integrar para obtener el espesor de desplazamiento,  $\delta_1$ , y espesor de cantidad de movimiento,  $\delta_2$ , a través de la ecuación 3.17:

$$\delta_1 = \int_0^\delta \left( 1 - \frac{u}{\bar{U}_p} \right) dy = \delta \int_0^1 (1 - \eta^{1/n}) d\eta = \frac{1}{n+1} \delta \quad (3.18)$$

$$\delta_2 = \int_0^\delta \frac{u}{\bar{U}_p} \left( 1 - \frac{u}{\bar{U}_p} \right) dy = \delta \int_0^1 \eta^{1/n} (1 - \eta^{1/n}) d\eta = \frac{n}{(n+1)(n+2)} \delta \quad (3.19)$$

El factor de forma de la capa límite se define como el cociente:

$$H_{12} = \frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{n+2}{n} \quad (3.20)$$

Por último, queda resolver  $\delta_2$  a través de la ecuación 3.15 que toma la forma:

$$\delta_2 = \int_0^l \frac{C_f}{2} dx = \frac{1}{\rho \bar{U}_p^2} \int_0^l \tau_w(x) dx \quad (3.21)$$

Si consideramos el problema de una sola fase, para la capa límite turbulenta en placa plana bajo las hipótesis indicadas es posible resolverlo considerando que  $n=7$  y  $C_{f_\delta}=0.0205Re_\delta^{-1/6}$  donde  $Re_\delta$  es el número de Reynolds local función de  $\delta(x)$ . Sustituyendo en base a las definiciones previas se llega a los esfuerzos viscosos del flujo turbulento de un fluido monofásico sobre una placa plana:

$$\tau_{w0}(x) = \rho \bar{U}_p^2 0.01385 Re_x^{-1/7} \quad (3.22)$$

Donde  $Re_x$  es el número de Reynolds local función de  $x$ . Si consideramos que la estructura de la capa límite permanece inalterada (hipótesis se encuentra discutida en la literatura ante la falta de consenso entre distintos autores) se puede sustituir la ecuación 3.22 en 3.10 dándonos el esfuerzo viscoso de la mezcla:

$$\tau_w(x) = \rho \bar{U}_p^2 0.01385 Re_x^{-1/7} \left( 1 - G_1 \alpha_\delta(x) - G_2 \frac{\partial \alpha_\delta(x)}{\partial x} \right) \quad (3.23)$$

A través de la ecuación 3.22 será posible integrar la ecuación 3.20 para obtener el espesor de cantidad de movimiento  $\delta_2 = \delta_{2TE}$ , que junto al factor de forma de la capa límite  $H_{12}$  y variables dinámicas y constructivas del propulsor  $V_p$ ,  $l(r)$ ,  $\omega$  y  $v_{2y}$  permite resolver 3.15 y con ella 3.21:

$$dD = f(\alpha_\delta, d\alpha_\delta/dx, r, V_p, \omega, \text{Geometría propulsor}) \quad (3.24)$$

Podemos definir el déficit global de cantidad de movimiento como consecuencia de la capa límite aguas abajo del propulsor como:

$$\Delta CM_\delta = N_{palas} \int_{R_0}^{R_f} dD dr \quad (3.25)$$

### 3.4. Desarrollo teórico del impacto sobre el empuje de técnicas MBDR en propulsores marinos

Basándonos en la bien conocida teoría de cantidad de movimiento axial, se concibe el rotor como un sistema actuador a través del

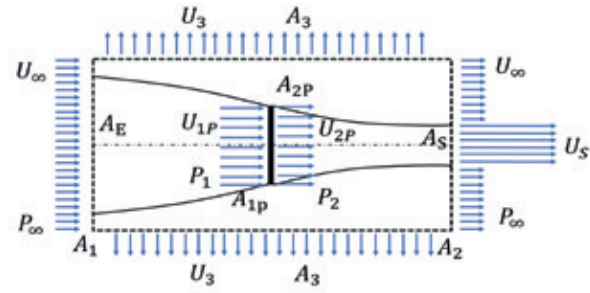


Figura 3.2. Dominio fluido del problema

cual se produce un incremento de presión de carácter uniforme. Supondremos las siguientes hipótesis en primera aproximación:

- El fluido es incompresible  $\rho = \text{cte}$  y no viscoso.
- El flujo a través del disco actuador está definido como un tubo de corriente.
- Se considera que no se imparte rotación al flujo.
- Aguas arriba y aguas abajo nos encontramos con la presión estática  $P_\infty$ .

En primer lugar, vamos a definir el dominio fluido como se muestra en la figura 3.2. Nuestro volumen de control está representado por las áreas  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$ , siendo  $A_1 = A_2$ . Dicho volumen estará definido por el tubo de corriente que atraviesa el disco actuador encontrando las áreas  $A_E$ ,  $A_S$  y  $A_{1P} = A_{2P} = A_P$  siendo las correspondientes a la entrada, salida y disco actuador respectivamente.

Recurriendo a la ecuación de conservación

$$U_\infty A_1 - U_\infty (A_1 - A_S) - U_S A_S + U_3 A_3 = 0 \quad (3.26)$$

$$\dot{m}_3 = U_3 A_3 = A_S (U_S - U_\infty) \quad (3.27)$$

Donde  $U_S$  es la velocidad de salida del fluido a través del disco actuador y  $U_\infty$  la velocidad de entrada a nuestro volumen de control. Se aplica la hipótesis de  $U_3 = U_\infty$ . Resolvemos el balance de cantidad de movimiento:

$$\frac{T}{\rho} = U_\infty^2 A_1 - U_\infty^2 (A_1 - A_S) - U_S^2 A_S + U_3 A_3 U_\infty \quad (3.28)$$

Sustituyendo 3.27 en 3.28, llegamos a:

$$\frac{T}{\rho} = U_{\infty}^2 A_S - U_S^2 A_S + A_S (U_S - U_{\infty}) U_{\infty} = A_S U_S (U_S - U_{\infty}) \quad (3.29)$$

Que por continuidad en el tubo de corriente  $A_p U_p = A_{\infty} U_{\infty} = A_S U_S$  llegamos al empuje:

$$T = \rho A_p U_p (U_S - U_{\infty}) \quad (3.30)$$

Ahora resolvemos en el disco, considerando las ecuaciones de Bernoulli para las dos secciones del disco tenemos aguas arriba:

$$P_{\infty} + \frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho U_p^2 \quad (3.31)$$

Por otro lado, aguas abajo:

$$P_1 + \Delta P + \frac{1}{2} \rho U_p^2 = P_{\infty} + \frac{1}{2} \rho U_S^2 \quad (3.32)$$

Igualemos y resolvemos  $\Delta P$ ,

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho (U_S^2 - U_{\infty}^2) \quad (3.33)$$

Considerando el empuje como  $T = \Delta P A_p$ , podemos igualarlo a 3.30 para despejar  $U_p$  que quedaría:

$$U_p = \frac{1}{2} (U_S + U_{\infty}) \quad (3.34)$$

A continuación, vamos a aplicar la teoría del disco considerando las pérdidas de cantidad de movimiento expresadas en la ecuación 3.25. Para este caso tendremos que la velocidad de entrada al disco (1p) será distinta de la velocidad de salida (2p). En base al balance de cantidad de movimiento,

$$\rho U_{1p}^2 A_p = \rho U_{2p}^2 A_p + \Delta C M_{\delta} \quad (3.35)$$

Si redefinimos el déficit de cantidad de movimiento en base a un déficit promediado de velocidad en el disco  $\Delta C M_{\delta} = \rho U_{\infty}^2 \delta^2 A_p$  podemos relacionar la velocidad a la salida del disco como:

$$U_{2p}^2 = U_p^2 - U_{\delta}^2 = K^2 U_p^2 \quad (3.36)$$

Donde el parámetro  $K = \sqrt{1 - (U_{\delta}/U_p)^2}$  es siempre menor o igual que 1.

Vamos a suponer que el tubo de corriente no se ve significativamente afectado por el déficit de cantidad de movimiento por lo que  $A_p = A_1 \approx A_2$  y que por tanto la conservación de masa en el tubo de corriente impone:

$$\dot{m}_1 = U_E A_E = U_p A_p \quad (3.37)$$

Por tanto, las condiciones aguas arriba del disco son las mismas que en la teoría ideal. Por otro lado aguas abajo,

$$\dot{m}_2 = U_S' A_S' = U_{2p} A_p = K U_p A_p \quad (3.38)$$

Donde todas las variables con superíndice ' son los del caso con pérdida de cantidad de movimiento. La ecuación 3.27 para nuestro caso con pérdidas de cantidad de movimiento toma la forma,

$$\dot{m}_3' = U_3 A_3 = A_S' (U_S' - U_{\infty}) \quad (3.39)$$

Por otro lado, la ecuación 3.29 quedaría como:

$$\frac{T'}{\rho} = A_S' U_S' (U_S' - U_{\infty}) = K U_p A_p (U_S' - U_{\infty}) \quad (3.40)$$

Considerando de forma análoga la ecuación de Bernoulli para las dos secciones del disco tenemos,

$$P_{\infty} + \frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho U_p^2 \quad (3.41)$$

Si consideramos la sección aguas abajo:

$$P_1 + \Delta P' + \frac{1}{2} \rho K^2 U_p^2 = P_{\infty} + \frac{1}{2} \rho U_S'^2 \quad (3.42)$$

Ahora igualamos las ecuaciones 3.41 y 3.42 y resolvemos  $\Delta P$ ,

$$\frac{\Delta P' A_p}{\rho} = \frac{T'}{\rho} = \frac{1}{2} (U_S'^2 - U_{\infty}^2 + (1 - K^2) U_p^2) A_p \quad (3.43)$$

Dado que las variables  $U_{\infty}$ ,  $U_p$  y  $K$  son conocidas, es posible resolver las ecuaciones 3.43 y 3.40 como un sistema de ecuaciones que da como resultado una ecuación de segundo orden para  $U_S'$ ,



$$U_S'^2 - (2KU_P)U_S' - (U_\infty^2 - (1-K^2)U_P^2 - 2U_\infty KU_P) = 0 \quad (3.44)$$

$$U_S' = KU_P \pm \sqrt{K^2 U_P^2 + (U_\infty^2 - (1-K^2)U_P^2 - 2U_\infty KU_P)} \quad (3.45)$$

Para el caso ideal  $K=1$ , por lo que bajo esas condiciones para recuperar la solución de la ecuación 3.34 el signo debe ser negativo,

$$U_S' = KU_P - \sqrt{(U_\infty - KU_P)^2 - (1-K^2)U_P^2} \quad (3.46)$$

La sustitución de la ecuación 3.46 en 3.40 nos permite obtener directamente el empuje bajo la acción de esfuerzos viscosos en la superficie del propulsor, conocido el caso ideal en función del valor de la variable  $K$ .

### 3.5. Resultados y discusión

Asumimos que  $K \in [K_{\min}, 1]$ . Cuanto más nos aproximemos a  $K=1$  más nos aproximaremos al problema ideal. Teniendo en cuenta el significado de  $K$  vamos a aproximar:

$$K \approx \sqrt{1 - \bar{f}(\alpha, \bar{\alpha}) \left( \frac{2C_D}{C_T + 2(1 + v_i/U_\infty)} \right)} = \sqrt{1 - \bar{f}(\alpha, \bar{\alpha}) \Pi_1} \quad (3.47)$$

Donde  $v_i$  es la velocidad inducida en el disco actuador. Si aproximamos el impacto de la técnica de inyección de burbujas a su valor para una placa plana de longitud igual a la cuerda del elemento de pala en  $r=0,8R_f$ , la función  $\bar{f}(\alpha, \bar{\alpha})$  se definiría como:

$$\bar{f}(\alpha, \bar{\alpha}) = \int_0^{l(0,8R_f)} \left( 1 - G_1 \alpha_g(x) - G_2 \frac{d\alpha_g(x)}{dx} \right)_{R=0,8R_f} dx \quad (3.48)$$

Se puede concluir que el impacto de esta técnica será más relevante y por tanto estará justificado para casos donde el parámetro  $\Pi_1$  sea de un orden unidad.

La ecuación 3.47 nos permite estimar dicho impacto en base a variables conocidas del propulsor bajo estudio.

## 4. ESTUDIO EXPERIMENTAL

Del estudio teórico anterior puede deducirse la necesidad de realizar experimentos de tipo fundamental para estudiar el fenómeno de BDR. Dentro de este contexto, y enmarcado dentro del proyecto BIFLOWPROP, se diseñó un primer experimento base. A continuación, se describe dicho experimento base, así como el diseño de nuevas mejoras introducidas y su efectividad.

### Experimento Base

El experimento base consiste en un cilindro inmerso en un tanque de agua que rota bajo la acción de un motor eléctrico. El concepto del experimento se basa en que dicho cilindro tenga una ranura en su superficie y esté parcialmente sumergido en agua para alimentar de aire dicha ranura. La figura 4.1 muestra el concepto del experimento. No obstante, al estar parcialmente sumergido se genera una superficie libre en la parte superior, en la que, debido a la rotación del cilindro, se genera un interfaz en forma de vórtice y que a determinadas frecuencias de giro deriva en inestabilidades (véase figura 4.1 derecha). Además, se quiere observar el fenómeno para estudiar las microburbujas, por lo que las paredes del recipiente deben estar hechas de un material transparente, que en nuestro caso será metacrilato.

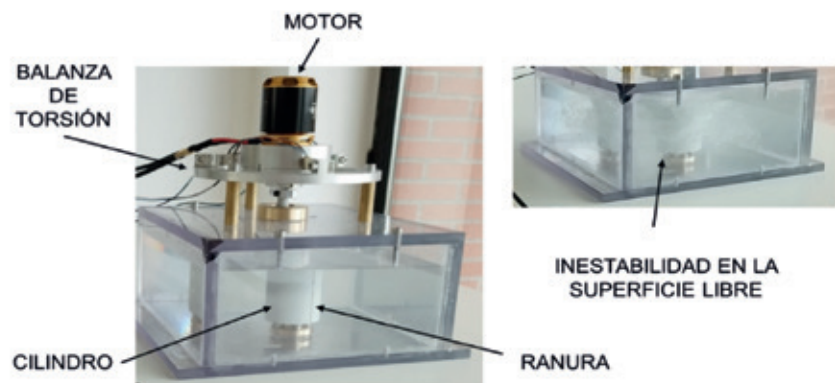


Figura 4.1. Concepto del Experimento (Izquierda). Inestabilidad en la superficie libre (Derecha).

Tabla 4.1. Características Cilindros


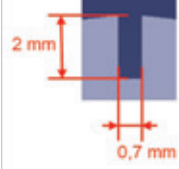

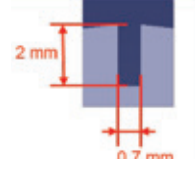

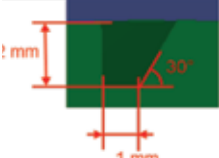
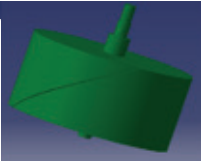
Nombre Cilindro	Radio $R_i$ (mm)	Altura (mm)	Tipo Ranura	Perfil Ranura	Imagen
C0	25	75	Sin ranura, cilindro base para comparar		
C1	25	75	Recta		
C2	25	75	Helicoidal		
C3	75	75	Helicoidal		



Figura 4.2. Montaje Experimental.

Controlando el valor del radio y la velocidad de giro, se puede obtener la velocidad tangente en la superficie deseada. Así, se tienen dos tamaños de cilindros ( $R_i=25$  mm, $R_i=75$  mm) y se ensaya a tres velocidades de giro diferentes ( $\Omega_i=1.500$  rpm, $\Omega_i=2.500$

rpm, $\Omega_i=4.000$  rpm ). La Tabla 4.1 muestra las dimensiones de los cuatro cilindros fabricados y ensayados. Se observa una inestabilidad en la superficie que impide el estudio del fenómeno de la reducción de resistencia por inyección de microburbujas.

Es por ello necesario estudiar el fenómeno de la inestabilidad. La figura 4.2 muestra el montaje experimental durante las campañas de ensayos.

#### 4.2. Dispositivo de reducción de inestabilidad en la superficie libre.

Para poder incrementar el rango en los parámetros ensayados en el experimento base, es necesario retrasar la aparición del fenómeno de inestabilidad en la superficie libre y reducir la altura del vórtice generado, de forma que el efecto de la superficie libre interfiera lo menos posible en los parámetros del experimento y en las medidas indirectas. Cuando un cilindro rota en el seno de un fluido con superficie libre, aparece una circulación artificial,  $\Gamma_\infty$  generada por la rotación del mismo que induce una velocidad de componente tangencial  $v_\theta$ , lo cual origina un vórtice en la superficie libre. Dicha velocidad está caracterizada por el número de Reynolds del vórtice,  $Re_r$ , y el número de circulación,  $N_r$ . Existe por tanto para vórtices turbulentos un flujo primario  $v_\theta(r)$  superpuesto con otro flujo de componente  $v_z$  y  $v_r$  cuya función es asegurar continuidad del flujo Q. Dada la similitud geométrica, se asemeja en primera aproximación nuestro problema al problema de Taylor-Couette. Según la teoría clásica del flujo de Taylor-Couette, la diferencia de altura de la superficie libre entre la pared exterior y la pared del cilindro, toma la siguiente forma:

$$z_0 - z_{cilindro} = \frac{(\Omega_i R_i)^2}{g(1 - \eta^2)^2} \left( \frac{1}{2} + 2\eta^2 \ln(\eta) - \frac{\eta^4}{2} \right) \quad (4.1)$$

Siendo  $\eta = R_i/R_o$  donde  $R_i$  es el radio del cilindro,  $R_o$  es la distancia del eje del cilindro a la pared a la altura de la superficie libre,  $\Omega_i$  es la velocidad de rotación del cilindro,  $g$  es la gravedad,  $z_0$  es la altura del agua en la pared exterior y  $z_{cilindro}$  es la altura del agua en la superficie del cilindro. Reorganizando la expresión anterior, el incremento de altura en la superficie libre adimensionalizado con la ve-

locidad tangente en la superficie del cilindro y la aceleración de la gravedad,  $\Delta h^* = \frac{z_{cilindro} - z_0}{\frac{(\Omega_i R_i)^2}{g}}$ , depende únicamente de la relación entre el radio del cilindro y la distancia a la pared a la altura de la superficie libre,  $\eta$ , de la siguiente manera (véase figura 4.3):

$$\Delta h^*(\eta) = \frac{1}{(1 - \eta^2)^2} \left( \frac{1}{2} + 2\eta^2 \ln(\eta) - \frac{\eta^4}{2} \right) \quad (4.2)$$

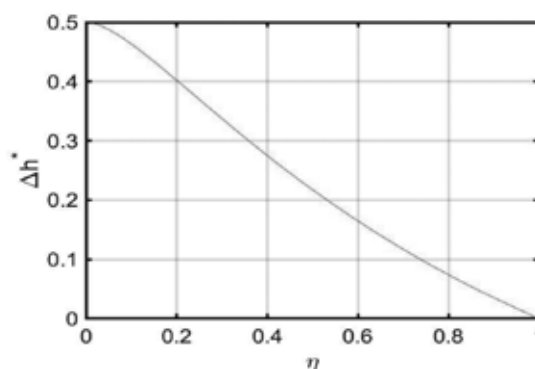


Figura 4.3. Incremento de altura en la superficie libre adimensionalizado respecto de la relación entre el radio del cilindro y la distancia a la pared a esa altura.

Puede observarse en la figura 4.3 que, a la altura de la superficie libre, para un tamaño de cilindro dado, el incremento de altura disminuye cuanto menor sea la distancia a la pared. Es por ello que se diseña un dispositivo compuesto de cilindros concéntricos al cilindro original para ser colocado únicamente a la altura de la superficie libre de forma que se reduzca la altura de la inestabilidad generada en la superficie, pero que permita estudiar lo que ocurre en el resto del cilindro (despreciando lo que ocurre en la superficie libre) y conservar el flujo de aire a través de la ranura. La figura 4.4 muestra dicho dispositivo, el cual se ha diseñado para una velocidad de giro en torno a 1.500 rpm.

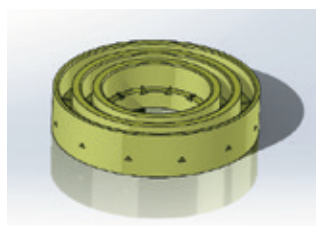


Figura 4.4. Dispositivo diseñado para reducir la inestabilidad generada en la superficie libre.



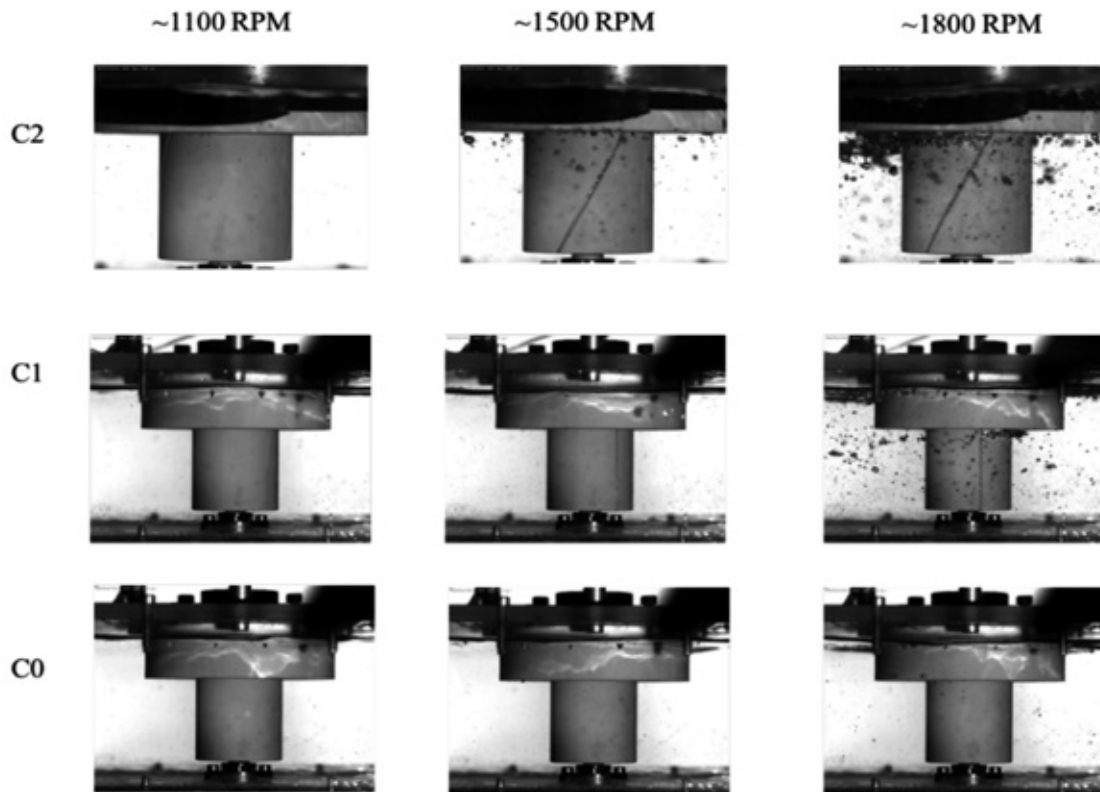


Figura 4.5. Resultados.

### 4.3. Resultados y discusión

Se pretende analizar las modificaciones introducidas con el nuevo dispositivo diseñado y validar conceptualmente el diseño. La aproximación de flujo de Taylor-Couette es una primera aproximación para entender el fenómeno. No obstante, no se tienen dos cilindros concéntricos como en el flujo de Taylor-Couette, ya que nuestro recipiente final es rectangular y no cilíndrico. Es por ello necesario verificar experimentalmente la validez de la teoría. Para ello, se ha realizado una campaña experimental de ensayos con el nuevo dispositivo a distinta velocidad de giro con los cilindros C0, C1 y C2. La figura 4.5 muestra los resultados obtenidos para las tres velocidades de giro ensayadas: 1.100 rpm, 1.500 rpm y 1.800 rpm.

En primer lugar, puede observarse que para el rango de velocidades de giro ensayadas

apenas se aprecia diferencia de altura en la superficie libre. Esto es más apreciable si se compara con los resultados previos sin dispositivo. No obstante, además del fenómeno estudiado del vórtice generado en la superficie libre (el cual hemos reducido), cerca de la pared del cilindro, debido a la curvatura generada en la superficie libre, pueden generarse burbujas. Se observa que para 1800 rpm del cilindro, en los cilindros con ranuras aparecen algunas burbujas que creemos que se generan de esta manera. El dispositivo utilizado ayuda a esa generación, especialmente en presencia de las ranuras.

### CONCLUSIONES

La reducción de resistencia por inyección de burbujas en aplicaciones navales es una técnica prometedora, pero en la que existe todavía mucha controversia respecto de sus fundamentos físicos. Se propone en este

trabajo aplicar dicha técnica a propulsores marinos. Se desarrolla la teoría asociada llegándose a la conclusión de la importancia de profundizar en el conocimiento de los mecanismos involucrados y de las relaciones existentes entre la fracción de vacío y la modificación de la capa límite, para lo cual es necesario llevar a cabo experimentos de laboratorio. Por último, respecto de estos experimentos de laboratorio tipo Taylor-Couette, se ha diseñado y validado un dispositivo que es capaz de reducir la altura del vórtice generado en la superficie libre y que ha mostrado potencial capacidad de ser utilizado como fuente de generación de burbujas.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto interno del INTA "BIFLOWPROP" con código S.IGB22001. Se agradece a todo el personal del INTA, tanto del Área de Aerodinámica Experimental, como de la Subdirección General de Sistemas Navales, que ha participado en la fabricación y puesta a punto del dispositivo experimental.

## REFERENCIAS

- [1] Sindagi, S., & Vijayakumar, R. (2021). Succinct review of MBDR/BDR technique in reducing ship's drag. *Ships and Offshore Structures*, 16(9), 968-979.
- [2] Murai, Y. (2014). Frictional drag reduction by bubble injection. *Experiments in fluids*, 55(7), 1-28.
- [3] Wang, H., Wang, K., & Liu, G. (2022). Drag reduction by gas lubrication with bubbles. *Ocean Engineering*, 258, 111833.
- [4] An, H., Pan, H., & Yang, P. (2022). Research Progress of Air Lubrication Drag Reduction Technology for Ships. *Fluids*, 7(10), 319.
- [5] Legner, H. H. (1984). A simple model for gas bubble drag reduction. *The Physics of fluids*, 27(12), 2788-2790.
- [6] Kim, S. Y., & Cleaver, J. W. (1995). The persistence of drag reduction following the injection of microbubbles into a turbulent boundary layer. *International communications in heat and mass transfer*, 22(3), 353-357.
- [7] Murai, Y., Oishi, Y., Sasaki, T., Kodama, T., & Yamamoto, F. (2005, March). Turbulent shear stress profile in horizontal bubbly channel flow. In *Proceedings of the 6th International Symposium on Smart Control of Turbulence*, Tokyo (pp. 289-295).
- [8] Hassan, Y. A., & Gutierrez-Torres, C. C. (2006). Investigation of drag reduction mechanism by microbubble injection within a channel boundary layer using particle tracking velocimetry. *Nuclear Engineering and Technology*, 38(8), 763-778.
- [9] Paik, B. G., Yim, G. T., Kim, K. Y., & Kim, K. S. (2016). The effects of microbubbles on skin friction in a turbulent boundary layer flow. *International Journal of Multiphase Flow*, 80, 164-175.
- [10] Park, H. J., Saito, D., Tasaka, Y., & Murai, Y. (2019). Color-coded visualization of microbubble clouds interacting with eddies in a spatially developing turbulent boundary layer. *Experimental thermal and fluid science*, 109, 109919.
- [11] Feng, Y. Y., Hu, H., Peng, G. Y., & Zhou, Y. (2020). Microbubble effect on friction drag reduction in a turbulent boundary layer. *Ocean Engineering*, 211, 107583.
- [12] Zhu, R., Zhang, H., Wen, W., He, X., Zhao, C., Liu, Y., ... & Liu, Z. (2023). Flow-drag reduction performance of a resident electrolytic microbubble array and its mechanisms. *Ocean Engineering*, 268, 113496.
- [13] Park, H. J., Tasaka, Y., & Murai, Y. (2018). Bubbly drag reduction accompanied by void wave generation inside turbulent boundary layers. *Experiments in fluids*, 59, 1-15.
- [14] Tanaka, T., Oishi, Y., Park, H. J., Tasaka, Y., Murai, Y., & Kawakita, C. (2021). Repetitive bubble injection promoting frictional drag reduction in high-speed horizontal turbulent channel flows. *Ocean Engineering*, 239, 109909.
- [15] Sibree, J. O. (1933). The viscosity of froth. *Transactions Far. Soc.* 30, 325-331.
- [16] Dominguez-Ontiveros, E. E., Estrada-Perez, C. E., & Hassan, Y. A. (2005). Wall Shear Stress Measurements in Two-phase Flow using PIV, an Optical Sensor and Wall Pressure Transducer.
- [17] Wu, S. J., Ouyang, K., & Shiah, S. W. (2008). Robust design of microbubble drag reduction in a channel flow using the Taguchi method. *Ocean Engineering*, 35(8-9), 856-863.
- [18] Oishi, Y., Murai, Y., Tasaka, Y., & Yasushi, T. (2009, February). Frictional drag reduction by wavy advection of deformable bubbles. In *Journal of physics: conference series* (Vol. 147, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.
- [19] Oishi, Y., Tohge, Y., Tasaka, Y., & Murai, Y. (2019). Bubble clustering in a horizontal turbulent channel flow investigated by bubble-tracking velocimetry. *International Journal of Multiphase Flow*, 120, 103104.
- [20] Fokoua, G. N., Gabillet, C., Aubert, A., & Colin, C. (2015). Effect of bubble's arrangement on the viscous torque in bubbly Taylor-Couette flow. *Physics of Fluids*, 27(3), 034105.
- [21] Schlichting, H., & Gersten, K. (2016). *Boundary-layer theory*. Springer.
- [22] Mäkiharju, ..., & Ceccio, S. L. (2017). The topology of gas jets injected beneath a surface and subject to liquid cross-flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 818, 141-183.

# Tendencias y preferencias: La opinión de los armadores españoles sobre los combustibles alternativos y las tecnologías de mejora de la eficiencia energética a bordo



**FERNANDO MARCOS, I. N.**  
Coordinador de la Cátedra UPM-  
Fundación Repsol  
de Transición Energética en el  
Transporte Marítimo



**LAURA CALVO, E.T.S.I.**  
Navales. Cátedra UPM-  
Fundación Repsol  
de Transición Energética en el  
Transporte Marítimo



## Introducción

El transporte marítimo ocupa una posición central en la cadena de suministro global: cerca de 100.000 buques comerciales mueven 11 mil millones de toneladas de mercancías cada año, lo que representa aproximadamente el 80% del volumen mundial. El coste asociado al transporte marítimo en términos de emisiones de gases de efecto invernadero es aproximadamente del 3% de

las emisiones globales de dichos gases. A nivel de la Unión Europea, el transporte marítimo constituye el 75% de comercio exterior y el 31% de su comercio interior.

El tráfico de buques hacia o desde los puertos del Espacio Económico Europeo representa aproximadamente el 11% de todas las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector de transporte dentro de la Unión, y entre el 3% y el 4% del total de emisiones de CO<sub>2</sub> de la Unión.



La contaminación atmosférica producida por la industria marítima se encuentra regulada con el objeto de reducir el impacto medioambiental de la misma y promover una navegación más sostenible. Existe reglamentación tanto local como internacional, con el objetivo común –no siempre totalmente alineado– de reducir el nivel de emisiones de agentes contaminantes ocasionados por los buques. Una de las regulaciones clave es el Convenio Internacional para la Prevención de la Contaminación por los Buques (MARPOL, por sus siglas en inglés), adoptado por la Organización Marítima Internacional (OMI). El Anexo VI del MARPOL establece normas para limitar las emisiones de óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) en los gases de escape de los buques. Estas normas se aplican a nivel mundial y requieren que los buques cumplan con límites específicos, tanto en aguas internacionales como en los puertos de los Estados miembros. Localmente –mar Báltico, mar del Norte, costa de los Estados Unidos y próximamente mar Mediterráneo– estas regulaciones se aplican con unas exigencias mayores de reducción de emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>. Estas son las conocidas como zonas ECA (Emission Control Area) que presentan dos modalidades: zonas SECA (Sulphur Emission Control Area) y NECA (NO<sub>x</sub> Emission Control Area) para el control más estricto de emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> respectivamente.

El cumplimiento de los requisitos que establece el Anexo VI del MARPOL trae consigo la utilización de combustibles fósiles con bajo contenido de azufre, la instalación de sistemas de reducción de emisiones de SO<sub>x</sub> (scrubbers) y la instalación de sistemas de reducción de emisiones de NO<sub>x</sub> (SCR, Selective Catalytic Reactors). Recientemente, se está popularizando la utilización de combustibles alternativos tales como el GNL (Gas Natural Licuado), metanol, biofuels, etc. los cuales prometen un menor impacto ambiental.

En comparación con otros modos de transporte, el transporte marítimo sigue siendo el más eficiente en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada y kilómetro transportado. No obstante, la OMI también promueve medidas para mejorar la eficiencia energética de los buques. El Índice de Diseño de Eficiencia Energética (EEDI, Energy Efficiency Design Index) define niveles de eficiencia energética para las nuevas construcciones, promoviendo así el diseño de buques más eficientes desde el punto de vista energético, que tendrán, por tanto, una menor huella de carbono. Adicionalmente, el Índice de Intensidad de Carbono (CII, Carbon Intensity Index) establece niveles de eficiencia energética durante la operación de los buques.

Además de la OMI, la Unión Europea ha definido recientemente legislación regional para el transporte marítimo a través del paquete Fit for 55. Dentro de dicho paquete regulatorio, la normativa FuelEU Maritime tiene como objeto y finalidad “aumentar el uso coherente de combustibles renovables y combustibles hipocarbónicos y de fuentes de energía sustitutorias en el transporte marítimo en toda la Unión, en consonancia con el objetivo de alcanzar la neutralidad climática en toda la unión a más tardar en 2050”. Así mismo, regulará las emisiones reales de CO<sub>2</sub> equivalente (Tank-to-Wake, del Tanque a la Estela), al incluir el transporte marítimo en el sistema de comercio de emisiones (ETS, Emissions Trading System) de la UE.

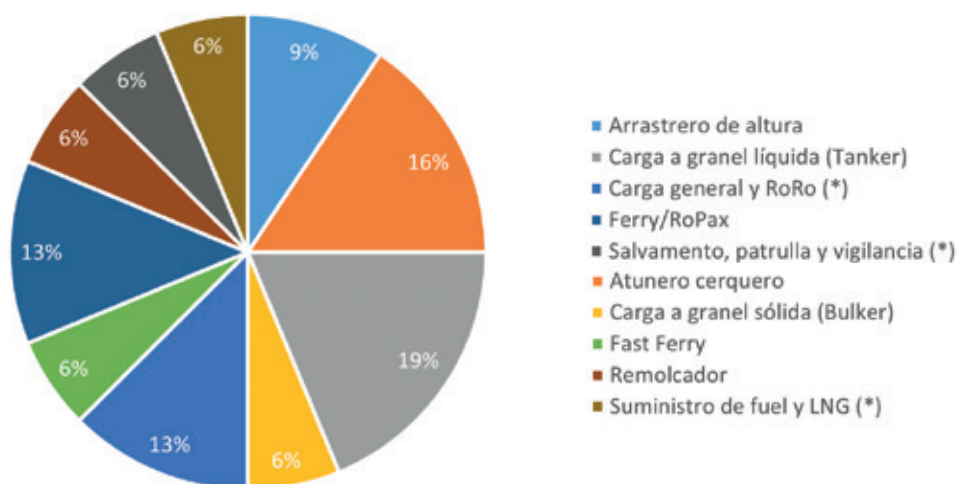
Aunque el alcance y la extensión de las regulaciones EEDI, CII, FuelEU Maritime y EU ETS varía entre ellas, en todas ellas se visibiliza que la transición hacia un transporte marítimo con el menor impacto mediambiental se sustenta, por un lado, en el uso de combustibles renovables e hipocarbónicos, y por el otro, en la eficiencia energética. El combustible que más contribuye a la transición del transporte marítimo hacia una operación con emisiones netas cero es aquel que no

Tabla 1.

Tipo de buque	Empresas	Encuestados	Respuestas	Participación
Arrastrero de altura	5	5	3	60%
Atunero cerquero	7	9	5	56%
Carga a granel líquida (Tanker)	4	8	6	75%
Carga a granel sólida (Bulkier)	2	2	2	100%
Carga general y RoRo (*)	6	8	4	50%
Fast Ferry	4	5	2	40%
Ferry/RoPax	4	7	4	57%
Remolcador	5	5	2	40%
Salvamento, patrulla y vigilancia (*)	3	4	2	50%
Suministro de fuel y GNL (*)	3	4	2	50%
Total	43	57	32	56%

(\*) Se han agrupado esos tipos de buques con objeto de anonimizar las respuestas

Gráfico 1



se utiliza. Teniendo en cuenta además que los combustibles renovables e hipocarbónicos serán significativamente más costosos en comparación con los combustibles fósiles actuales, la eficiencia energética no solo será de máxima prioridad desde una perspectiva de cumplimiento legislativo, sino también desde un punto de vista comercial. Con el afán de descubrir las tendencias y opiniones de los profesionales y expertos de la industria marítima en torno a la reducción del impacto medioambiental en el transporte marítimo, a finales de 2023 se llevó a cabo una encuesta dentro del colectivo de armadores españoles. A continuación, se presentan los resultados de esta encuesta.

### Participación

Se envió un cuestionario con 12 preguntas a un total de 57 profesionales de 43 empresa navieras españolas. Dentro de esas empresas se seleccionó a profesionales con las siguientes responsabilidades: director general, director técnico, director de flota, director de operaciones y director de sostenibilidad y descarbonización. Se obtuvieron un total de 32 respuestas (56% del total de los encuestados). Los niveles de participación se muestran en la siguiente tabla (Tabla 1) ordenados por tipo de buque. En la misma tabla se muestra también el nivel de participación dentro de cada tipo de buque. En el gráfico (Gráfico 1)

se muestra la participación de cada tipo de buque en el total de los resultados.

La encuesta se estructuró en cuatro bloques con tres preguntas por bloque.

El primer bloque tenía como objetivo evaluar el nivel de conocimiento auto percibido de los participantes del marco regulatorio (OMI y UE) relativo a emisiones de CO<sub>2</sub> y gases de efecto invernadero

En el segundo bloque se analizaba el conocimiento y valoración de las diferentes tecnologías de mejora de la eficiencia aplicables al buque. La valoración se realizó desde el punto de vista de la posible aplicación, riesgos, etc.

De manera análoga al segundo bloque, en el tercer bloque se analizaba el conocimiento y valoración de los diferentes combustibles alternativos.

Finalmente el cuarto bloque se centraba exclusivamente en la tecnología CCS (Carbon Capture and Storage, Captura y Almacenamiento a bordo de CO<sub>2</sub>).

## Resultados

### Bloque 1. Marco regulatorio

Pregunta 1: Valore su conocimiento del marco regulatorio (IMO y EU) relativo a emisiones de CO<sub>2</sub> y gases de efecto invernadero.

En líneas generales, los encuestados se auto perciben con un elevado conocimiento del marco regulatorio medioambiental del transporte marítimo (Gráfico 2). Los peores resultados se han obtenido principalmente en el segmento pesquero (arrastre y atún), lo cual es comprensible dado que este segmento está exento de cumplimiento de determinada legislación medioambiental.

Pregunta 2: ¿Qué riesgos e impactos presentan estas nuevas regulaciones en su negocio?

El principal riesgo es el económico, entendido este como: aumento de costes de explotación; costes asociados a nuevas operaciones y procedimientos; mantenimiento; formación de tripulaciones; costes asociados con monitorización, toma de datos, verificación, etc. (Gráfico 3)

Gráfico 2

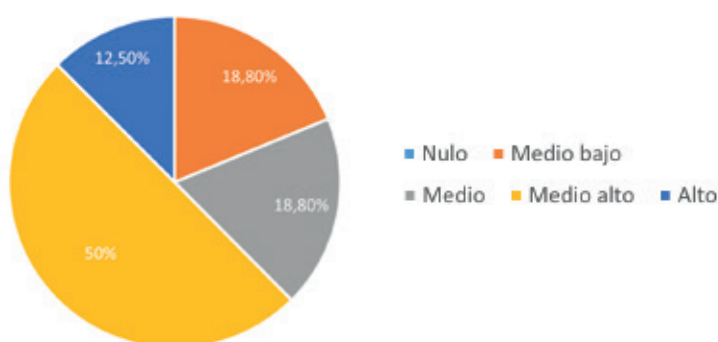
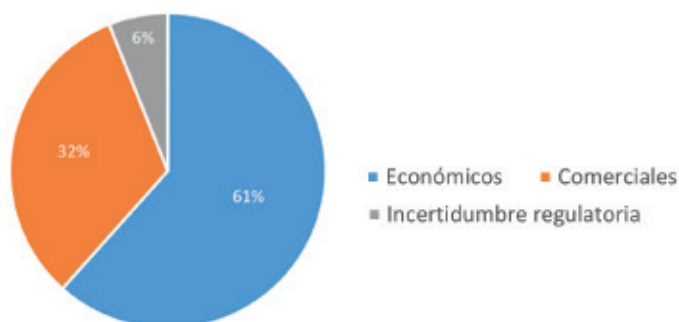


Gráfico 3



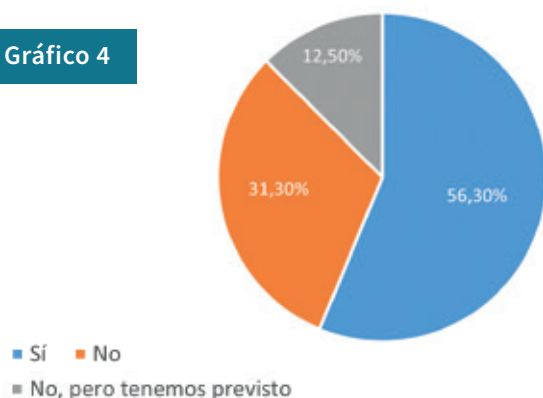


Los riesgos comerciales hacen referencia a la pérdida de competitividad de la flota existente; obsolescencia anticipada; reducción de velocidad, etc.

Pregunta 3: ¿Dispone en su organización de recursos humanos dedicados a los aspectos regulatorios relacionados con las emisiones de CO<sub>2</sub> y gases de efecto invernadero?

Cerca de un 70% de las empresas encuestadas disponen ya de personal dedicado o tienen planes para reforzarse en temas regulatorios medioambientales (Gráfico 4)

Gráfico 4



Las empresas que no disponen de estos recursos (30%) son principalmente las dedicadas al sector de la pesca, remolque, salvamento, vigilancia y patrulla. Esto es así por el motivo mencionado anteriormente.

Cabe destacar que en los segmentos de Fast Ferry y Ferry/RoPax, ha habido unanimidad y todas las empresas encuestadas disponen ya de estos recursos. La movilización de recursos en esos segmentos no es de extrañar dado que este tipo de barcos tiene una máxima exposición a la regulación de la UE (ETS y FuelEU Maritime) al operar permanentemente en aguas y puertos de la Unión.

## Bloque 2. Tecnologías de mejora de la eficiencia energética a bordo

Pregunta 1: Valore las siguientes tecnologías en base a su potencial de aplicación en sus nuevos proyectos: propulsión híbrida (propulsión diesel mecánica con soluciones PTH/PTH); propulsión diesel eléctrica; baterías; conexión eléctrica en puerto; células de combustible; velas; lubricación con aire del casco; diseños optimizados de dimensiones principales, formas de casco y análisis CFD; diseños optimizados de hélices, timones y dispositivos de mejora de la eficiencia propulsiva (bulbo en timón, toberas aguas arriba de la hélice, etc.); sistemas de recuperación de energía, de gases de escape, de circuitos de refrigeración de alta temperatura, etc.

Desde el punto de vista de las tecnologías, las de más difícil implementación a juicio de los encuestados serían: velas, lubricación del casco, células de combustible y baterías (Tabla 2). En el lado opuesto, las tecnologías de mejora y optimización de las formas del casco y propulsor son las que presentan un mayor potencial de aplicación a lo largo de todos los tipos de barcos. Le seguirían en orden de potencial de aplicación la optimización de los sistemas de transmisión de potencia: transmisiones híbridas y diesel eléctricas. Desde el punto de vista del tipo de buque, el segmento de buques Ferry/RoPax presenta el mayor potencial en cuanto a aplicación de diferentes tecnologías de mejora de la eficiencia energética, quedando excluida únicamente la aplicación de velas.

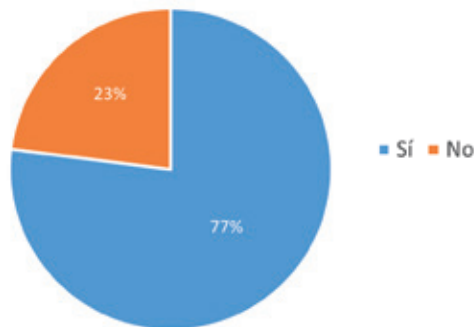
En el extremo opuesto nos encontraríamos con el segmento de buques atuneros, cerqueros y buques Fast Ferry donde el potencial de aplicación de tecnologías de mejora de la eficiencia energética es muy reducido,

Tabla 2

	Arrastreso de altura	Atunero cerquero	Carga a granel líquida (Tanker)	Carga a granel sólida (Bulkier)	Carga general y RoRo	Fast Ferry	Ferry/RoPax	Remolcador	Salvamento, patrulla y vigilancia	Suministro de fuel y GNL
Propulsión híbrida (PTI/PTH)	+	-	+	+	++	+	+	+	++	-
Propulsión diesel-eléctrica	+	-	-	+	+	-	+	+	++	++
Baterías	+	-	-	-	-	-	++	+	+	+
Conexión eléctrica en puerto	+	-	++	+	+	+	++	++	+	+
Células de combustible	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
Velas	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Lubricación del casco	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Optimización del casco	+	+	++	+	+	+	+	-	+	+
Optimización del propulsor	+	+	++	+	+	+	+	-	+	+
Sistemas de recuperación de energía	++	-	++	+	-	-	++	-	+	+

Potencial  
 -- Muy bajo  
 - Bajo  
 Neutro  
 + Alto  
 ++ Muy alto

Gráfico 5



limitándose principalmente a una optimización de formas del casco y propulsor

Pregunta 2:¿Dispone de la información necesaria para un análisis técnico/económico de esas tecnologías? En caso negativo, indique qué información no está disponible.

La falta de información técnico/económica no parece ser un problema a la hora del análisis de esas tecnologías (Gráfico 5). No obstante, el 23% de los encuestados echaban en falta información sobre costes de adquisición y operación, así como información acerca de necesidades específicas de mantenimiento y formación de tripulaciones

Pregunta 3:¿Cuánto influyen los siguientes factores en su decisión de adoptar tecnologías de eficiencia energética en sus nuevos proyectos: cumplimiento regulatorio; objetivo interno de reducción de emisiones; Opex; Capex; disponibilidad/madurez de la tecnología.

La decisión de adoptar tecnologías de mejora de la eficiencia energética a bordo viene determinada principalmente por las necesidades de cumplimiento regulatorio (Tabla 3). Las consideraciones en cuanto a coste de inversión, costes de operación y madurez tecnológica juegan un papel importante también de acuerdo con los encuestados. A juzgar por los resultados, cabe resaltar en este

Tabla 3

	Influencia									
	--	-		+	++					
	No influye	Baja	Media	Alta	Muy alta					
						Arrastrero de altura	Atunero cerquero	Carga a granel líquida (Tanker)	Carga a granel sólida (Bulkier)	Carga general y RoRo
						Fast Ferry	Ferry/RoPax	Remolcador	Salvamento, patrulla y vigilancia	Suministro de fuel y GNL
Cumplimiento regulatorio	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++
Objetivo interno de reducción de emisiones	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+
Opex	++	+	++	++	++	++	++	++	++	++
Capex	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Disponibilidad/madurez de la tecnología	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++

punto, la falta de objetivos internos propios de reducción de emisiones de la mayoría de las empresas navieras consultadas.

Bloque 3. Combustibles alternativos

Pregunta 1: ¿Qué combustible(s) alternativo(s): e-fueloil, e-gasoil, biofuel (FAME, HVO, ...), LNG, Bio-LNG, e-LNG, Metanol, bio-Metanol, e-Metanol, Amoniaco, e-Amoniaco, Hidrógeno, ... está considerando en el medio plazo (5 años)?

En este apartado se permitía a los encuestados (32) una selección múltiple de combustibles, alcanzándose un total de 52 entradas.

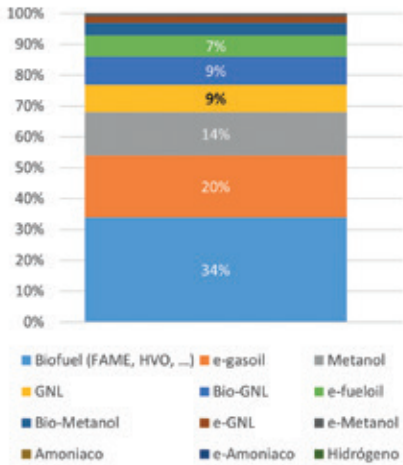
En la Tabla 4 se muestran las frecuencias por tipo de barco, y en el Gráfico 6 los porcentajes globales.

No se considera el hidrógeno, amoníaco y e-amoníaco como combustible marino en los próximos 5 años.

Tabla 4

	Arrastrero de altura	Atunero cerquero	Carga a granel líquida (Tanker)	Carga a granel sólida (Bulkier)	Carga general y RoRo	Fast Ferry	Ferry/RoPax	Remolcador	Salvamento, patrulla y vigilancia	Suministro de fuel y GNL
Biofuel (FAME, HVO, ...)			xxxxxx	xx	xx	xx	xxx	x	x	xx
e-gasoil	xx		x		xx	x	xx		xx	x
Metanol			xxx	x		x		xx		x
GNL			x	x			xx			x
Bio GNL							xxxx			x
e-fueloil			x		x		xx			
Bio-Metanol							x	x		
e-GNL										x
e-Metanol								x		
Amoniaco										
e-Amoniaco										
Hidrógeno										

Gráfico 6





Los biofueles (FAME, HVO, ...) y el e-gasoil son considerados en más de un 50% seguidos por el metanol (14%) y el GNL (9%) en cuarto lugar. La preferencia por biofueles y e-fueles (54%) podría explicarse por la facilidad de adaptación de la flota existente a estos combustibles.

Los biofueles (FAME, HVO, ...) y el e-gasoil son los combustibles considerados por un mayor número de tipos de barco.

A estos dos tipos de combustibles le seguirían el metanol, GNL y e-fueloil en ese orden. En el segmento del buque atunero cerquero no se contempla otro escenario que seguir utilizando los combustibles convencionales actuales.

Esto puede deberse a la dificultad de suministro de fueles alternativos en las zonas de operación de estos buques y a que este tipo de buque no está sujeto a mucha de la reglamentación medioambiental.

De manera similar a los buques atuneros cerqueros, los buques arrastreros de altura no ven necesidad de fueles no convencionales, salvo dos de los entrevistados que mencionan el e-gasoil.

Pregunta 2: ¿Dispone de la información necesaria para un análisis técnico/económico de los diferentes fueles alternativos? En caso

negativo, indique qué información no está disponible. (Gráfico 7).

Una gran proporción de los encuestados que dicen disponer de la información necesaria, se refieren principalmente al biofuel (FAME, HVO).

En líneas generales, las principales incógnitas se presentan en el precio de estos combustibles, su disponibilidad y logística.

Pregunta 3: ¿Cuánto influyen los siguientes factores en su decisión para adoptar combustibles alternativos en sus nuevos proyectos?: cumplimiento regulatorio; objetivo interno de reducción de emisiones; Opex; Capex; Disponibilidad/madurez de la tecnología.

En el bloque 2 de preguntas, correspondiente a las tecnologías de mejora de la eficiencia, los encuestados manifestaron que el uso de dichas tecnologías respondía principalmente a un cumplimiento regulatorio.

En el caso de la adopción de combustibles alternativos, su impulso está condicionado en primer lugar por la disponibilidad y logística de dichos combustibles, y en segundo lugar por su precio (Tabla 5).

La disponibilidad y madurez tecnológica del elemento conversor de energía a bordo (motor dual) es un factor común a todos los tipos de buques.

Gráfico 7

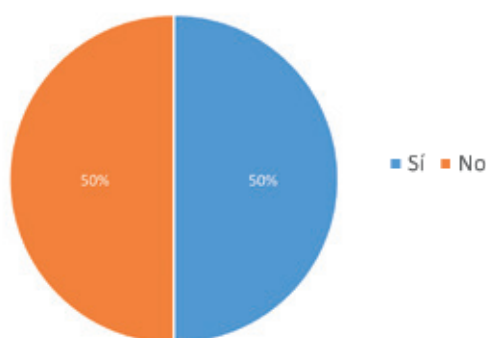


Tabla 5

	Influencia									
	--	-		+	++					
	No influye	Baja	Media	Alta	Muy alta					
						Arrastreo de altura	Atunero cerquero	Carga a granel líquida (Tanker)	Carga a granel sólida (Bulkier)	Carga general y RoRo
Cumplimiento regulatorio	+		++	+	++	++	++	+	++	+
Objetivo interno de reducción de emisiones		-					+	+	++	+
Opex	++		+	+	+	++	+	+	+	+
Capex			++	+	+	++	+	+	+	+
Disponibilidad y logística	+	++	++	++	++	++	++	+	++	++
Precio	++	+	+	++	++	++	++	+	+	+
Disponibilidad/madurez de la tecnología	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+

Bloque 4. Captura de carbono a bordo

Pregunta 1:¿Está considerando esta tecnología?

La captura de carbono no se ve como una medida a corto plazo (Gráfico 8). La mitad de los encuestados o no la consideran, o de hacerlo, lo hacen con un horizonte a 5 años.

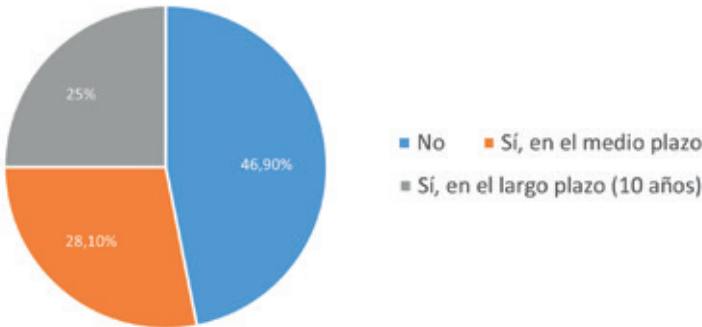
Pregunta 2:¿Cuál es el principal o principales retos/ riesgos en la adopción de esta tecnología?

La implementación de sistemas de captura y almacenamiento de carbono a bordo

es técnicamente compleja debido a las limitaciones de espacio en los buques. Adicionalmente las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono requieren un consumo adicional de energía para la captura y el almacenamiento del carbono. En un buque, donde la eficiencia energética es esencial, este consumo adicional puede tener un impacto significativo.

De acuerdo con los encuestados, los principales retos y riesgos de esta tecnología están asociados, en este orden, a su instalación a bordo (empacho); madurez de la tecnología; almacenamiento a bordo y logística del CO2 capturado. También se cita como un obstáculo para su adopción la falta de regulación

Gráfico 8



de estos sistemas en el marco regulatorio medioambiental marítimo

Pregunta 3:¿Dispone de la información necesaria para un análisis técnico/ económico de esta tecnología?. En caso negativo, indique qué información no está disponible.

Aproximadamente, el 75% de los entrevistados que están considerando esta tecnología, tanto en el largo como en el medio plazo, no disponen de información detallada de equipos, sistemas, consumibles, etc.

### **Red de Cátedras de la Fundación Repsol**

El presente estudio forma parte de las iniciativas promovidas por la red de cátedras de la

Fundación Repsol, en concreto por la Cátedra de Transición Energética en el Transporte Marítimo de la Universidad Politécnica de Madrid.

La cátedra UPM-Fundación Repsol de transición energética busca generar y difundir conocimiento sobre la transición energética, así como concienciar, instruir y orientar a la sociedad en ese proceso de transición.

Los pilares que desarrolla son: movilidad sostenible (cátedra UPM), descarbonización sostenible de la industria y ciudades, hidrógeno como vector energético y economía circular.

# Últimas actividades de la DT en Madrid



## Primera visita guiada a la Exposición “Jorge Juan. El legado de un marino científico”

El pasado 16 de diciembre, la delegación territorial en Madrid organizó la primera visita guiada a la Exposición “Jorge Juan. El legado de un marino científico” del Museo Naval de Madrid. Próximamente, se anunciarán nuevas fechas para volver a visitar la exposición.

## Nuevos vocales

El pasado 22 de enero, tuvo lugar la Junta General Territorial Extraordinaria en la sala de conferencias de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de Madrid, en la que quedaron proclamados los candidatos a vocales de la misma:

- José Alegría Palmeiro – colegiado 2448
- Mirko Toman Fernández – colegiado 3483





## Velero de carga *Grain de Sail II*: aventura, negocio y sostenibilidad

El pasado 16 de enero, la compañía francesa *Grain de Sail*, celebró el bautizo de su nuevo velero de carga *Grain de Sail II* en el que será su puerto base, Saint-Malo (Francia). Actualmente, se están llevando a cabo las labores de instalación del aparejo vélico.

### **Grain de Sail: la compañía**

Olivier y Jacques Barreau, gemelos, fundaron en 2010 *Grain de Sail*, en Bretaña (Morbihan, Francia). En 2013 abrieron su primera planta de tostado de café. En 2016 abrieron una fábrica de chocolate. Su objetivo, vender estos productos al otro lado del Atlántico y para poder transportarlos emplearían veleros de carga. Tienen previsto que su flota esté compuesta por tres unidades.

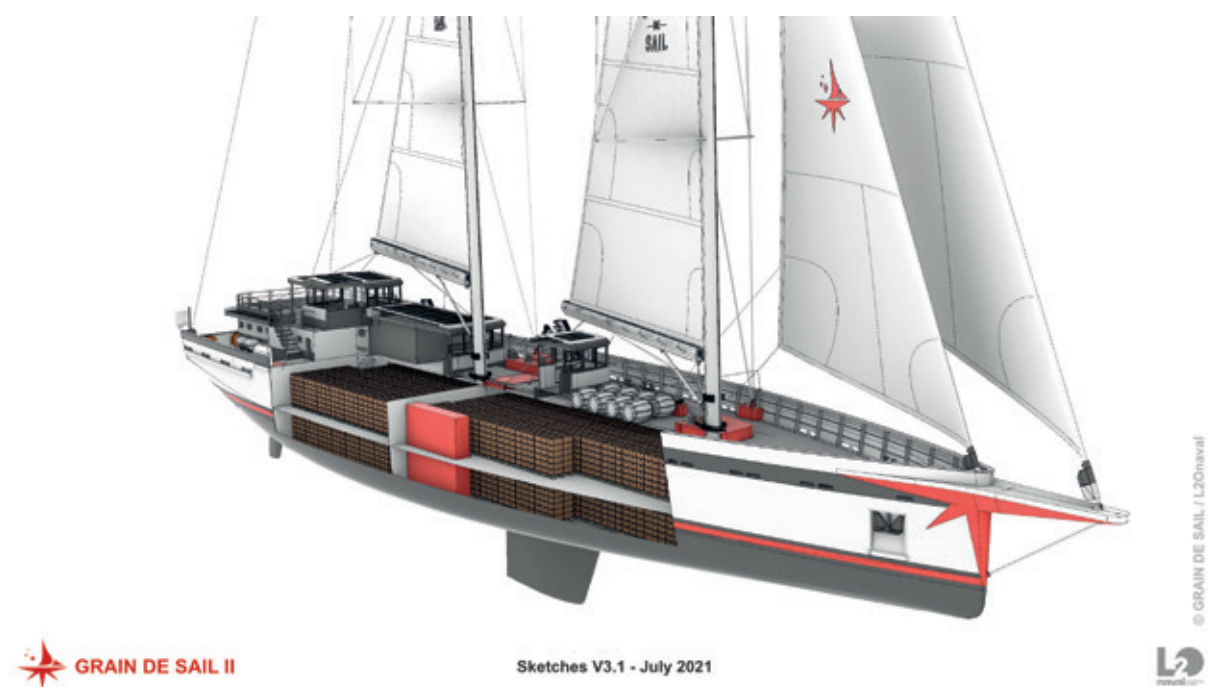
A día de hoy, la empresa comercializa café, chocolate y vino. El cacao y los granos de

café proceden de Perú y Centroamérica. Y el vino es de origen francés, artesanal, biodinámico y orgánico. Los pilares de *Grain de Sail* son: reducir su impacto en el planeta, mejorar el bienestar y la equidad social y mantener la sostenibilidad económica. Un equilibrio a tres bandas: medioambiental, social y financiero.

### **3 semanas en cruzar el Atlántico**

Primero, cargan en Francia el *Grain de Sail* con el vino producido en Francia. Cruzan el Atlántico hasta Nueva York y posteriormente, ponen rumbo a Centroamérica para cargar con café orgánico y cacao antes de regresar a Bretaña.

El viaje en redondo les lleva casi 3 meses y lo realizan dos veces al año, en primavera y en otoño.





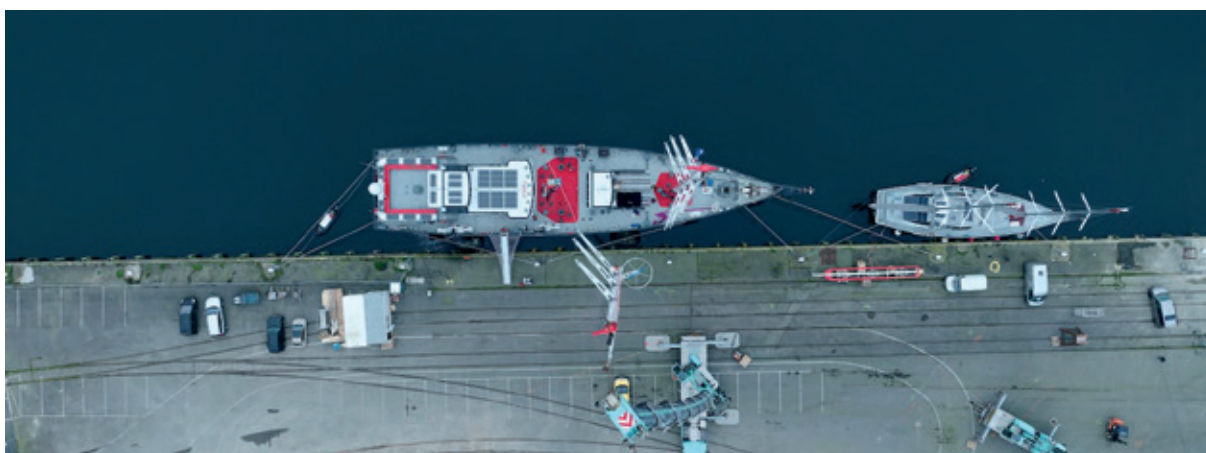
## Construcción de los dos veleros

En octubre de 2018 firmaron el contrato de construcción del *Grain de Sail* con el astillero francés Piriou (Nantes). Casi dos años después hacía su primera travesía trasatlántica, concretamente en noviembre de 2020, bajo bandera del registro internacional francés.

Ambos hermanos tuvieron claro qué tipo de embarcación buscaban. Cuatro años de investigación y desarrollo están detrás de este velero de carga moderno. Bureau Veritas y el Centre de Sécurité des Navires han estado detrás de la clasificación del mismo. La embarcación cumple con las normas internacionales de transporte marítimo: SOLAS, MARPOL y el STCW.

El *Grain de Sail II* es mucho más grande que su predecesor y tras su diseño está la ingeniería L2Onaval. En su construcción han estado implicados el astillero Piriou (en su astillero de la ciudad de Ho Chi Minh, Vietnam) y Lorima, quien ha suministrado el aparejo y que está siendo instalado en Lorient.

Este segundo velero es mucho mayor a su predecesor, más del doble de eslora y de capacidad de carga. El *Grain de Sail* puede transportar en bodegas hasta 28 palés y el *Grain de Sail II* hasta 238 palés cargados en dos niveles en dos bodegas separadas. En ambos casos, el sistema de climatización de las bodegas funciona con energía renovable. El *Grain de Sail*, pasará, en el momento que su sucesor empiece a navegar, en marzo de este



Vista aérea del *Grain de Sail II* (izda.) y el *Grain de Sail* (dcha.)

### Características técnicas del *Grain de Sail*:

Eslora total	24,24 m
Eslora entre perpendiculares	22 m
Manga total	6 m
Calado a máxima carga	5 m
Puntal	27 m
Desplazamiento	50 t
Capacidad de carga	50 t
Superficie vélica	365 m <sup>2</sup>
Monocasco	Aluminio
Aparejo	Goleta
Tripulación	4 marineros

### Características técnicas del *Grain de Sail II*:

Monocasco	Aluminio
Eslora total	52 m
Manga total	10,7 m
Calado máximo	6 m
Capacidad de carga útil	350 t
Superficie vélica	1.170 m <sup>2</sup>
Tripulación	9 personas
Velocidad máxima de navegación	12 kn
Capacidad de transporte de líquidos a granel	18 m <sup>3</sup>
Capacidad de transporte de líquidos a granel en barriles sobre cubierta	5 m <sup>3</sup>

año, al transporte de cabotaje por Europa. Con el *Grain de Sail II*, la compañía estima que podrá realizar de tres a cuatro viajes redondos al año. Incorpora sistemas de generación de energía de origen renovable para suministrar electricidad a bordo: paneles solares e hidrogeneradores. Está equipado con un motor (IMO Tier 3) para las maniobras de aproximación a puerto y generadores diésel por seguridad. A bordo se ha instalado una caldera de pellets, instalada por primera vez en un barco mercante de estas características. La compañía también ha anunciado que cierto espacio de carga del *Grain de Sail II* podrá emplearse para las exportaciones e importaciones de otras empresas que lo requieran.

Si te has quedado con ganas de saber más, en el Canal de YouTube de *Grain de Sail* encontrarás vídeos resúmenes de la construcción de los veleros, vídeos de las travesías del *Grain de Sail* y mucho más:



## Siguiendo la misma estela

La compañía francesa TransOceanic Wind Transport (Towt), con sede en Le Havre, también ha encargado al astillero Poriou varios veleros de carga. Anunciaron a finales de 2022 la construcción del primero, que tendría 81 m de eslora total y una capacidad de carga de 1.100 t. De ahí que no es de extrañar ver que el diseño sea muy similar al *Grain de Sail II*. Asimismo, también estará equipado con motores aunque será la propulsión eólica la prioritaria.

Puedes seguir el paso a paso de su construcción aquí:



## Cotenaval, Armón Vigo y bound4blue involucradas en el nuevo buque de Tuhaa Pae

A finales del primer trimestre del año pasado, Cotenaval, anunció que resultó ganador del diseño del nuevo buque de Tuhaa Pae. En el diseño del buque, están implicados Cotenaval, la dirección técnica del armador y la empresa francesa ECO como asesor externo del armador.

Este mes de enero, se ha conocido que bound4blue ha sido elegida para instalar una eSAIL® de 22 metros de altura a bordo del nuevo buque de carga mixta Na Pae e Hiro, haciendo que el armador Sna Tuha'a Pae (SNA) reduzca el consumo de combustible y emisiones en un 10%. Este innovador barco





estará listo en 2026 y combinará tecnología verde, con el objetivo de acelerar el desarrollo de las Islas Australes, transportando suministros vitales y hasta 200 turistas en la ruta de Tahití al archipiélago del Pacífico Sur.

David Ferrer, cofundador y CTO de bound4blue, comenta: “Se trata de un contrato muy destacado para bound4blue ya que marca la primera vez que nuestra tecnología es elegida para un buque de nueva construcción, habiendo pasado por un proceso de licitación internacional muy competitivo”.

Este buque, de 89 m de eslora, será construido en Armón Vigo. El apoyo financiero ha sido otorgado a través de la iniciativa Appel à Manifestation d'intérêt del gobierno francés. El proyecto cumple los criterios de renovación de la flota, impulsando el negocio de cruceros y apoyando el empleo local y objetivos de sostenibilidad.

El proceso de diseño de este barco realizado por Cotenaval se ha centrado en sistemas de última generación y optimizado para reducir el consumo total de energía, las emisiones y los costes de mantenimiento. Además, la flexibilidad y las operaciones rápidas de carga/descarga han sido puntos clave en el diseño. El confort y la apariencia moderna de las áreas de alojamiento, proporcionando un amplio espacio para el ocio y manteniendo

la luz natural en las áreas del barco, siempre han sido aspectos cruciales de este diseño.

Na Pae e Hiro estará equipado con motores capaces de funcionar con biocombustible o e-combustible, en el momento que este se encuentre comercialmente disponible en la región. También ofrece eficiencia en términos de tratamiento de residuos, propulsión eléctrica POD y autonomía en el suministro de agua dulce. La capacidad de carga del buque es de 1.500 t, casi cuatro veces más que su predecesor, Tuhaa Pae IV, lo que se traducen en un consumo y emisiones por tonelada de carga que se ven considerablemente reducidos.

El barco actual, el *Tuha'a Pae IV*, fue encargado a finales de 2012. Como pulmón de estas islas remotas, este barco de carga mixta puede transportar productos esenciales como gasolina, gas y transporte de pasajeros. En 2020, la empresa, que ya ofrecía cruceros de forma ocasional, decidió impulsar esta actividad al establecer una asociación con una agencia de viajes local. Las posibilidades de sinergias con esta actividad, que tiene un fuerte potencial de desarrollo, convinieron a la dirección de realizar los ajustes necesarios. La licencia otorgada al armador requiere un número de 26 rotaciones anuales, excluyendo años de renovación, excepto para Rapa, donde se planifican 12 rotaciones anuales.



## El hidrógeno verde y los biocombustibles crearán 1,7 millones de empleos en Europa hasta 2040

Cepsa y Manpower han presentado en Davos el informe: “Las moléculas verdes: la inminente revolución del mercado del empleo en Europa”.

### Datos clave:

Este informe señala que los combustibles renovables aumentarán el PIB europeo en 145.000 M€ hasta 2040.

El estudio anticipa que España liderará la producción de hidrógeno verde en Europa y que será el país que más empleos vinculados a moléculas verdes genere con 181.000 a 2040, por delante de Reino Unido (173.000), Alemania (145.000) y Francia (105.000).

Los nuevos empleos requerirán más competencias vinculadas a la transición energética, con el 55% de las nuevas posiciones en 2040 en el caso de España, donde se prevé que las mujeres ocupen el 51% de los nuevos empleos generados en la industria del hidrógeno verde y los biocombustibles.

Se trata de un informe pionero que analiza por primera vez el impacto económico de las moléculas verdes en términos de generación de empleo. El informe anticipa que España liderará en las próximas dos décadas la producción de hidrógeno verde y el crecimiento

del empleo relacionado. El efecto tractor de la industria española vinculada a las moléculas verdes generará más de 116.000 puestos de trabajo en esta década y 181.000 hasta 2040, que corresponden al 11% del empleo total generado en la UE y Reino Unido.



Accede al informe  
escaneando el  
código QR

científicos e ingenieros de nivel medio y alto, electricistas, directores de administración y comerciales, peones de minería y construcción, profesionales IT y operarios de metalurgia y maquinaria. Los profesionales que quieran

En términos de crecimiento económico (PIB), el sector aportará 15.600 M€ adicionales hasta 2040, esto supondría un incremento del 1% respecto al PIB del 2022.

España es el país donde los nuevos empleos requieren de más competencias vinculadas a la transición energética a 2040, con el 55% de las nuevas posiciones. Además, el estudio señala que se reduce la brecha de género que existe en la actualidad en el sector energético, alcanzando el 37% de representación de mujeres en la industria de las moléculas verdes. Esto se debe a un ritmo mayor de incorporación de mujeres, que duplicaría su incorporación al de los hombres entre 2030 y 2040, permitiendo que las mujeres ocupen el 51% de los nuevos empleos directos generados en combustibles renovables al final de la década de 2040.

### Crece la demanda de profesionales técnicos

Sólo 20 ocupaciones copan 8 de cada 10 nuevos empleos generados en la industria de los combustibles renovables: son fundamentalmente puestos técnicos de nivel medio y superior. Hasta 2040 crecerá la demanda de

aprovechar uno de los nuevos empleos que se crearán, han de estar formados en alguna o varias de las competencias necesarias para desempeñar estas ocupaciones.

A la vez, es necesario movilizar a los profesionales de ocupaciones que perderán relevancia para que puedan reciclarse en otras más demandadas

El 88% de los nuevos empleos generados por el hidrógeno verde y los biocombustibles a 2040 surgen en otros sectores distintos al energético, como el sector servicios, industrial o la construcción, lo que señala que la economía de las moléculas verdes tiene un impacto tractor en toda la cadena de valor productiva. El informe señala que la transición requiere de upskilling y reskilling del 60% de los profesionales en Europa para dotarlos de habilidades green críticas.

Países como Italia, Alemania y la propia España se enfrentan a las mayores brechas de habilidades que deben abordarse mediante la formación profesional, herramientas de mapeo de la población activa y sus capacidades y la colaboración público-privadas.





De izquierda a derecha Maarten Wetselaar, CEO de Cepsa, Juan Manuel Moreno Bonilla, presidente de la Junta de Andalucía, y Brian Davis, CEO de C2X.

## Cepsa y C2X convertirán al puerto de Huelva en el principal hub de metanol verde de Europa

Cepsa y C2X, compañía independiente cuyo accionista mayoritario es A.P. Moller Holding y su accionista minoritario es A.P. Moller – Maersk, construirán una planta de producción de metanol verde en el puerto de Huelva, en la Punta del Sebo.

Esta planta situará a Andalucía como punta de lanza en la producción mundial de energía renovable para algunos de los sectores más difíciles de descarbonizar, como el transporte marítimo y aéreo o la industria química.

Esta planta, que será la mayor planta de metanol verde de Europa, contará con una capacidad de producción anual estimada de 300.000 toneladas, lo que evitará la emisión de hasta un millón de toneladas de CO<sub>2</sub>. Además, el proyecto podrá crear 2500 empleos

directos e indirectos. La decisión final de inversión, de 1000 millones de euros, está prevista para el próximo año y el inicio de la operación de la planta para 2028.

Cepsa está desarrollando junto a sus socios el mayor hubs de moléculas verdes de Europa con el Valle Andaluz del Hidrógeno Verde y los proyectos de biocombustibles 2G que está impulsando en España, que suman una previsión de creación de hasta 14.000 empleos directos, indirectos e inducidos.

Los planes de Cepsa incluyen dos plantas de hidrógeno verde de 1GW cada una, con una capacidad de producción anual de 300.000 toneladas; una planta de amoníaco verde con una capacidad de producción anual de 750.000 toneladas, una planta de metanol verde con una capacidad de producción anual de 300.000 y una planta de biocombustibles con capacidad para producir 500.000 toneladas de diésel renovable y combustible de aviación sostenible (SAF) al año.



# STATE OF THE CRUISE INDUSTRY

## SEPTEMBER 2023 UPDATE



Accede al informe  
escaneando este código



## La industria de cruceros en 2023 supera los niveles pre Pandemia

Según el último informe sobre el estado de la industria de cruceros publicado por CLIA (Asociación Internacional de Líneas de Cruceros), la industria de los cruceros está mostrando signos de recuperación y se espera que supere año tras año hasta 2028 los niveles registrados en 2019 (que eran máximos históricos).

Según el informe, se prevé que la capacidad mundial de cruceros crecerá un 19%, superando los 746.000 amarres, entre 2022 y 2028, y que el 85% de los pasajeros que ya han viajado en crucero, afirman que volverán a hacerlo, un 6% más que antes de la pandemia.

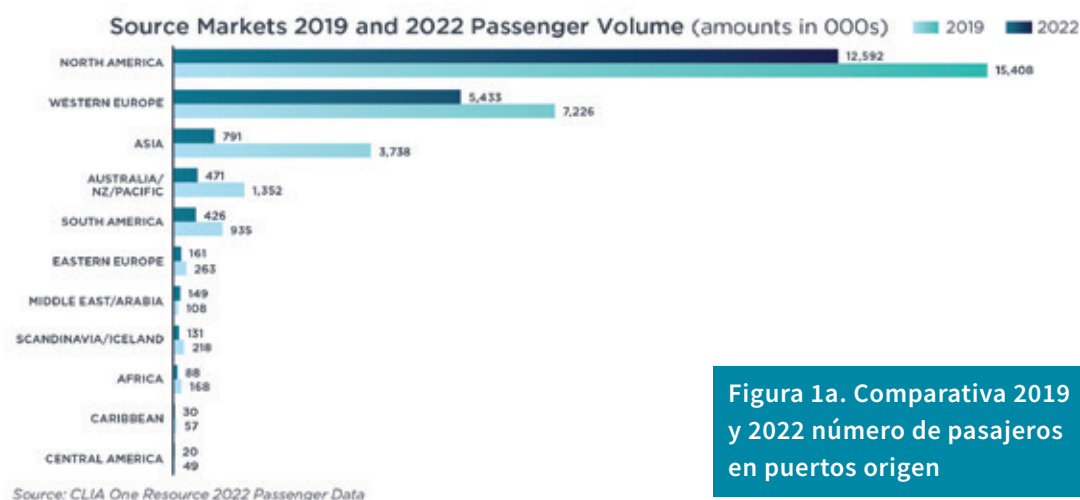
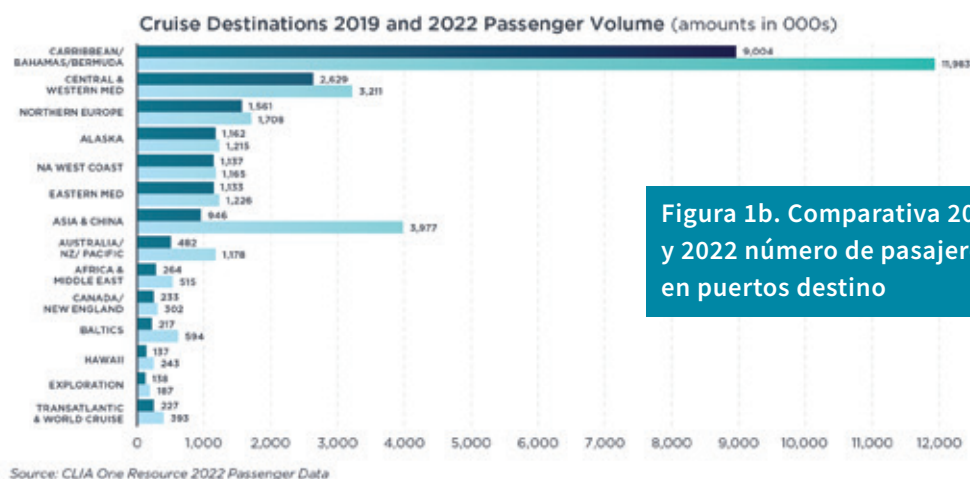


Figura 1a. Comparativa 2019 y 2022 número de pasajeros en puertos origen



Source: CLIA One Resource 2022 Passenger Data

Norteamérica, sigue siendo el mayor mercado emisor de cruceros, tanto como origen como destino, tal y como podemos apreciar en las figuras 1a y 1b.

Entre los diez puertos con mayor tráfico de pasajeros de crucero durante 2022 encontramos dos españoles, en segundo lugar Barcelona y en último lugar Palma de Mallorca.

**Tabla 1. Top 10 puerto en 2022 (por tráfico de pasajeros).**

Puerto/Destino	Escalas	Total
Miami	982	5.873.807
Barcelona	794	5.480.144
Puerto Cañaveral	799	5.045.540
Civitavecchia	744	4.994.667
Marsella	584	4.705.379
Nassau	971	3.115.508
Génova	318	3.040.835
Everglades	479	3.019.974
México	984	3.012.820
Palma de Mallorca	449	2.562.777

A lo largo de 2023, se incorporaron 14 nuevos buques de crucero, 6 de ellos salieron de Fincantieri (Italia), 2 de Meyer-Werft (Alemania), otros 2 de Chantiers de L'Atlantique (Francia), y el resto de otros astilleros de Finlandia, Vietnam, Croacia e Italia. Las compañías de cruceros que incorporaron

nuevos buques fueron: Carnival Cruise Line, Celebrity Cruises, Emerald Cruises, Explora Journeys, MSC Cruises, Norwegian Cruise Line, Oceania Cruises, Regent Seven Seas Cruises, Seabourn, Swan Hellenic Cruises y Virgin Cruise Line.

**Tabla 2. Cartera de pedidos 2023-2028.**

Año	N.º de buques	Capacidad media de pasaje
2023	14	2.109
2024	12	2.505
2025	8	3.978
2026	4	3.521
2027	4	2.724
2028	2	2.286

Y del último informe encargado por CLIA a Tourism Economics / Oxford Economics se extrae que la industria de cruceros tuvo un impacto económico de 5.370 M€ (45% gasto directo, 34% gasto indirecto y 21% gasto inducido) y generó más de 42.240 puestos de trabajo en España en 2022.

## Responsabilidad medioambiental

Si bien, el GNL es el combustible más limpio adoptado por las compañías de cruceros, estas siguen explorando otras opciones como biocombustibles, combustibles



**Figura 3. Mapamundi  
puertos con conexión a  
tierra. A septiembre de 2023**

sintéticos, metanol, hidrógeno, pilas de combustible y baterías. De hecho, el 15% de los buques que entren en servicio hasta 2028 dispondrán de baterías y/o pilas de combustible, y el 60% de la cartera de pedidos emplearán GNL como combustible principal.

Así mismo, CLIA estima que hasta 2028 las nuevas construcciones estarán equipadas con sistemas de cold ironing para sus estancias en puerto.

Actualmente, el 30% de la flota está preparada para conectarse a la red terrestre. 29 puertos en todo el mundo ya disponen de conexión a tierra (menos del 2% del total mundial), a los que se sumarán en 2025 20 puertos más (Ver figura 3).

### **El puerto de Barcelona realizó casi 200 operaciones de bunkering de GNL en 2023**

Según informa el puerto de Barcelona, en 2023 se llevaron a cabo un total de 199 operaciones de suministro de gas natural licuado

(bunkeing GNL), que sumaron 143.000 m<sup>3</sup>. Cifra que duplica el volumen de las operaciones de bunkering realizadas en 2021 (65.000 m<sup>3</sup>).

El puerto apunta que la normalización de los precios y la puesta en servicio del Haugeund Knutsen han hecho incrementar de forma notable las operaciones de suministro de GNL, especialmente las operaciones ship to ship (STS).

Con su incorporación se ha ganado mayor flexibilidad operativa y se han reducido sustancialmente los costes del servicio. Durante 2023 ha suministrado 127.500 m<sup>3</sup> de GNL y realizado 66 operaciones de suministro STS.

Balearia ha reanudado las operaciones de bunkering TTS (truck to ship) a sus buques en este puerto, realizando un total de 133 operaciones y suministrando 15.500 m<sup>3</sup> de GNL.



# CONFLICTOS.

## Estrechos y canales: desafío al transporte marítimo y a la economía mundial



**Por José-Esteban Pérez García**

I.N. Colegiado nº 700

Ex vicepresidente del Grupo de Construcción Naval del Consejo de la OCDE.

Ex secretario general , Community of European Union Shipbuilders Associations.  
y Director General AWES. Ex director Ast. Cádiz (AESA).

Académico de Número de la Real Academia de la mar.

Ex Presidente Comité Asuntos Marítimos IIE.



El mundo marítimo está encarando en esta época de cambio de año, un panorama muy convulso, propiciado por desafíos de todo tipo, de variado origen y con múltiples coincidencias. Unos eran esperados y otros no, al menos para la inmensa mayoría de las gentes que prestan alguna atención a lo que el mar representa.

Cuando un máximo de atención está puesta en asuntos claves, como la descarbonización del transporte marítimo y su influencia en el cambio a rutas “verdes” con capacidad para suministrar a los buques los nuevos combustibles que se están desarrollando, cuando se discute en los foros marítimos, con ese mismo fin, el asunto de la reducción de las velocidades de navegación y consecuentemente el tamaño de los buques y la adaptabilidad del conjunto buques-puertos, cuando atravesamos, más unos que otros, una época de inflación importante y un problema de desaceleración del crecimiento económico, especialmente acusado en Europa, y en un ambiente bélico en lugares clave, el sistema circulatorio vital para el desarrollo del comercio, la fluencia de bienes de todo tipo, el ajuste de las cadenas de suministro, dañadas estos últimos años por la pandemia y sus ramificaciones, ese sistema al que nos referimos por similitud con el de la circulación de la sangre en el cuerpo humano, sufre dos “infartos” al mismo tiempo. Uno se debe a causas en las que se mezcla el terrorismo y la guerra, y el otro a causas naturales. Ambos se producen en lugares estratégicos para el transporte marítimo y, por tanto, a todo cuanto depende de él.

**La población mundial se enfrenta en un futuro inmediato y a medio plazo, a un porvenir inestable, en un año complicado políticamente, en el que ya hay situaciones bélicas y prebélicas amenazantes, múltiples elecciones importantes en países y zonas claves, se enfrenta, decimos a una debilidad peligrosa, propia de un periodo**

**de decrecimiento o de estancamiento de la actividad económica y de desarrollo, que contrasta con unos largos años pasados de crecimiento y estabilidad, aunque con algún que otro susto. Ahora, los contornos de los problemas se han extendido y mezclado y las decisiones que los “países rectores” en el mundo deberían tomar son muy, muy difíciles, porque las condiciones en el escenario mundial requieren soluciones de muchísimo calado en las que la equivocación puede cambiar el futuro.**

**¿Qué pinta el mundo marítimo en todo esto?**

**Pues lo pinta todo; y será el primer transmisor del efecto de los acontecimientos en las sociedades en las que vivimos. Eso requiere plantearse con información, criterio y colaboración, los “mapas” de posicionamiento y actuación, y las posibles consecuencias generales de las decisiones geopolíticas.**

### **El mar Rojo y el canal de Suez**

En cuanto al primer caso, surge con los ataques lanzados por los terroristas Houthi que dominan la mayoría del territorio del Yemen contra buques mercantes que surcan las zonas del Golfo de Adén, el estrecho de Bab-El-Mandeb y el sur del mar Rojo. Como dato geográfico, podemos decir que dicho estrecho tiene unos 115 km de longitud, y en su zona más angosta, su anchura no llega a los 30 km. En el lado africano están Eritrea y Djibuti, mientras que la costa asiática es de Yemen, desde hace años dominados prácticamente por los Houthi.

Los ataques están relacionados con el conflicto en la franja de Gaza entre Israel y Hamás, y en apoyo a estos últimos. Como era de esperar, la situación ha disparado las alarmas en la sociedad marítima internacional que piden que se “haga algo” para asegurar la libre navegación por la zona, pues si la dificultad se

**Tabla 0. Indicadores económicos**

Países	PIB 22 en %	Pobl. en mill.	PIB 23* %	Deuda % PIB	Ppto. % PIB	Pro.Ind %año	IPC *-23	Tasa Interés	Divisa/ \$	Coste trabajo	Desempleo	H Trab/ año	Salario/ mes	En CO <sub>2</sub> /cáp	En CH <sub>4</sub> %**
España	5,5	47,6	2,3	112,8	-4	107	3,5	3,6	0,91	1,9	12	1.577	2.064	4,92	500
EuroZona	3,5	0,3	0,6	95,6	-3	109	5,5	2,4	0,91	2	6,5	1.513	1.903	6,13	
Francia	2,6	64,7	0,9	111	-5	100	5,7	3,1	0,91	0,5	7,3	1.402	3.137	4,66	29
Alemania	1,9	83,3	-0,2	69,6	-2	95	6	2,4	0,91	0,6	3,1	1.322	4.094	8,05	86
Italia	3,9	58,9	0,7	151	-5	104	6,1	4,2	0,91	1,5	7,8	1.657	2.333	5,55	183
Irlanda	10,1	5,06	2,4	44,3	2	144	3,9	4	0,91	1,8	4,8	1.809	3.241	6,68	-49
R. Unido	4	67,7	0,4	107	-4	110	6,8	4,3	0,79	2	4,3	1.370	5.460	5,15	-24
Rusia	-2,3	144,4	2,8	17	-3	125	6,2	11,7	88,7	0,4	2,9	1.874	1.400	12,1	502
EE. UU.	2,1	340	2,4	129	-6	99	4,1	4,3	1	4,1	1.767	3.600	14,86	844	
China	3	1.425,60	5,5	71,5	-4	113	0,7	2,6	7,12	2	5	2.174	1.820	8,05	614
Japón	1,4	123,3	1,8	262,5	-5	94	2	0,7	147	0,5	2,5	1.738	2.808	8,57	236
India	6,9	1.428,60	6,7	84,2	-6	127	5,7	7,2	83,3	6,3	8,1	2.117	1.454	1,92	347
Corea Sur	2,6	51,7	1,3	51,3	-3	109	3,7	3,6	1.290	1,5	2,3	2.063	3.122	11,94	433

FIN diciembre 2023

Unión Europea: Financiación "Next generation" en miles de millones €: Recuperación y resiliencia 312,5 y 360,0 en créditos.

Otras financiaciones: 77,5. Tasa de interés: Bonos gobierno a 10 años. Coste trabajo: Bruto + SS. 2016= 100 % sobre 2022.

Previsión 2023 CO<sub>2</sub>/ cápita en 2021/ 2020. Mundo 4,6 %(\*\*) CH<sub>4</sub>: Variación Emisiones (T. Equivalentes CO<sub>2</sub>). 1850-2021

Prod. Ind, manufacturas, 2015= 100desempleo: % sobre población activa: España: no incluye Fijos Discontinuos

Fuentes: The economist, Trading Economics. OCDE, BCE, B.España, datos macro, Our world in data, countryeconomy.com, Eurostat

**Indicadores Marítimos**

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Flota Mundial. 1.000 Mtpm	1.747	1.806	1.862	1.964	2.058	2.016	2.116	2.200	2.309
Tamaño medio en Mtpm x 1.000		36	37	37	37	38	39	39	39
Cartera mundial NC % Flota	17	17	11	10,3	8,8	10	10,8	10	10
Tráf. mar. Mund.MT-milla	51.113	52.775	53.361	56.996	57.399	56.993	58.365	59.055	61.418
Traf. Mar. Mundial Mt	10.023	10.295	10.716	11.019	11.071	10.648	11.063	12.119	12.410
Cartera Mundial NC. Mcgt	110	89	83	85	82	8	24	45,7	109,1
Entregas NNCC en Mcgt	39	37	35	33	35	30	45,3	38	
Peroleo Brent \$/barril	36,7	55,2	68,7	62,7	69,3	83,5	77,8	84,86	78
Comb Ifo-380 \$/ton (Rott)	162	213	370	367	251	450	458	418	449
Comb MGO/VLSFO \$/t	335	383	593	544	567/502	687/580	697	535	747/558
Metanol \$/t Verde/gris									450
LNG \$/MMBTU. H.Hub	1,93	3	3,12	2,73	2,33	5,08	5,05	3	257
Acero plancha. \$ / ton (Ch)	420	460	580	600	580	850	750	905	900
PIB MUNDIAL 2023. Mill US\$	74.954	76.153	80.823	85.883	87.390	84.971	94.935	103.860	105.568
Emisiones CO <sub>2</sub> % Total mund.				2,3	2,2	2,5	3	2,3	2,3

Emisiones CO<sub>2</sub> del transporte marítimo totales en 2022: 855 millones de toneladas

Fuentes: UNCTAD, Lloyds, OCDE, datos macro, maritime ex., Fearnresearch, ABS. World Bank, BIMCO

Acero: ASTM A 131 Grade B 20/25 mm Asia. Comb: Ship &amp; bunker.com marine methanol. (\*) Estimación

Fechas: Se entiende fin de año o de mes

prolonga en el tiempo, el coste del transporte marítimo se disparará, así como se pondrá en peligro el suministro de energía. Varias navieras importantes, como Maersk, Evergreen,

MSC, HapagLloyd, CMA CGM, BP y otras, han tomado la decisión de suspender todo el tráfico a través del canal de Suez hasta tener confirmada la seguridad de las personas y las

**Tabla 1. Precios de nuevas construcciones en MUS\$**

	2019	2020	2021	2022	2023
<b>PETROLEROS</b>					
VLCC (300.000 tpm)	92	86	109	121	124
Suezmax (150.000 tpm)	61	56	76	84	82
Aframax (110.000 tpm)	48	47	61	64	66
Panamax (70.000 tpm)	45	41	36	42,5	54
Handy (47.000 tpm)	36	34	33	33	52
<b>GRANELEROS</b>					
Capesize (170.000 tpm)	50	46,5	60	61	67
Kamsarmax*(82.000 tpm)	27	26	33	34	38
Handymax (60.000 tpm)	25	24	30	31	35
Handy (35.000 tpm)	23	23	28	28	32
<b>PORTACONTENEDORES</b>					
1.000 teu	19	18,5	18,5	16,7	23
3.500 teu	40	40	50	32	27
6.700 teu**	72	72	72	66	42
8.800 teu***	89	88	95	81	86
13.000 teu****	109	108	140	112	126
20.000 teu	145	144	182	150	190/240**
<b>GASEROS</b>					
LNG 174.000 m <sup>3</sup> *)	186	186	208	260	260
LPG 82.000 m <sup>3</sup>	71	71	82	76	69
<b>CAR CARRIER</b>					
3.500-4.000 / 6.500 ceu	59	59	67	68,5	68,5
2.300-1.700	48	47,6			
<b>MULTIPROPÓSITO</b>					
17.200 tpm	25	21,5	21,5	22°	22

Fin diciembre 2023. LNG: antes 160.000 m<sup>3</sup>

(\*) Antes 70.000 (\*\*) Antes 6200. (\*\*\*) Antes 8000. (\*\*\*\*) Antes 12000. (Antes 20.000 teu)

Fuente: ATHREP, Baltic Exchange, Clarkson, OCDE, ITF, Fearnleys O. Report  
Athenian R 11/2022. R 5/23. (\*\*) Metanol

mercancías que sus buques transporten por las zonas afectadas. En tanto esto no suceda, navegarán por la ruta del cabo de Buena Esperanza, lo que supone un tiempo de tránsito de aproximadamente 12 días más que la ruta de Suez en las rutas en ambas direcciones, hacia Europa desde la Península Indostánica o el Extremo Oriente y viceversa. Pongamos como ejemplo algunas cifras en los trayectos Taiwan-Rotterdam, por Suez y por El Cabo:

- Vía mar Rojo-Suez  
10.000 millas náuticas. 25,5 días
- Vía El Cabo  
13.500 millas náuticas. 34,0 días

Estas cifras, (ofrecidas por Vesson Nautical) que corresponden a grandes buques porta-contenedores navegando a 16,5 nudos se transformarían prácticamente en el doble de tiempo si dichos buques navegaran a una velocidad económica de 8 nudos, siguiendo recomendaciones de reducción de emisiones como las mencionadas en artículos anteriores, en cuyo hipotético caso, sí sería útil poner más buques, aunque esto distorsionaría aún más la actividad de los puertos.

Por todo ello, y también por disponibilidad y por el mal funcionamiento de los motores propulsores de hoy, parece improbable que

se tomen medidas excesivas respecto a las velocidades de navegación.

Desde otras perspectivas, damos a continuación algunos datos sobre la importancia del asunto, con la clara sensación de que todo esto y algunas otras cosas no van a ayudar en absoluto a rebajar la inflación, especialmente en Europa y paralelamente a distorsionar más el funcionamiento de las cadenas de suministros que se estaban poniendo en orden tras los destrozos causados por la pandemia del Covid 19.

Un 62 % de la capacidad de los buques que habitualmente transitan por la ruta del mar Rojo (95 % de ella corresponde a los buques portacontenedores), parece haber decidido por la ruta de El Cabo<sup>1</sup>.

La situación es confusa en lo que se refiere a los objetivos reales de los objetivos de los Houthis, pero en cualquier caso se plantea un dilema importante a resolver una vez tomada la decisión de bordear Sudáfrica. Hay que elegir entre aumentar la velocidad de los buques, o poner más buques en esos tráficos, lo que, en ambos casos, resulta contrario a los programas de descarbonización de las marinas mercantes, además de incrementarse el coste del transporte por tonelada de carga o por contenedor, costes asociados como los seguros y otros. En el momento presente, y en lo que se refiere al petróleo, un ataque de EE. UU. y el RU a los Huthies en el Yemen ha provocado una subida de casi 4 US \$ por barril. Esto augura más subidas si el conflicto se amplía y toma más cuerpo, no sólo en la zona del sur del mar Rojo y golfo de Adén, sino en las fronteras de Israel con Cisjordania y Líbano, además de la guerra en la Franja de Gaza.

**Si el conflicto se amplía territorialmente, otros países se tendrán que involucrar, y todos sabemos cómo estas cosas empiezan,**

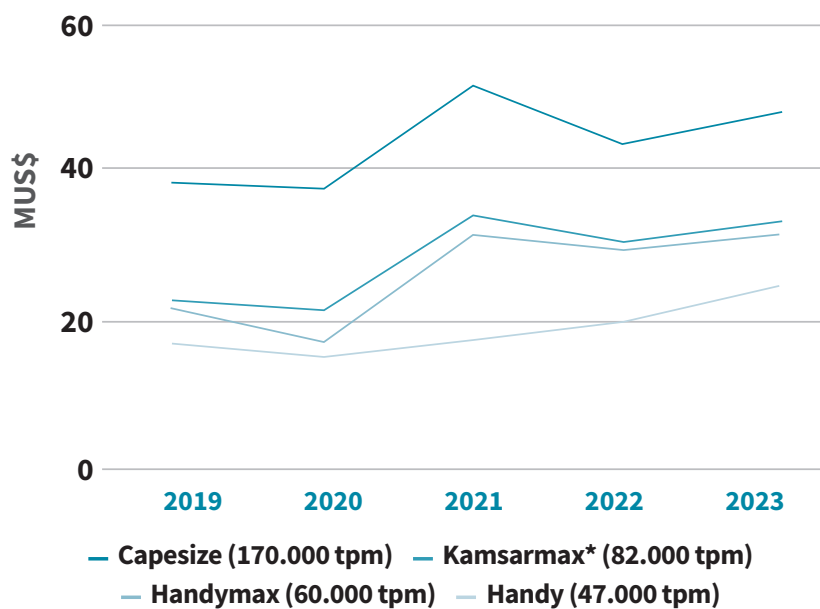
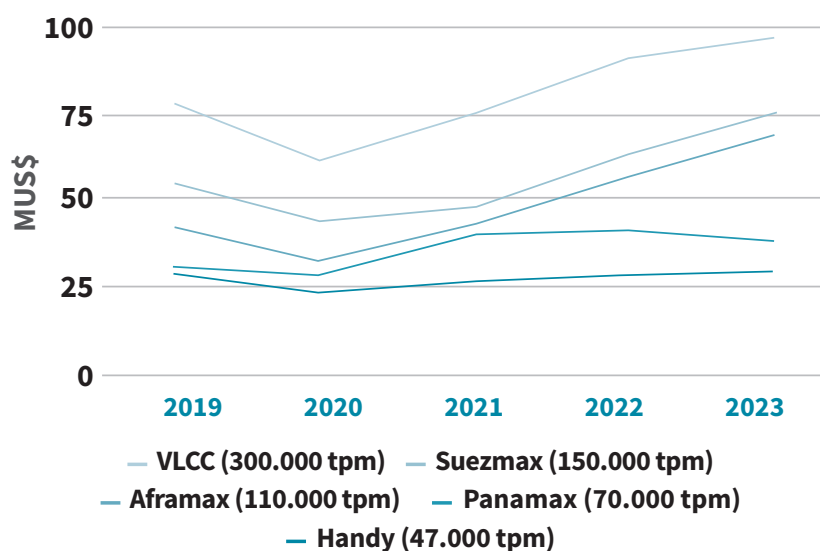
**pero nunca como terminan. Hay que considerar que, en lo que respecta a Europa, el 40 % de sus intercambios con Asia se lleva a cabo a través del mar Rojo, incluyendo productos energéticos de los que Europa depende en gran medida.**

Según Drewry, las subidas de precios que se materializarán, no alcanzarán el nivel que se registró en el periodo de la pandemia del Covid.

Sin embargo, todo dependerá de la duración del conflicto (en una zona que es de por sí altamente explosiva), y de las ramificaciones que se puedan producir. La habitual respuesta del sector naviero en situaciones que afectan a la demanda como la que relatamos, puede ser la de contratar nuevos buques, pero aún es pronto para realizar un diagnóstico en un escenario tan volátil, que no viene sólo determinado por el conflicto en el Oriente Medio y en la zona del mar Rojo.

Sin embargo, el escenario ahora es más complejo y, aparentemente, menos grave que el que se vivió con los atascos y retrasos en la época del Covid. En algunas rutas los fletes spot están superando los 20.000 US \$ por contenedor (20 pies). Esta situación está ayudando a las navieras de contenedores a revertir una coyuntura negativa que derivó en pérdidas acumuladas en el periodo 2016-2019 de 8.500 millones de US \$. Los beneficios registrados en 2022 ascendieron a 215.000 millones de US \$, lo que predispondría al sector naviero a pensar en encargar más buques si el estado de cosas provocado por los ataques en el mar Rojo se prolonga en el tiempo. Además, la reacción de las fuerzas navales agrupadas bajo la dirección de EE. UU. y el RU en la zona puede desencadenar una cronificación de los combates, máxime cuando siguen sin estar claros los anuncios Huthies sobre cuáles son sus buques objetivo (al parecer si tocan puertos israelíes o son de





Tipos mes/año 23	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total/tipo
Petroleros	36	39	46	35	49	48	26	11	18	55	41	404
Graneleros	33	34	59	46	53	53	47	37	45	39	48	494
Gaseros	10	8	4	3	6	6	2	1	2	1	5	48
Contenedores	9	13	10	12	16	18	14	7	8	15	5	127
Carg/mpp	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Frigo	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	3
RoRo	0	0	2	4	4	0	4	3	1	6	2	26
Ferry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crucero	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2
<b>Total buques</b>												<b>1.106</b>

figura 1c.

**Mercado de compra/venta de buques**

Cifras, n° buques al final de cada mes.

Se excluyen ventas por desguace

Fuentes: Athenian SB

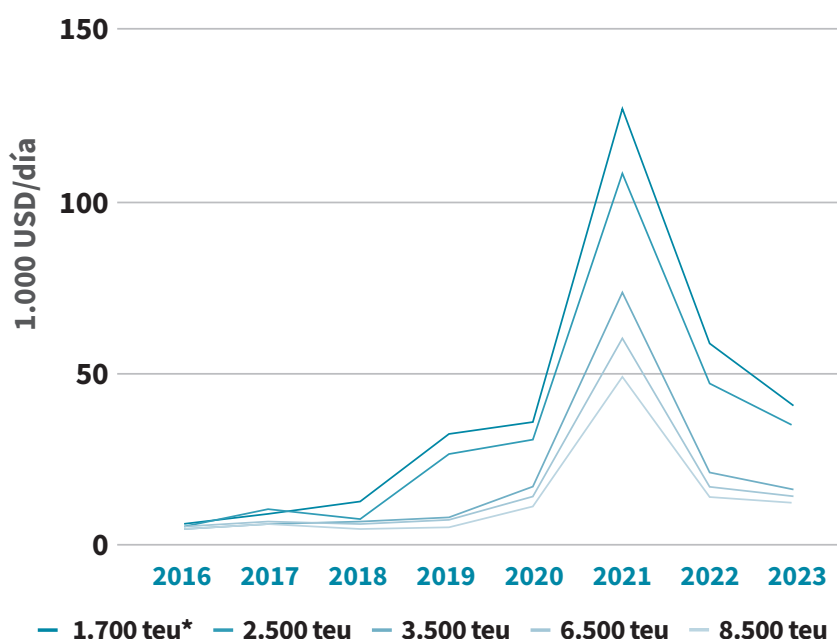


figura 2.

**Portacontenedores. T/C a 1 año en 1.000 USD**

dic-23

Fuente: Harper Petersen

bandera judía). Tampoco se puede aventurar lo que puede suceder si se producen ataques al puerto de Eilat, única salida de Israel al mar Rojo, y conexas con Jordania, Arabia Saudita y Egipto a través de la península del Sinaí. Una encrucijada explosiva.

Por su parte, la Unión Europea prepara una reunión de sus miembros para participar con fuerza naval en la operación de protección del tráfico marítimo en la zona mencionada, no estando claro si la misión estaría integrada en la ya existente o actuaría de manera independiente. La posición de España es

negativa, a la espera de lo que se decida. Lo importante es valorar la enorme importancia que tiene la protección de un transporte marítimo libre para todo el mundo, y si tal cosa sobrepasa en responsabilidad a las políticas interiores de los intervinientes, actuar en consecuencia.

Pero continuando con la parte del mundo que nos ocupa y lo que está sucediendo en ella y su importancia en el escenario mundial, es bueno resaltar algunas cifras y su evolución. Hasta la apertura del canal de Suez en 1869, los buques que navegaban el mar Rojo

**Fletes carga seca. 1.000 US\$/día(Promedio)**

Tipo	1 / 2 Año		1 Año		2 Años	
	Atlant	Pacific	Atlant	Pacific	Atlan	Pacific
Capesize	20	20	20,5	20,5	19	19
Pan/kmax	20	14,65	18	15,75	14	14
Sup/Ultra max	18,5	14	13	13,25	12,5	12,5
Handy	15,5	12	12	12,5	10,5	11
<b>Fin diciembre 2023</b>						
Capesize	22	22	20,5	20,5	18	18
Pan/kmax	14	14	15,7	15,7	14	14
Sup/Ultramax	16,5	14	13,5	13,2	12,5	12,5
Handy	14	11	10	12	9,5	10,5
<b>Fin diciembre 2023</b>						

Fuentes: Alibra SL, At. Sbrokers, Elab Propia

**Fletes graneles líquidos. 1.000 US\$/día (Promedio)**

Tipo	Spot	1 Año	3 Años	5 Años
VLCC	50	46,5	52,5	50
Smax	55	45	42,5	38,5
Aframax	56	45	40,5	37,5
LR 2		31	41,5	39
LR1		36,5	30	28,5
MR IMO 3		25	27	24
Handy		26	24	22,5
<b>Fin diciembre 2023</b>				
VLCC	75	45	50	47,5
Smax	68	44	40	37,5
Aframax	47	41,5	38,5	36
LR 2		41,5	39,5	37,5
LR 1		30	29	27,5
MR IMO 3		25	25	24
Handy		24	21	19
<b>Fin octubre 2023</b>				

NOTA: Para 3 y 5 años buques con Scrubber. (\*) Oriente medio &gt;&gt; Occidente. Fuente: Alibra SL, ATBS, Fearnleys

**Fletes buques gaseros**

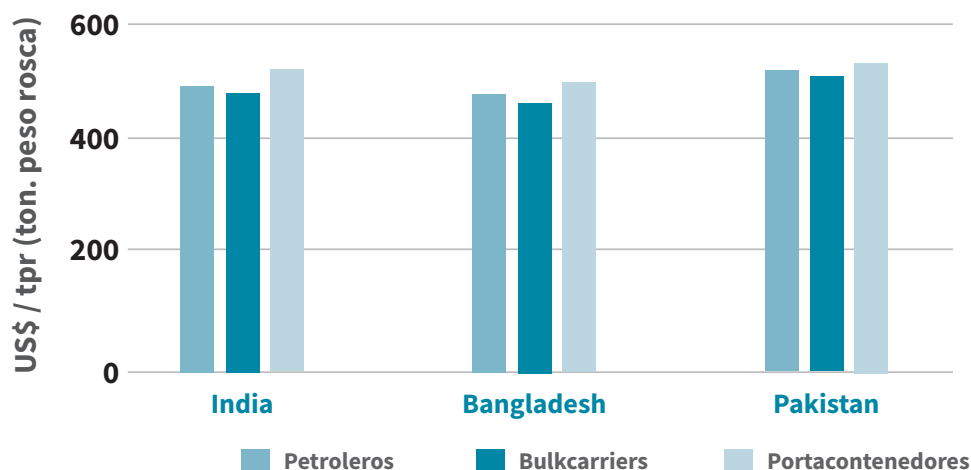
Año	2021	2022	2023
LLPG 82.000 spot. Butano Mar del Norte. US\$/t	426	557	500*
LNG 160.000.Spot Oeste Suez. 1.000 US\$/Día	150	200	95
LNG 160.000 TC 1 Año. 1.000 US\$/Día	47	184	67,5

dic-23. Fuente: Fearnleys. (\*) Butano

transportaban especias, café y esclavos. En la actualidad, en 2023, alrededor de 24.000 buques, que suponen aproximadamente del 10 al 12 % del transporte marítimo mundial en volumen<sup>3</sup>, han atravesado el canal que comunica al mar Rojo con el Mediterráneo. Esta

cifra incluye el 20 % del tráfico global de carga contenerizada, cerca del 10 % de petróleo, y un 8 % de gas natural licuado.

En lo que respecta al transporte de GNL, durante el pasado año y según Bloomberg,



**figura 3.**  
**Desguace de buques**

Fuente: Athenian Shipbrokers

el número de buques GNL cruzando rutas de importancia estratégica se ha repartido de la siguiente manera: mar del Norte 30; canal de Panamá 153; cabo de Nueva Esperanza 210, y canal de Suez 408. Se aprecia así la gravedad de un bloqueo en el mar Rojo. Los cambios de ruta por Sudáfrica pueden suponer en el tráfico desde el Extremo Oriente al norte de Europa aún más días que los mencionados anteriormente, si bien es cierto que evitar pasar por el canal de Suez ahorra gastos como la “tarifa de paso” del dicho Canal, que aumentaba desde principio de 2024 entre un 5 a un 15 % (en función del tamaño, con lo que los grandes portacontenedores se encontrarían entre los más afectados); y el coste de los seguros, pues las compañías aseguradoras aplicarían un aumento por “primas de guerra”, que ya a final de año habían pasado de un 0,07 a un 0,2 % del valor del buque.

Parece lógico que esa tendencia de la que hemos hablado, y que ha inducido repetidas veces a los armadores y operadores a aumentar su cartera de pedidos en los astilleros constructores, esta vez se modere y se coloque, no en todos los casos, en la posición de “esperar y ver”, y en la misma se coloquen los propios astilleros, según sean estos chinos, coreanos y japoneses, ya que los demás, especialmente los europeos tienen

muy pocas posibilidades en la actualidad. Punto este sobre el que volveremos.

Hay que anotar otras consideraciones que hacer, como la inevitable disrupción que se produce en los puertos por las llegadas y/o salidas de muchos buques afectados por la situación. El panorama será tanto más caótico cuanto más dure el conflicto que origina los ataques y diferentes sean las decisiones sobre las rutas que tomen los armadores, especialmente los que dominan los grandes tráficos. Igualmente, sucederá con la elección de las velocidades junto con la decisión sobre el número de buques por ruta combinada con la capacidad de los puertos.

### El estrecho de Malaca

Hemos hablado de los problemas que se están produciendo en el transporte y el comercio marítimo mundial como consecuencia de los conflictos militares en Oriente Medio y el mar Rojo, por un lado, y el cuello de botella sobrevenido en el canal de Panamá a causa de la larga e importante sequía que daña la operatividad del paso entre el Atlántico y el Pacífico.

Teniendo en cuenta el aumento de la inestabilidad geopolítica a lo largo y ancho del



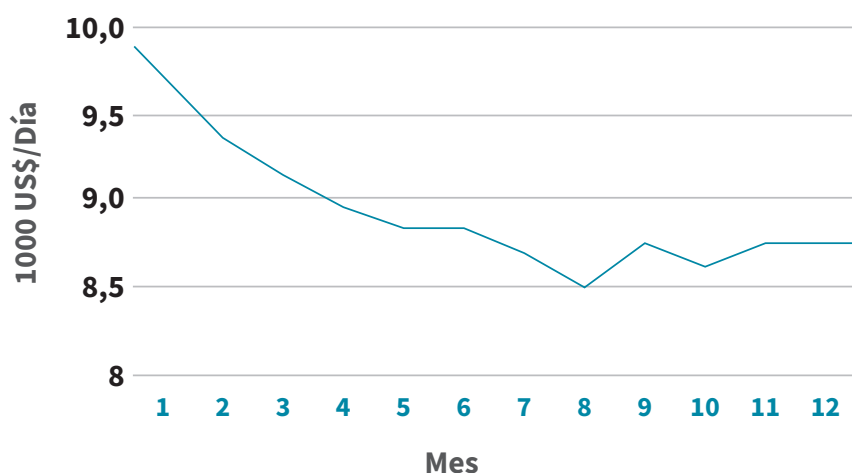


globo, infectado por conflictos de calibres variados, aunque mediáticamente se conozcan más unos que otros, puede parecer oportuno que nos fijemos, marítimamente hablando, en otra situación que afectaría a los buques y al transporte marítimo de manera extraordinariamente sensible. Nos referimos a la que conecta al Océano Pacífico con el Índico, o lo que es lo mismo, al estrecho de Malaca, primera o última puerta de los tráficos China-Europa y viceversa.

Algunos datos que nos pueden poner en situación: El 90 % de todo el comercio exterior de China es por vía marítima, incluyendo el 80 % de petróleo, el 66 % de GNL, así como carga contenerizada y graneles sólidos, utilizando el estrecho de Malaca, que separa la península de Malasia (Malasia) de la isla de

Sumatra (Indonesia), y conecta el mar de la China Meridional perteneciente al océano Pacífico con el mar de Andamán (Océano Índico). Este estrecho tiene una longitud aproximada de 930 km, una distancia mínima entre orillas de 38 km y una profundidad mínima de 25 m.

Por este estrecho pasa aproximadamente un 30 % del tráfico marítimo mundial, conectando a Japón, China, Corea del Sur, Vietnam, por ejemplo, con países del Mediterráneo vía mar Rojo y Suez, y puertos atlánticos europeos. Evidentemente, también si las rutas cambian hacia rodear Sudáfrica. En lo que respecta a Europa, y específicamente a la UE, es China su principal socio comercial, (en 2022 el valor de las exportaciones europeas de bienes a China ascen-



**figura 4.**  
**Time Charter**  
**Drewry Multitipo.**

Fuente: HeavyLift/ Drewry

dió a 230.000 M € y las importaciones desde China, a 627.000 M €”. En el ámbito del intercambio de servicios, estas cifras resultan ser de 62.000 y 46.000 M € respectivamente<sup>4</sup>. En conjunto, un crecimiento a favor de China en los últimos cinco años del 83 %.

Lo anterior explica el creciente interés de China por la ruta y las terminales portuarias involucradas, tanto por mar como por tierra, dentro de la iniciativa llamada BRI (The belt and the Road), definida por ellos mismos en español como “La Franja y la Ruta”, que merece un tratamiento aparte como ya hemos hecho en anteriores entregas de la Coyuntura.

Según un estudio llevado a cabo por la Universidad de Amberes, la ruta de las importaciones marítimas provenientes de China (Shanghai) hacia el centro de Europa (pongamos Munich) resultan sensiblemente menos costosas si el desembarco se realiza en Trieste que si se realiza, por ejemplo, en Hamburgo o Rotterdam. Los días de navegación serían en el primer caso de 37 días, y en el segundo de 43; lo que también suma a su favor la menor emisión de gases de efecto invernadero en uno y otro trayecto marítimo. De ahí el interés chino por utilizar el puerto de Trieste y dominar las operaciones en el mismo.

El interés por la adquisición de derechos de operación en terminales marítimas europeas

desemboca en una serie de operaciones desarrolladas por intereses chinos, muy especialmente por las compañías China COSCO Shipping Corporation, (dueña también de nueve astilleros) y China Merchants Ports Holding, ambas estatales. Los puertos europeos “tocados” son: Hamburgo, Amberes, terminales en Bilbao y Valencia, Bretaña, Dunquerque, Le Havre y Foss, Pireo y Tesalónica, Liguria, Malta, Rotterdam, Ámsterdam, Gdynia y Estocolmo; con una o dos terminales.

Nos hemos referido a China cuando hablamos del estrecho de Malaca por ser la nacionalidad del mayor número de buques mercantes que atraviesan ese paso. Pero no sólo por este hecho, sino también por los efectos geopolíticos y geoeconómicos que se pudieran desencadenar en el caso de una hipotética guerra de invasión de Taiwán por parte de China. Invasión que probablemente tenga lugar cuando China considere que es el momento internacional estratégico de llevarla a cabo, pues nunca va a renunciar a hacerlo. De hecho, el resultado de las últimas elecciones en Taiwán no abona las tesis pacifistas y de posible entendimiento entre ambos países, que tienen un “estatus” recíproco muy curioso, por decirlo de alguna manera.

Cabe mencionar que hay un proyecto para construir un canal (Kra Canal) en la parte norte del golfo de Tailandia para comunicar el

mar de la China Meridional con el mar de Andamán, que teóricamente ahorraría entre 2 y 5 días respecto a la ruta por el estrecho de Malaca. Este posible canal sería más útil para buques de graneles líquidos tipo SuezMax que en sus travesías solo paran en los extremos de sus rutas, que otros buques como los portacontenedores que sí pueden tocar puertos intermedios. En el caso de un buque SuezMax de 100.000 tpm, se podría ahorrar del orden de 350.000 US \$ por viaje (según referencias de la Agencia de prensa de Macao). Una de las ventajas de este posible canal es que disminuiría la exposición de los buques a la piratería y aliviaría la carga que, en condiciones normales de crecimiento económico, tendría que soportar de estrecho de Malaca más allá de 2030, época en la que es posible que no diera ya abasto. Esta posibilidad, cuya financiación se podría inscribir dentro del megaproyecto chino de la Franja y la Ruta, o Ruta Marítima de la Seda, tiene difícil su viabilidad, no sólo por su coste, sino por el estado de relaciones entre China y Tailandia y la delicada situación geopolítica de la zona completa del Sudeste de Asia.

En cualquier caso, si el estrecho de Malaca no se pudiera utilizar, se podría utilizar el estrecho de la Sonda, entre Sumatra y Java, que tiene un ancho mínimo de 24 km y una longitud aproximada de 130 km con una profundidad mínima de 20 m, y que conecta el mar de Java (Pacífico) con el océano Índico. Un poco más al SE se encuentra el estrecho de Lombok, entre la isla de Bali y la de Lombok, con anchos de 18 a 40 km, una longitud de 60 km y una profundidad mínima de 250 m.

Como se puede apreciar, este último estrecho citado es el más apto para buques grandes. El estrecho de la Sonda tiene grandes corrientes de marea, lados con bancos arenosos y además se pueden encontrar construcciones fabricadas por el hombre, principalmente torres petrolíferas.

**Como se puede ver a través de estas líneas, la enmarañada geografía de toda la región indo pacífica en el sudeste de Asia, así como la estabilidad geopolítica, especialmente en el mar de la China Meridional, hace que la navegación para conectar ambos océanos, vital para el comercio mundial, significativamente con Europa, se convierta en un grave problema en el caso de conflictos, dada la creciente importancia económica de China y la fuerte aceleración de otros países de esa zona, como es el caso de Indonesia, Malasia, Vietnam, etc. tampoco hay que olvidar la conexión con India, que emerge como la segunda potencia económica de Asia.**

### El canal de Panamá

El otro estrecho al que dedicamos atención por cuanto representa en la economía y el comercio mundial, es el canal de Panamá, que en 2016 se amplió para permitir el paso de buques portacontenedores de hasta 14.000 teu, cuando la capacidad máxima antes de la ampliación era de aproximadamente de 5.000 teu. El 72 % del tráfico total del canal tiene origen y destino en EE. UU. China copa el 22 % del tráfico total, Japón el 15 % y Corea del Sur el 10 %; siendo mayoritario el tráfico Asia- América.

Aunque un tráfico de China hacia Europa utilizando el paso del que hablamos no parece competitivo, aparte de las limitaciones del propio Canal, (aproximadamente 36 días más el tránsito del canal, sin considerar esperas. Shanghái-Rotterdam; 16 nudos) no es descabellado pensar en la importancia estratégica que esta ruta puede tener para los intereses chinos en caso de inestabilidad y bloqueos en la zona de los estrechos del área de Malaca, y del mar Rojo, o de ambos simultáneamente. Conviene anotar que intereses chinos se han posicionado con fuertes inversiones en las zonas junto a ambos extremos



del Canal, en las instalaciones portuarias de Colón y Balboa. Tampoco hay que olvidar que Panamá fue el primer país de Iberoamérica que se unió a la iniciativa de la “Franja y la Ruta” china.

Existe un proyecto que de momento está incompleto y paralizado, para volver a ampliar el canal para pasar a permitir el tránsito de buques portacontenedores de hasta 20.000 teu, pero las dificultades que en la actualidad afectan al tránsito, ayudan a paralizar dicho proyecto, así como los problemas de financiación del mismo.

La esencia del problema que ha conducido a reducir sustancialmente el tráfico de buques por el canal, es la ausencia de lluvias que han afectado a los lagos artificiales que suministran agua al propio canal. Estos lagos, el Alajuela y el Gatún suministran habitualmente 200.000 metros cúbicos para mantener los niveles necesarios para que los niveles de agua puedan elevarse en los sectores compartimentados mediante compuertas, hasta 26 m por encima del nivel del mar. Lógicamente, al final del tránsito de cada buque, parte de este volumen de agua se ha vertido al mar. No vamos a entrar en las descripciones técnicas del funcionamiento del canal, que son bien conocidas, pero sí comentar los efectos que una prolongada sequía en las zonas cuya pluviometría es clave para el funcionamiento del paso. La Autoridad del Canal ACP ha infor-

mado que sólo en el primer mes de la primavera pasada, el nivel de las aguas en el lago Alajuela ha descendido 7 m, lo que supone un 10 % de menor capacidad. El resultado de esta situación es la disminución del calado disponible en el tránsito, lo que precisa que los buques mayores, del tamaño “post panamax” no puedan utilizar el paso. En 2022, más de 14.000 buques, con 518 millones de toneladas de carga atravesaron el canal, y dejaron 2.500 millones de US \$ a las arcas del país. Además, precisamente los buques mayores son los que pagan tasas más altas.

Según opinión mayoritaria, la situación de sequía prolongada está producida por el cambio climático, y si esta fuera la causa, el problema se convertiría en crónico, con lo que ello representaría para el comercio mundial. A título local, gran parte de la población del país tiene sus ingresos y nivel de vida directa o indirectamente conectados con la actividad del canal.

Diremos como dato sustentador de las hipótesis que relacionan al cambio climático con la situación, es que siendo 5.250 millones de metros cúbicos las necesidades de agua necesarias para la operación normal del Canal, ya en 2019 el suministro de agua descendió a 3.000 millones, y aunque los descensos no mantengan regularidad, guardan un camino realmente desesperanzador si la tendencia no se invierte<sup>5</sup>.





Según las autoridades panameñas, es necesario disponer de mayor capacidad para retener el agua de las lluvias, para alimentar al propio canal, pero si la sequía se cronifica, tampoco esto sería una solución que además podría afectar negativamente al resto del territorio en el que, obviamente tiene preferencia el consumo de la población.

### Otro futuro actor

La ruta Ártica es un camino evaluado desde hace años como reflejo del deshielo producido por el cambio climático. Los recorridos ya hechos por el llamado “Paso del Noreste” que comunica el Atlántico Norte con el Pacífico han abierto la posibilidad de que esta ruta se pueda convertir en una ruta regular, si el calentamiento continúa, allá por el año, 2035 según investigadores rusos, altamente, y obviamente interesados en el asunto. Astilleros rusos, como Svezda, en el área de Vladivostok; Guanzhou en China, y Hanwha en Corea del Sur desarrollan proyectos de petroleros y buques GNL reforzados, capaces de cortar hielos de hasta 2 m de espesor, para los tráficos que se esperan.

La ruta del Noroeste, que afecta sobre todo a Canadá es mucho menos practicable que la que hemos descrito. Además, su hinterland no tiene la preparación que de alguna manera se desarrolla en la costa siberiana. La ruta del Noreste (Estrecho de Bering; ancho mínimo 64 km, y profundidad 30-50 m fue recorrida por primera vez por el explorador Adolf Erik Nordenskiöld en 1878.

El paso mencionado ha llegado a permitir el tránsito de algo más de 31 millones de toneladas en 2019. La ventaja de este recorrido (cuando pueda realmente considerarse como regular) es de una duración de 23 días<sup>6</sup> de navegación frente a 35/40 para un viaje de la costa china o de Corea del Sur hasta Rotterdam.

### ¿Conclusión?

No hay una posible conclusión al “maremágnum” expuesto en estas líneas. Y hemos de admitir las enormes dificultades que pueden surgir de decisiones no acertadas. Sobre todo, porque las bases sobre las que decidir se presentan aleatorias y demasiados dependientes de conductas de naciones que, por su propia naturaleza, pueden ser impredecibles, no solo para elegir un camino, sino para reaccionar si a la mitad del recorrido del mismo puede tornarse equivocado. **Es probablemente la primera vez en la historia del mundo en la que problemas y soluciones se presentan a nivel mundial, no solamente regional. En todo ello, el mar resulta protagonista. Probablemente, es ya la hora en que los asuntos marítimos deben ser acometidos con la real importancia que tienen, y no como asuntos derivados del resultado o no de decisiones geopolíticas gobernadas precisamente por la “política”.** En lo que a España y la Unión Europea respecta, deberían “hacérselo mirar” y formar un “cuerpo de estudio” de los caminos y la riqueza necesaria para pensar en el próximo futuro, el protagonismo de mares y océanos, y calibrar planes en función de los movimientos que se estén produciendo. Esto afecta tanto a la capacidad de manejar el transporte marítimo, de construir los medios necesarios y de defender sus actuaciones.

### Bibliografía

- [1] Fuente: Associated Press
- [2] Fuente: J Mc Cown Container Report
- [3] Fuente: Clarkson
- [4] Fuente: Macau News Agency
- [5] Fuente: Searates.
- [6] Fuente: TRT World

Cualquier consideración u opinión expresadas en este artículo corresponden exclusivamente a su autor y no representan necesariamente a los de la revista Ingeniería Naval. Ambos no serán responsables de ningún tipo de daño de cualquier naturaleza que puedan reclamar terceras partes por el uso de la información contenida.

# El nacimiento del Astillero del Arsenal de Ferrol (I parte)



JOSÉ MARÍA DE JUAN-GARCÍA AGUADO

Doctor Ingeniero Naval. Miembro de la Comisión de Historia de la Ingeniería y de la Construcción Naval de la AINE

Este artículo analiza la creación del Astillero del Arsenal de Ferrol. Debido a su extensión se ha dividido en dos partes que se publicarán en números sucesivos, ocupándose la primera del nacimiento y configuración del Astillero y la segunda de las primeras construcciones acometidas dentro de los planes del Marqués de la Ensenada.

## ÍNDICE

### 1. Creación del Astillero del Arsenal de Ferrol

#### 2. Disposición general

- 2.1.- Funcionalidad. Las gradas y el espacio de trabajo
- 2.2.- El edificio principal: carpintería de ribera y patio de gálibos
- 2.3.- Talleres y almacenes
- 2.4.- Los diques de maderas

#### 3. El factor humano

- 3.1.- Los constructores ingleses
- 3.2.- La mano de obra española

### 1.- Creación del Astillero del Arsenal de Ferrol

El establecimiento de un Arsenal de Marina en la ría de Ferrol fue consecuente con su designación como cabecera del Departamento Marítimo del Norte en el año 1726. El primer Arsenal se ubicó en la villa de La Graña situada en la ribera norte de la ría en el año pero las limitaciones de su emplazamiento, que impedían una ampliación de sus instalaciones, determinaron la decisión de buscar un nuevo emplazamiento, que una vez elegido en la propia ría dio lugar al Arsenal de Ferrol.

El primer proyecto del nuevo Arsenal, fue presentado por Cosme Álvarez de los Ríos, Comandante General del Departamento Maríti-

mo del Norte, al rey Fernando VI y al marqués de la Ensenada en el año 1747, e incluía entre sus instalaciones cuatro gradas de construcción con los tinglados y almacenes para trabajar a cubierto, necesarias para construir los navíos, fragatas y otras embarcaciones que precisaba la Real Armada. El proyecto fue aprobado el 14 de enero de 1750.

Para poder comenzar la construcción de los buques de guerra previstos, se preguntó a Cosme Álvarez el 19 de noviembre de 1748 si las obras del nuevo Arsenal podrían comenzar por dos de las cuatro gradas previstas sin perjuicio del conjunto de las obras, y cuál sería el plazo y el presupuesto de estas obras iniciales. Con estas dos nuevas gradas, más las dos existentes en el Arsenal de La Graña, donde podrían



1.- Plano Proyecto del puerto y Arsenal de Maryna del Ferol (sic) en el año de 1747  
Firmado en Buen Retiro por el Marqués de la Ensenada en 1750. MNM

construirse otras dos gradas más, podrían ponerse la quilla de seis u ocho unidades a la vez en los dos astilleros en el año 1751.

La demora de las obras y la urgencia de los planes del Marqués de la Ensenada, aprobados por el rey, para acometer un ambicioso programa que preveía la construcción de 60 navíos y 24 fragatas, llevó a la decisión de ubicar un Astillero con carácter provisional extramuros del proyectado Arsenal de Ferrol.

En carta del 12 de febrero de 1749<sup>1</sup> Ensenada comunicó a Cosme Álvarez, el interés de S.M. para que se construyeran en Ferrol, fuera del Arsenal en construcción, dos o cuatro gradas para la construcción de navíos. Poco más tarde, Cosme contestó en carta de 25 de marzo siguiente incluyendo una propuesta del nuevo astillero ubicado en la falda del monte de Esteyro en la ensenada de Caranza incluyendo un plano con cuatro gradas, de una delineación poco precisa, evidenciando su carácter provisional extramuros del Arsenal. El 9 de abril de 1749 se aprobó el presupuesto de construcción, según el plano propuesto, por un importe de 216.443 reales de vellón, y se dio la orden de construcción.

Este primer proyecto el Astillero, tal como se describe en el plano aprobado<sup>2</sup>, *Figura que forma la tierra desde el Ferrol a la Hermita de Caranza, y estension entre el nuevo Astillero, y las obras del proyectado Puerto y el Arsenal*, tenía una disposición casi cuadrada, cerrado por una valla con una puerta acceso en la zona oeste.

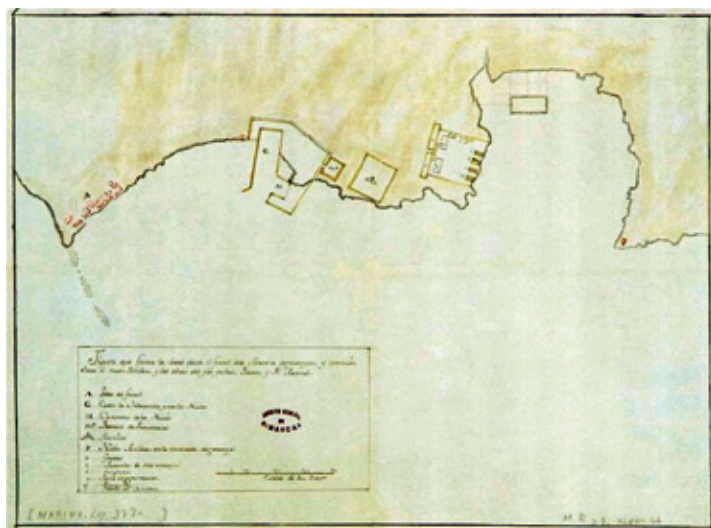
En su interior, además de las gradas, se encontraban dos tinglados, dos cuarteles de maestranza, dos edificios dedicados a almacenes y un patio de construcción.

Con el fin de perfeccionar el proyecto del Arsenal de Ferrol, que había comenzado a construirse de acuerdo al plano inicial de Cosme Álvarez con algunas modificaciones puntuales, Ensenada envió a Jorge Juan Santacilia a Ferrol donde llegó el 12 de julio de 1751. Junto con Álvarez y de la Croix, realizó una remodelación de gran calado al proyecto inicial, que quedó plasmada en el *Plano del Proyecto General del Arsenal de Ferrol de 1747 y de su estado en Septiembre de 1751 con el Astillero de Monte Real y ensenada de Caranza*<sup>3</sup>, aprobado por S.M. el 6 de octubre de 1751.

<sup>1</sup> MNM Miscelánea. MS 2139. Doc 4, fol. 8. Carta de Ensenada a Cosme Álvarez.

<sup>2</sup> AGS, M.P. y D. XLVII-44,

<sup>3</sup> ACEG, Armario E, Tabla 4ª, Carpeta 4ª, nº 110.



Primer plano aprobado con la disposición del Astillero de 25 de marzo de 1749

En este plano aparece el Astillero provisional formando parte indisoluble del conjunto del nuevo Arsenal, y así figurará en los planos futuros de disposición general del Arsenal.

De La Croix realizó a continuación un plano definitivo del Arsenal aprobado, Copia del plano aprobado por S.M. del Arsenal de Ferrol y Astillero de Esteyro, firmado por Joseph Petit de La Croix el 25 de octubre de 1751,<sup>4</sup> que incluía además algunas modificaciones formales :

- En el dibujo giró el conjunto de las obras proyectadas para dejar los dos lados de la dársena del Arsenal y las calles de la Nueva Población paralelos al marco del plano. Este cambio obedeció a una cuestión de estética geométrica del plano, que se mantendrá en los planos sucesivos del Arsenal.
- Desaparecieron las líneas del proyecto del año 1747, que figuraban a efectos comparativos, al que sustituyó.
- En la denominación del plano se modificó la referencia Monte Real quedando solamente como Astillero de Esteyro. La razón

fue el hecho de que en aquel momento el monte de Esteyro no era propiedad de la Corona. Fue una licencia que se había tomado de la Croix en el primer plano, que supuso agradecer a S.M.

Durante estos años el Astillero provisional sufrió dos ampliaciones. La primera, realizada a instancias de Cosme Álvarez<sup>5</sup>, duplicó la capacidad inicial del astillero pasando a de cuatro a ocho gradas con una pequeña

modificación realizada en el muro de cierre, y fue aprobada por Ensenada el 29 de julio de 1750. La segunda ampliación, realizada probablemente el año siguiente, triplicó la capacidad inicial pasando a doce gradas de construcción, que ya figuran en la propuesta aprobada de modificación del proyecto del Arsenal.

La ubicación del Astillero en la zona de Esteyro, próxima al Arsenal proyectado, hizo que fuera denominado como Astillero de Esteyro o Esteiro y también como Astillero de Ferrol, aunque su denominación correcta es Astillero del Arsenal de Ferrol, al formar parte, aunque con carácter provisional en el momento de su creación, de este establecimiento militar.

Inicialmente las obras del Arsenal fueron dirigidas por Cosme Álvarez, incluyendo las del Astillero del que formaba parte, y realizadas por los ingenieros de Ejército. En el año 1753<sup>6</sup> Jorge Juan Santacilia fue nombrado director de las obras del Arsenal por enfermedad de Cosme Álvarez.

<sup>4</sup> ACEG, Armario E, Tabla 4ª, Carpeta 4ª, nº 111. Plano del proyecto General del Arsenal de Ferrol y Astillero de Esteyro, proyectado por el Ingeniero Ordinario D. Joseph de La Croix y aprobado por S.M. en el año de 1751. En este plano figuran ya las doce gradas de construcción.

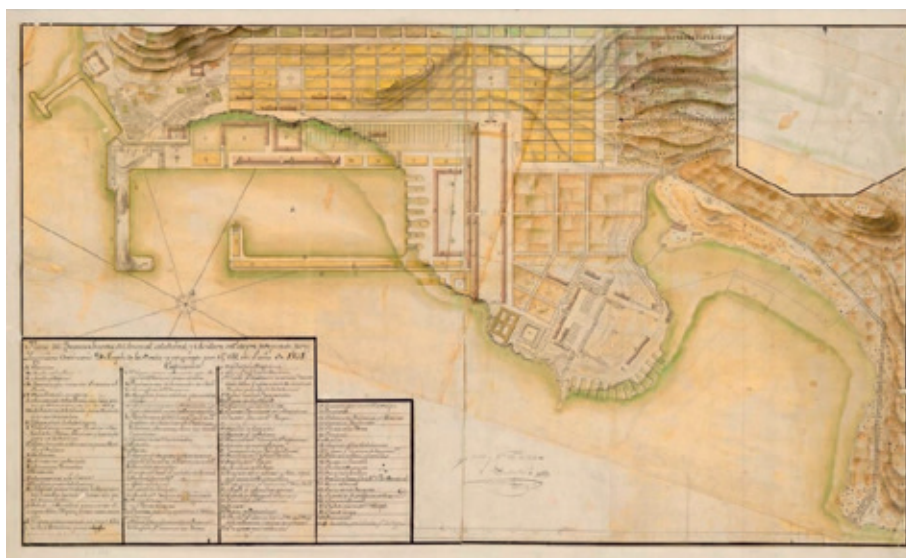
<sup>5</sup> AGS, Marina leg. 376. Carta de Cosme Álvarez al Marqués de la Ensenada de 14 de Julio de 1750

<sup>6</sup> AGS, Marina leg. 322. Este nombramiento se produce el 7 de septiembre de 1753.





Plano aprobado por S.M. 6 de octubre de 1751 del Arsenal de Ferrol y Astillero de Monte Real firmado por Joseph Petit de La Croix el 14 de septiembre de 1751



Copia del plano aprobado por S.M. del Arsenal de Ferrol y Astillero de Esteyro firmado por Joseph Petit de La Croix el 25 de octubre de 1751.

A finales de 1751<sup>7</sup> se nombró<sup>8</sup> director del Astillero de Esteyro y de la Fábrica de Jarcia y Lonas de Sada al intendente Antonio de Perea, quedando Cosme Álvarez dedicado en exclusiva a la dirección de las obras del Arsenal de Ferrol. Este nombramiento se correspondía con la organización y las atribuciones vigentes, según las Ordenanzas de la Armada, en las que el Comandante General del Departamento poseía el mando solamente sobre las armas y el Intendente sobre todo lo demás. Los intendentes actuaban en comisión, como agentes de la Real Hacienda a través de la Secretaría de Marina, recibiendo el nombramiento para un “encargo” concreto. En el caso de Perea con atribuciones sobre la producción, control de personal y

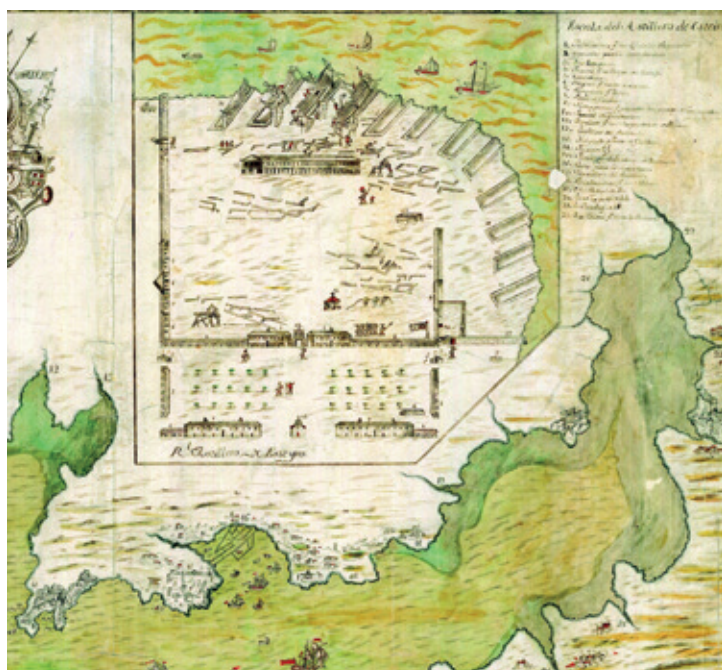
control del gasto del nuevo astillero. Consecuencia de este nombramiento la Intendencia fue trasladada de La Graña a Ferrol hacia 1752 y ubicada en la Plaza Real, que daba acceso al Astillero.

## 2.- Disposición general

El Astillero se dispuso en una zona resguardada del mar y del viento con una pendiente adecuada en tierra para realizar las excavaciones de las gradas y una zona próxima para utilizar como dique de maderas, con una extensión intermareal adecuada para el proceso de curado de las ingentes cantidades de maderas de roble que serían necesarias en los planes de construcción previstos.

<sup>7</sup> AGS, Marina leg. 376. Carta del Marqués de la Ensenada a Cosme Álvarez de 15 de Diciembre de 1751.

<sup>8</sup> AGS, Marina 376. Carta de Perea a Ensenada de 6 de enero de 1752, indicando la carta de 15 de diciembre de 1751 con la orden de dirigir el Astillero



Detalle del Plano del Puerto y Ría de Ferrol con los lugares a ella inmediatos (circa 1751) correspondiente al Astillero de Esteyro

dos plantas para los oficiales y una capilla en el centro. En los laterales, fuera del perímetro de la plaza se levantaban dos edificios de reducidas dimensiones dedicados a cocinas y un tercero a carnicería, de análogos características.

En la aprobación real de la ubicación del Astillero se indicaba, además de estas ventajas principales, el ahorro que suponía para la Real Hacienda en relación con la alternativa de ampliar las instalaciones del Arsenal de La Graña, que también se había contemplado.

El aumento en el número de gradas llevó consigo la ampliación del terreno ocupado que pasó a tener la figura aproximada de un cuarto de círculo, con muros rectilíneos en sus límites norte y oeste cerrando el perímetro con la forma circular de la ribera donde se ubicaban las doce gradas dispuestas en forma radial.

La puerta de acceso al Astillero, de traza sencilla rematada con una espadaña y campana, se abría a una plaza denominada Plaza Real posteriormente conocida como Cuadro de Esteyro. Esta plaza de forma rectangular y amplias dimensiones tenía una estructura simétrica, y estaba formada inicialmente por pabellones de una planta para la maestranza en los laterales, y en el cierre oeste también con pabellones de

Los terrenos pertenecían al Cabildo de Mondoñedo que mantuvo la propiedad en tanto la ocupación continuase con carácter provisional, pasando con posterioridad a ser propiedad de la Armada cuando el asentamiento tomó carácter de definitivo.

Una detallada descripción del Astillero en su primera etapa se encuentra en el *Plano del Puerto y Ría de Ferrol con los lugares a ella inmediatos*<sup>9</sup>, sin fecha ni autoría. Incluye en un recuadro ampliado la disposición del Astillero con notable detalle, donde figuran las doce gradas, de ellas las cuatro primeras gradas que corresponden a las situadas más al norte ocupadas con la construcción de las primeras unidades :

- En la grada nº 1, el paquebote *Marte*
- En la grada nº 2, la fragata *Galga*
- En las gradas nº 3 y nº 4, los navíos *Fernando* y *Asia*

La presencia en el plano del paquebote, que fue la primera unidad botada al agua el 9 o 10 de agosto de 1751, permite datar el plano poco antes de esta fecha.

<sup>9</sup> ACEG, Armario E, Tabla 4ª, Carpeta 4ª, nº 99.

## 2.1.- Funcionalidad. Las gradas y el espacio de trabajo

Todas las gradas tenían una longitud de 230 pies ingleses<sup>10</sup> (70 metros) y se numeraron de manera que la situada más al norte, es decir más próxima a la desembocadura del río del Tronco, se identificó con el número uno continuando en orden correlativo hasta la número doce que era la situada más al sur. En el extremo de tierra de cada grada se dispuso una rampa para acceso del personal y de los materiales.

A finales de 1751 se decidió<sup>11</sup> hacer de firme, es decir de cantería, ocho gradas y dejar las cuatro primeras gradas provisionales, donde se estaban construyendo los cuatro buques “experimentales”, pendientes de realizar esta obra. Estaba previsto que las gradas estuvieran forradas de piedra con cuatro, cinco o seis escalones en los laterales, y con una pendiente de cuatro grados aproximadamente en el plano inclinado que formaba el plan de la grada.

En el espacio central del astillero, que disponía de una zona descubierta de amplia superficie, se serraban los troncos tanto de roble como de pino y se trataban con agua caliente los tablones de pino destinados al forro con forma, cuando se requería, en los calderos dispuestos para ello. En esta zona se encontraba también una capilla volante a modo de oratorio.

Para el arrastre de los troncos y piezas de madera de grandes dimensiones se utilizaban carros con tiro de bueyes, y para realizar el corte se disponían los troncos sobre caballetes, donde se cortaban longitudinalmente en forma de tablones con el espesor requerido mediante las sierras de burro o sierras de dos manos, manejadas verticalmente por

dos serradores. La longitud de corte de los tablones era de 12 codos (6,9 m).

Para las piezas con alguno de los contornos curvos, como era el caso de las piezas de las cuadernas, de las curvas valonas, de alto abajo y de otras similares, se utilizaban plantillas de madera, denominadas grúas, elaboradas con madera de pequeño espesor en el patio de gálivos, con las que se marcaba el contorno que servía de guía a los serradores.

El orden general del montaje en la grada comenzaba con la colocación de los picaderos sobre los que se disponía la quilla, formada por tres o más piezas ensambladas con una unión de rayo de Júpiter, y a continuación se levantaba la roda y contrarroda, el codaste y el contracodaste.

Comenzaba a continuación el enramado de las cuadernas, normalmente de la maestra hacia proa y popa. Para un navío de 70 cañones, el número de varengas era de 54. El soportado de las piezas que formaban los conjuntos ligados entre sí, durante el proceso de montaje, se realizaba mediante picaderos y escoras que formaban la basada fija. Para manejar e izar las piezas pesadas se utilizaba aparejos guarnidos a una cabria o a una grúa. En la lámina 29 del Álbum del Marqués de la Victoria<sup>12</sup> se describen diferentes tipos de estas máquinas utilizadas en los astilleros en la primera mitad del siglo XVIII.

La última fase consistía en el forrado del casco, que comenzaba con la hilada más próxima a la quilla que iba endentada en el alefriz, y a continuación se forraban las cubiertas con madera de pino en ambos casos. Para que realizaran el trabajo los carpinteros y calafates se disponían andamios y escaleras. La Lámina 15 del Álbum del Marqués de la Victoria,

<sup>10</sup> AGS, Marina 376. Noticia del estado en que al presente se hallan las doce gradas del R. de Esteyro oy 31 de diciembre de 1751

<sup>11</sup> AGS, Marina leg. 376. Obras del Proyecto de Ferrol. Carta de Cosme Álvarez de 5 de octubre de 1751 al Marqués de la Ensenada acusando recibo de la orden recibida.

<sup>12</sup> Navarro, Juan José (Marqués de la Victoria). Diccionario demostrativo...MNM Ms. 2463



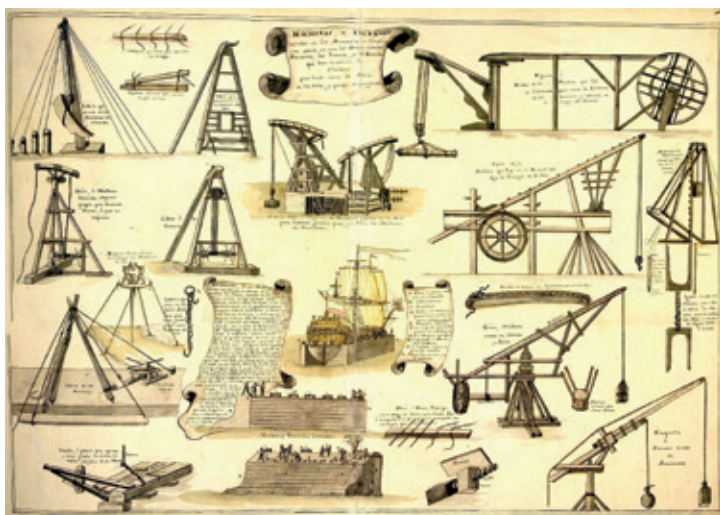


Lámina 29 del Álbum del Marqués de la Victoria . *Machinas e Ingenios usados en los Arsenales de Construcción...*

que se incluye a continuación, describe los trabajos de esta etapa en la construcción de una fragata.

Una hilada, es decir una línea de tablonés del forro de proa a popa, requería siete tablonés de doce codos de longitud (6.9 m) en el centro y menores en los extremos. Para las zonas de proa y popa, las maderas del forro del casco se ablandaban con el hornillo o cocedero de calderas situado no lejos de la grada. Para suavizar un tablón de 12 x 7 pulgadas y 12 codos de largo necesitaba estar en el horno de 6 a 8 horas<sup>13</sup>.

Una vez finalizada la construcción del casco se realizaban los preparativos para proceder a la botadura del buque. En primer lugar se armaban, sobre el plan de la grada, dos imadas, una

a cada lado de la quilla, que servían de pistas de deslizamiento durante la botadura, inclinadas unos cuatro grados y sobre ellas se levantaba la cuna de lanzamiento o basada móvil. A continuación se engrasaba el apoyo de la cuna sobre las imadas con sebo de cerdo o de carnero y se acuñaba la cuna para trasferir el peso de la embarcación de la basada fija a la cuna, retirándose las escoras, picaderos de quilla y otros elementos de soporte que formaban la basada fija, quedando el buque retenido solamente por estachas dadas a bolardos. En el momento de la botadura se cortaban las estachas y el barco salía a la mar.

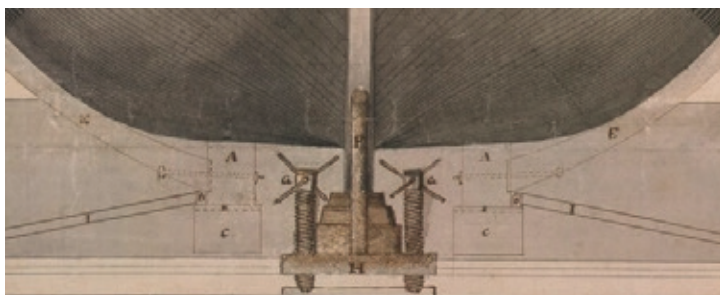
Debido al imprevisible comportamiento del sebo animal, que dependía de su composición temperatura y humedad ambientales del día de la botadura y del procedimiento de aplicación de las superficies de deslizamiento, era muy frecuente que el buque no

Lámina 15 del Álbum del Marqués de la Victoria . *Representación de una fragata en el Astillero...*



<sup>13</sup> MNM Ms 1453. Una detallada descripción del proceso de construcción en las gradas de Esteyro figura en el documento del intendente Manuel Zalvide. *Método que se observa en la fábrica de un navío por continuación al Reglamento de proporciones de la Construcción Inglesa que dice ha remitido*





Detalle de la Lámina 18 del Álbum del Marqués de la Victoria  
*La África. Prospecto de este Navío de S.M. que se Botó en el Astillero de La Carraca el 21 de Noviembre de 1752*

iniciara espontáneamente el movimiento una vez quedaba libre, por lo que se disponía un sistema mecánico para dar un impulso y vencer la resistencia inicial al movimiento. Un procedimiento utilizado por los constructores ingleses era disponer contra la roda un puntal inclinado al que en el momento de la botadura se le daba un desplazamiento vertical mediante unos husillos roscados que se hacían girar con ayuda de unas barras horizontales. Este desplazamiento producía el necesario impulso para que el buque iniciara el movimiento de deslizamiento. En la lámina 18 del Álbum del Marqués de la Victoria se indica el detalle de esta disposición en el navío África, botado en la Carraca el año 1752.

El constructor, como capitán de maestranza, dirigía la operación sin especial ceremonia y una vez a flote el buque se remolcaba a un muelle donde, con ayuda de una cabría de arbolar, se instalaban los palos de la arboladura y se embarcaba la artillería, completándose el equipamiento y embarcando lo necesario para su primera navegación.

## 2.2.- El edificio principal : carpintería de ribera y patio de gálibos

Sobre el primer proyecto aprobado, y antes de la ampliación de las gradas, Richard Rooth<sup>14</sup>, constructor inglés que había llegado a Ferrol en 1749 contratado por Jorge Juan, propuso en 1750 a Cosme Álvarez que los

dos tinglados previstos en el primer proyecto del Astillero fueran sustituidos por un solo edificio con dos plantas, la inferior para que la maestranza trabajase la madera a cubierto y la superior dedicada a patio de gálibos. En los extremos de este edificio, continuaba la propuesta, se debían disponer dos ruedas verticales con las que se arrastrarían hasta el edificio las piezas de madera desde la ribera guiadas por ramblas (rampas) inclinadas, sin ayuda de los bueyes de arrastre<sup>15</sup>.

En el plano del proyecto del Arsenal de Ferrol de 1747, firmado por de la Croix, ya figuraba un edificio con la leyenda "*Patio p formar los gálibos, su quarto y portico*", lo que indica que en la construcción naval, tal y como se practicaba antes de la llegada de los constructores ingleses, ya se utilizaba la técnica de trazar a escala natural los contornos de las cuadernas y otras piezas afectadas por la curvatura del casco, para obtener de ellas los gálibos, grúas o plantillas, con las que se trazaba el contorno de estas piezas sobre los tablones de madera, que servía de guía a los serradores en su trabajo.

Las ideas de Rooth fueron aceptadas y en junio del año 1750 Josep Petit de La Croix<sup>16</sup> realizó un plano, donde figuran cuatro gradas flanqueadas por unas ramblas que desde el mar llegaban hasta los extremos de un gran edificio o tinglado que tenía dos grandes ruedas verticales alineadas con las ramblas. El tinglado tenía 144 varas de largo (120,37 m.) y 18 (15,05 m.) de ancho

<sup>14</sup> AGS, Marina leg 318. Carta de Cosme Álvarez a Ensenada de 28 de abril de 1750

<sup>15</sup> AGS Marina leg. 318. Cuadernillo de Cosme Álvarez a Alonso Pérez Delgado

<sup>16</sup> AGS, M.P. y D. XXI-13. Plano del Tinglado y de las Gradas para la Construcción de Navíos en el Real Astillero de Esteiro. 8 de junio de 1750. Firmado por Josep Petit de La Croix

dispuesto sobre pilares de mampostería, con puntales intermedios en la planta baja y una planta superior completamente despejada y libre de pilares.

Junto con las doce gradas, el edificio del patio de gálibos fue la construcción más significativa y emblemática del Astillero de Esteyro.

Siguiendo este proyecto<sup>17</sup> comenzaron a construirse las primeras cuatro gradas y frente a ellas el edificio propuesto, aunque las rampas y ruedas no llegaron a realizarse.

La planta alta tenía el suelo forrado de tabla de madera cepillada, montada sobre cuarterones, y en él se trazaban a escala natural (1:1) los contornos de las piezas de la estructura de los barcos a partir del plano de disposición general que incluía, a la escala del plano, las líneas que definían la geometría del casco. Con estos trazados se fabricaban las plantillas, elaboradas con madera de poco espesor, que se utilizaban para el marcado y posterior corte de las piezas de madera que se realizaba en la planta inferior del edificio, o en el espacio exterior de trabajo dependiendo del tamaño y forma de las piezas.

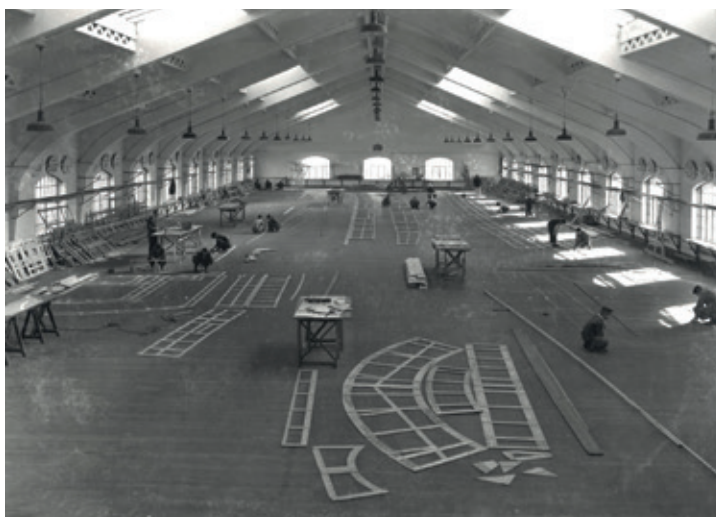
Siguiendo este modelo se construyeron poco después los patios de gálibos de Cartagena y Guarnizo. Posteriormente cambiarían

su denominación a sala de gálibos, generalizándose su uso en todos los demás astilleros hasta la segunda mitad del siglo XX con la única variación de la sustitución de la madera por el hierro y el acero como materiales de construcción de la estructura.

La utilización de la sala de gálibos para el trazado a escala 1:1 de las piezas de la estructura de los buques, y posterior elaboración de las plantillas para marcado y corte



Plano del Tinglado y de las Gradas para la construcción de Navíos en el Real Astillero de Esteiro. 1750, Joseph Petit de La Croix



Sala de Gálibos de la factoría de Ferrol de la E.N. Bazán de C.N.M. hacia 1941

<sup>17</sup> AGS, Marina leg. 376. Obras del Proyecto de Ferrol

en el taller, ha sido habitual en los astilleros hasta la segunda mitad del siglo XX en que fue sustituido por el trazado a escala 1:10 y posteriormente por el trazado mediante programas informáticos, como puede verse en la fotografía de la Sala de Gálivos de la factoría de Ferrol de la E.N. Bazán de C.N.M. hacia 1941 que se incluye.

### 2.3.- Talleres y almacenes

En cierre norte se encontraba una puerta para el acarreo de maderas (en el plano aprobado de la disposición general del Arsenal de Petit de la Croix figura como puerta de San Joseph con su cuerpo de guardia), y adosados a este muro un tinglado para fabricar motonería con un almacén para motones, un patio de gálivos (que ejerció esta función mientras se terminaba el edificio definitivo) y un almacén para guardar los géneros de construcción.

En el exterior y próximo a la puerta de acceso se levantaba una casa para los herreros (en el plano citado de Petit de la Croix figura identificado este edificio como una herrería. Inicialmente tenía 8 fraguas que pasaron a 16 fraguas, suficientes para las primeras cuatro construcciones; para las 12 construcciones haría falta aumentar este número hasta 50<sup>18</sup>).

En el cierre oeste se encontraba la puerta de acceso al astillero con dos edificaciones de dos plantas, una a cada lado, para los oficiales destinados al Astillero (una de ellas para el intendente y la otra para el constructor, como figuraría en planos posteriores), y a ambos lados cuarteles para alojamiento de la maestranza empleada en el Astillero.

Perpendicularmente a este cierre en el lado sur se encontraba un recinto rectangular

para alojamiento de los presidiarios, almacenes para guardar géneros de construcción y un tinglado para la carpintería de lo blanco.

### 2.4.- Los diques de maderas

Fuera del recinto del Astillero, en la ensenada de Caranza, se acotaron dos amplias zonas para mantener sumergidas en la zona intermareal los troncos de maderas de roble y los troncos de pino destinados a formar las arboladuras de los buques, con el fin de disolver la savia y evitar de esa manera los procesos de pudrición y ataque de los fitófagos. Estos diques aparecen delineados en el plano general de De la Croix, e incluían zonas separadas con estacas para almacenar las diferentes maderas.

En la zona situada al otro lado de la desembocadura del río del Tronco se construyó una nave para estiba de las piezas de la arboladura con el correspondiente cuerpo de guardia. (este edificio figura solamente en el plano citado de De la Croix) y posteriormente se utilizó también esta zona como carenero de botes, lanchas y embarcaciones menores<sup>19</sup>.

En 1751 Cosme Álvarez, conocedor de la idoneidad del emplazamiento del nuevo astillero, transmitió a la Corte<sup>20</sup> su opinión proponiendo la supresión de las cuatro gradas que todavía se mantenían en el proyecto del Arsenal y dejando solamente las doce gradas de Esteyro. Su propuesta no fue aceptada y se mantuvieron los planes iniciales de construir en el cierre noreste del recinto del Arsenal dos o tres gradas de construcción, mientras el Astillero de Esteyro mantendría su carácter “provisional” convirtiéndose con el paso de los años en definitivo.

<sup>18</sup> AGS, Marina 376 Informe de Perea a Ensenada. La Graña 6 de enero de 1752

<sup>19</sup> AGS, M.P. y D.-XXXIV-71. Plano de la Ensenada de Caranza, porción de Línea ejecutada y Proyectada para cercar el Astillero de esta Plaza de Ferrol

<sup>20</sup> AGS, Marina leg. 376. Carta de 15 de junio de 1751.

### 3.- El factor humano

#### 3.1.- Los constructores ingleses

En 1750, ya se encontraban en España parte de los técnicos ingleses contratados en Londres por Jorge Juan. Los tres constructores, Richard Rooth, Edward Bryant y Matthew Mullan, fueron destinados respectivamente a los Arsenal de Ferrol, Cartagena y La Carraca. David Howell fue enviado al Astillero de Guarnizo y Almond Hill a la Academia de Guardiamarinas en Cádiz. Poco después Bryant marcharía al Arsenal de Cartagena y Mullan al de Cádiz. Richard Rooth era un católico irlandés, dueño de un astillero en Rotherhithe, una zona situada a orillas del Támesis más allá de Deptford, que dejó su país para venir a España después de largas negociaciones con Jorge Juan, motivado por las excelentes condiciones económicas que le fueron ofrecidas y el enrarecido ambiente que rodeaba en Inglaterra a la minoría católica.

Jorge Juan había establecido<sup>21</sup>, a petición Rooth, el pago de una guinea al día que correspondía a 94 reales 29 maravedises y 3/5 de vellón líquidos desde el 1 de septiembre de 1749<sup>22</sup>, a lo que había que añadir 80 escudos como capitán de maestranza de sueldo mensual y 110 de gratificación, además de facilitarle una casa en el Astillero para vivir con su familia, así como otros beneficios para su instalación y la de su familia. Rooth mantuvo el nombramiento de constructor junto con el de capitán de maestranza que era el establecido por la Ordenanza de 1748 para dirigir las faenas marineras del arsenal, los trabajos de la maestranza, y la inspección de los pertrechos.

Llegó a Ferrol el 1 de Septiembre de 1749. Era un hombre hermético consciente de la

superioridad técnica que se le presuponía al estar directamente respaldado por Jorge Juan, y poco dado a compartir sus conocimientos. De Rooth se decía que *es una guitarra difícil de templar* y de su escasa integración en el entorno da muestras el hecho de que en 1754 pidiera un intérprete a Cosme Álvarez *por estar un poco bisoño en la lengua española*. Trajo consigo a su mujer, una tía, una sobrina y los muebles, y en 1755 trató de colocar a su hermano en la dirección de la construcción del primer dique del Arsenal. A lo largo de los siguientes años y a instancias de Ensenada, que deseaba activar la construcción de navíos en el Astillero, llegaron a Ferrol numerosos técnicos, procedentes la mayor parte de Inglaterra, contratados a través de un comisionado inglés llamado Hugo Stuard. En 1754<sup>23</sup> se encontraban trabajando en el entorno de la ciudad de Ferrol los siguientes técnicos ingleses, respetando la transcripción de los nombres que realiza el documento citado :

En el astillero :

Constructor: Ricardo Rooth

Ayudantes de construcción :

Thomas Hewet y Guillermo Turner

Maestro carpintero de lo blanco :

Jaime Pepper. La mujer de Pepper era hermana de Rooth.

Carpinteros de ribera : Huglio Hewet, Jaime Linch, Jaime Hewet, Patricio Hewet, Thomas Brown

Carpinteros de lo blanco : Thomas Bosvill, Walter Comons, Ricardo Bradi, Juan Staford, Jaime Shanon, Miguel Gozmano, Juan Evans

Aserrador : Diego Muguer

Capataz : Nicolas Oguen

Herreros : Raimundo Grehan, Baltasar Parel, Jorge Macdonel, Jph. Archediacon.

<sup>21</sup> AGS, Marina 235. Relación de los individuos ingleses que actualmente se hallan en este Departamento empleados en el Real Servicio en los diferentes destinos en que se han aplicado con expresión de sus plazas, sueldos que gozan y las condiciones que estipularon para venir a España. La Graña 1 de septiembre de 1754.

<sup>22</sup> Un Ingeniero militar con la categoría de Ingeniero Director y graduación de Mariscal de Campo percibía al mes 2.300 reales. Las condiciones materiales de la vida privada de los Ingenieros militares en España durante el siglo XVIII. Martine Galland-Seguela. <https://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-179.htm>

<sup>23</sup> AGS, Marina leg. 233. Relación de empleados ingleses en Ferrol el 3 de septiembre de 1754



En el Arsenal de La Graña :

Contramaestres : Enrique Alejandro Jaquet (director de aparejos) y Guillermo Cahel  
Maestro de velas : Eduardo Fenell

En la fábrica de lonas de Sada :

Maestro de jarcia : Juan Hakszergult (holandés) y Baltasar Bentcin  
Oficiales : Guillermo Clark y Ramon Clé  
Maestro de lonas : Patricio Lahey, irlandés y católico  
Oficial : Diego Conian

Según las instrucciones iniciales recibidas por Jorge Juan de Ensenada al iniciar su viaje a Londres, los constructores ingleses que fuesen contratados tendrían la obligación de enseñar su oficio a los constructores españoles que trabajaran con ellos, pero la práctica de los ingleses fue rodear sus conocimientos del máximo secreto y no aceptar aprendices españoles<sup>24</sup>, *...pues los constructores se encierran en el patio de gálibos para tirar las líneas, sin permitir que ni las vean los contramaestres de construcción a los cuales no han suministrado ninguna especie instructiva aunque lo han solicitado, ni los carpinteros de ribera y de los blanco quisieron jamás admitir un solo aprendiz español.*

El propio Rooth afirmó<sup>25</sup> que *a ser constructor se aprende con el hacha en la mano sirviendo de aprendiz siete años consecutivos*, cuando rechazó que Pedro Aufrán trabajase a su lado para asimilar sus técnicas de construcción naval. Con Agustín Salomón que trabajó a sus órdenes<sup>26</sup> en 1751, sus relaciones tampoco fueron buenas pues Rooth pensaba que la misión de Salomón era espiarle.

En 1760, Rooth recibió la graduación de teniente de navío dentro de la Armada, junto con Mathew Mullan y Edward Bryant, y murió en Ferrol el 30 de mayo de 1760<sup>27</sup>.

En los años posteriores a la construcción del Apostolado, al decrecer el ritmo de construcciones, la mayor parte de los trabajadores ingleses fueron abandonando la ciudad y retornando a su país de origen, aunque algunos permanecieron en España e incluso una minoría se incorporó a la maestranza de los Arsenales.

### 3.2.- La mano de obra española

En el siglo XVIII el conjunto de trabajadores destinados en los arsenales a la construcción y reparación de los buques de guerra y sus equipamientos, así como los dedicados a la conservación de sus instalaciones en tierra, formaban la Maestranza de Marina o Maestranza de los Reales Arsenales de Marina.

Los individuos nacidos en poblaciones de la costa, con oficios relacionados con la construcción naval estaban inscritos en la Matricula del Mar y podían ser requeridos para trabajar en la Maestranza de los Arsenales.

A la Maestranza se añadían, para trabajos de baja cualificación, individuos procedentes de las “levas no honradas” que en general pertenecían procedían de sectores sociales marginales, muchos de ellos vagabundos sin oficio ni domicilio reconocido, que en el arsenal podían aprender un oficio e integrarse en los diferentes gremios.

La Maestranza se dividía en Brigadas, caso de los oficios con gran número de trabajadores, y Trozos en los restantes. La jornada de trabajo

<sup>24</sup> AGS leg. 235. Carta de Perea a Arriaga de febrero de 1757 refiriéndose a los técnicos ingleses en el Astillero de Esteiro.

<sup>25</sup> AGS, Marina leg 324. Carta de Cosme Álvarez a Ensenada desde Ferrol de 13 de julio de 1751

<sup>26</sup> AGS, Marina 318.

<sup>27</sup> Torrejón Chaves, Juan. La construcción naval militar española en el siglo XVIII. Tendencias, programas y constructores. Cuaderno nº 41 del Instituto de Historia y Cultura Naval

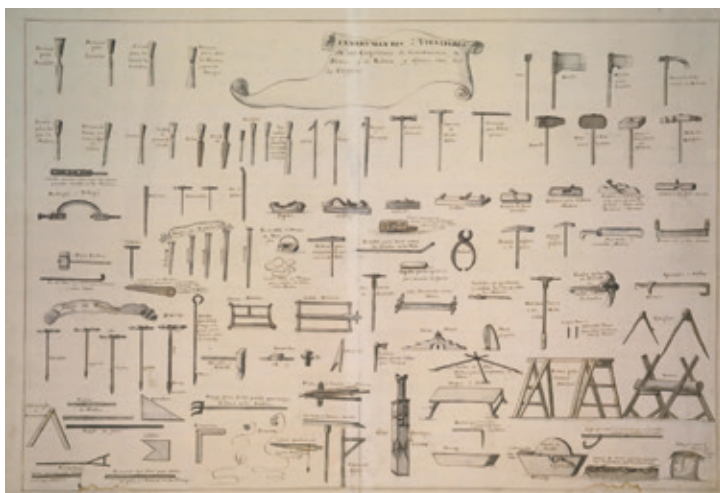


Lámina 27 del Álbum del Marqués de la Victoria. Instrumentos y utensilios de los Carpinteros de Construcción...

tas están descritas pormenorizadamente en la Lámina 27 del Álbum del Marqués de la Victoria.

Las Reales Ordenanzas de 1748 establecían que el mando sobre la Maestranza del Arsenal, inclu-

era de catorce a dieciséis horas diarias, variando de invierno a verano, de lunes a sábado, con una hora para el almuerzo y dos al mediodía para comer en verano y reducido a media hora y una hora respectivamente en invierno. El pago del salario era diario dependiendo de la tesorería disponible.

La mayor parte de los trabajadores se agrupaban en gremios aunque también existía una minoría de trabajadores no agremiados en actividades de baja cualificación como los peones que no tenían asiento formal en las listas de la Maestranza.

Los principales gremios ligados a las actividades del Astillero, Fábricas y Obradores del Arsenal relacionados con la construcción naval eran los siguientes :

Carpinteros de ribera, calafates, carpinteros de lo blanco, barrenadores, aserradores, escultores, toneleros, fundidores, herreros, casilleros, cerrajeros, faroleros, latoneros, pintores, delineadores, cocedores de brea, marineros y peones.

Los gremios más numerosos eran los carpinteros de ribera y de los blanco cuyas herramien-

yendo la empleada en los trabajos del Astillero correspondía al capitán de maestranza que dependía directamente del Intendente del Arsenal.

La mano de obra necesaria para acometer la construcción de los doce primeros navíos fue cuantificada por Jorge Juan<sup>28</sup> en 6.200 hombres de ellos 2.400 carpinteros de ribera, 600 aprendices, 600 calafates, 2.000 peones y 600 carpinteros de lo blanco, basándose en los requerimientos de Rooth.

En el informe<sup>29</sup> que elevó posteriormente Antonio de Perea con motivo de su nombramiento como director del Astillero, mostró una conformidad completa con estas cifras.

Estas cifras no llegaron a alcanzarse en ningún momento, y en la realidad se mantuvieron muy alejadas de ellas. Las causas fueron diversas, la más significativa fue la puesta en marcha simultánea de las obras de los tres Arsenales, principalmente los de Ferrol y Cartagena, así como de los planes de construcción naval de Ensenada, cuando el país tenía un déficit desde hacía varios lustros de los principales gremios relacionados con estas actividades.

<sup>28</sup> AGS, Marina. leg. 376. Informe sobre las obras del Arsenal, Astillero de Esteiro y Fábrica de Lonas realizado por Jorge Juan y enviado a Ensenada el 12 de diciembre de 1751

<sup>29</sup> AGS, Marina 376 Carta de A. de Perea a Ensenada de 6 de enero de 1752 con un detallado informe sobre la situación de las obras y necesidades en el Astillero de Esteyro y la Fábrica de Jarcia y Lonas de Sada.

Para incentivar la venida a Ferrol de trabajadores procedentes de otras regiones, las condiciones que se ofrecían incluían unos *salarios decentes y puntuales*, gastos de viaje y buen trato, a pesar de las cuales su recluta fue un problema constante durante los primeros años en los que los trabajos del Arsenal y los planes de construcción naval del Astillero se solaparon.

Los vizcaínos, asturianos y en menor medida los gallegos procedentes de otras localidades de Galicia con tradición en la construcción naval, formaron el núcleo más importante de carpinteros de ribera que trabajaron en los primeros años del Astillero de Esteyro, y de estos los vizcaínos fueron los más numerosos, porque en el País Vasco existía una larga tradición de construcción naval. En el País Vasco, el reclutamiento de personal se llevó a cabo a través de las instituciones locales, la Diputación de Guipúzcoa y Álava y el Señorío de Vizcaya.

Estos últimos, protagonizaron varias algaradas protestando por motivos derivados de las condiciones del alojamiento, como el hecho de que no les dejaran encender fuego a partir de cierta hora, o de no disponer de un cura vizcaíno que pudiera atenderles en los frecuentes accidentes que se producían en el astillero. Asimismo reclamaban mejores condiciones de trabajo así como un sueldo de 50 escudos al mes para los contraмаestres y que a los enfermos se les considerase el sueldo entero.

Ante la escasez de obreros para trabajar en las obras del Arsenal y Astillero, también se emplearon como peones soldados de los Regimientos de Flandes, Bruselas, Irlanda y Ultonia.

En 1750 vinieron a trabajar<sup>30</sup> a las órdenes de Rooth, Gerónimo de Aizpurúa, Manuel de Aizpurúa y Juan de Arizmendi. Gerónimo permaneció en el Astillero como contraмаestre de construcción y ayudante de construcción entre 1750 y 1754<sup>31</sup>.

Con él estuvo también en Ferrol su hijo Joseph Nicolás de Aizpurúa, y llevó a cabo las gestiones para contratar en Guipúzcoa maestranza de carpintería de ribera y de lo blanco, escultura y calafatería.

Las condiciones que se ofrecían eran bastante ventajosas, una gratificación de 160 reales para el viaje, sueldos superiores al resto de la maestranza y se les garantizaba que en los días de descanso y enfermedad tendrían *sus diarios limpios y aseados*.

El mismo año<sup>32</sup> llegaron 356 carpinteros de ribera vascos elegidos por Manuel de Aizpurúa. Procedían<sup>33</sup> de las villas de Orio, Eibar, Urnieta, Usurbil, Zarauz, Aya, Sarabella, Azcoitia, Alguizan, Alguiza y Deva.

En la primera etapa de construcción naval del Astillero la carga de trabajo sufrió importantes variaciones que tuvieron una repercusión directa en la maestranza empleada. En 1753, unos meses antes de la destitución de Ensenada, se despidieron a 2.812 trabajadores, de ellos 1.406 de la maestranza vasca y 1.073 soldados de Marina<sup>34</sup>.

La simultaneidad de las obras del Arsenal, el Astillero de Esteyro y la construcción de los doce navíos, dio lugar a la aparición de graves problemas de alojamiento que llegaron a hacerse críticos, quejándose Cosme Álvarez<sup>35</sup> al hablar de las condiciones de las

<sup>30</sup> AGS, leg. 234. Individuos de Arsenales 1750 a 1751

<sup>31</sup> Odriazola Oyarbide, Lourdes. La construcción naval en Gipuzkoa. Siglo XVIII. Martutene. 1997

<sup>32</sup> AGS, Marina. leg. 234. Individuos de Arsenales 1750 a 1751. Carta de Manuel Ignacio de Aguirre a Ensenada de 5 de Junio de 1752.

<sup>33</sup> AGS, Marina leg. 324 Carta de Nicolás de Altuna, Diputado General, a Ensenada de Azpeitia 2 de septiembre de 1752.

<sup>34</sup> Santalla López, Manuela. Ferrol historia social (1726-1858) Edicions A Nosa Terra. p. 115

<sup>35</sup> AGS, Marina leg. 376. Correspondencia de Cosme Álvarez a Alonso Pérez Delgado sobre Asuntos del Servicio

viviendas que se ofrecían en alquiler ...*que nadie mejor que V.E. sabe lo que son estos chirivichines, que la gente del país no se anima a nada y solo sí a dejarse pedir un ojo de la cara por el alquiler de un pequeño cuarto...*

La resolución de este problema llevó a la creación de un barrio situado en las inmediaciones del Astillero que recibió varios nombres, como el de Barrio de las Barracas, aunque mantuvo a lo largo del tiempo la denominación de barrio de Esteyro o de Esteiro.

Tenía una distribución marcadamente longitudinal en dirección a la Plaza Real o Cuadro

de Esteyro que daba acceso al Astillero, y estaba formado por seis calles con denominaciones ligadas a la monarquía, San Carlos y San Fernando, y las restantes al santolario católico, San Pedro, San Sebastián, San Nicolás y San Roque, paralelas entre sí e intercomunicadas por diferentes calles transversales.

El barrio se formó a partir de este ordenamiento longitudinal pero sin proyecto previo creciendo de forma espontánea en función de las necesidades de alojamiento de la población empleada en el Arsenal y Astillero.

---

Nota : La segunda parte de este artículo se publicará en el siguiente número de Ingeniería Naval





## De nuevo el *Prestige*

GERARDO POLO. Catedrático Emérito de Tráfico Marítimo (U.P.M.)

Nuestro compañero José Luis López-Sors, antiguo Director General de la Marina Mercante, acaba de publicar un libro que no solo merece la atención de cuantos de una forma u otra vivimos hace ya 21 años la tragedia del Prestige, sino que, además, puede servir de lección a los más jóvenes que, aunque forzosamente conocen el caso, no lo vivieron como lo vivimos la inmensa mayoría del país y especialmente los profesionales de la ingeniería naval, tan directamente afectados por el caso.

El título del libro es suficientemente claro: Lo que nunca te han contado del Prestige. En él se explica detalladamente lo que era el buque en aquellos momentos: un buque viejo, deficientemente mantenido, que trataba a toda costa de obtener un beneficio en el que probablemente sería su último viaje. Y en él se hace un recorrido completo de lo sucedido a finales del año 2002 en las

costas gallegas, desde la comunicación del buque con tierra pidiendo auxilio inmediato porque estaba en peligro de hundirse, hasta que, efectivamente, se hundió el 19 de noviembre.

Todo ello con detalle del estado del buque al iniciarse el viaje, el salvamento de la tripulación, el entramado societario del armador del buque, los problemas con el capitán, la actuación de la sociedad de clasificación, las decisiones adoptadas a lo largo de los seis días que permaneció a flote tras el May Day, la lucha titánica de los remolcadores para mantener el buque alejado de la costa, etc., hasta su final.

El ambiente en aquellos momentos era irrespirable, pues no pocos políticos que en aquellos momentos formaban parte de la oposición al gobierno, así como algunos grupos de afectados por el riesgo y asocia-



ciones creadas al efecto generaron una catarrata de críticas en relación con cuanto se estaba haciendo, exigiendo que “Nunca mais” pudieran producirse hechos similares a aquellos contra los que se estaba luchando, lo que creó en definitiva en todo el país una sensación de que la Administración española era absolutamente incapaz de controlar la situación y evitar que el Prestige generara una verdadera catástrofe ecológica en las costas gallegas.

Todo ello contado de forma sencilla por la persona que tuvo a su cargo la dirección de la operación y aceptó desde el primer momento la responsabilidad total de la misma, sin transferirla a superiores ni a subordinados, cosa que, desgraciadamente, pocas veces se ha visto en nuestro país. El caso es que López-Sors fue imputado y juzgado, aunque al cabo de los años –demasiados, desgraciadamente– obtuvo una sentencia favorable en la Audiencia de La Coruña, posteriormente confirmada por el Tribunal Supremo. Y como consecuencia de la misma, por vez primera España se vio libre de tener que hacer frente al pago de indemnizaciones millonarias, al no ser condenado ningún funcionario español.

En el libro cabe destacar la referencia a otros graves siniestros marítimos, relatándose las decisiones que se tomaron en cada caso y el resultado final de las mismas. Los accidentes del Torrey Canyon, Amoco Cádiz, Urquiola,

Exxon Valdez, Aegian Sea, Erika, Castor, etc., explicados con cierto detalle en el texto, suponen un cúmulo de experiencia en este tipo de accidentes que debería ser materia obligatoria de estudio tanto en nuestros centros universitarios dedicados a la formación de marinos mercantes, mari-

nos de guerra e ingenieros navales, como también en aquellos en cuyas aulas se imparten de formaciones profesionales relacionadas con la mar.

Creo que el estudio reposado y sereno de cuanto aconteció hace veintiún años, con independencia de las opiniones encontradas de unos y otros respecto a lo que se hizo o lo que debió haberse hecho, muy razonables, muchas de ellas, debe contribuir al mejor entendimiento entre nuestros técnicos navales y en definitiva a la mejora de nuestros sistemas de defensa frente a este tipo de catástrofes ecológicas.

Y al terminar esta reseña, en estos momentos en que aprovechando el enfrentamiento radical entre casi todos nuestros partidos políticos, curiosamente algunos grupos y asociaciones vuelven a enfrentarse a la Administración recordando la demencial bandera del “Nunca mais” –ahora centrada en la aparición de pequeñas bolitas de plástico (pellets) sobre todo en las costas gallegas, aunque extendiéndose hacia el norte de la península– a consecuencia de la caída de unos contenedores a la mar en las proximidades de Portugal procedentes del buque de bandera liberiana Toconao –, queremos confiar en que finalmente se imponga el buen sentido y no se llegue a crear conflictos que no hacen, sino agravar una situación que en estos momentos no es precisamente de calma en nuestro país.

# Índice

## 1. ESTRUCTURA DEL CASCO

- 1.1 Acero del casco
- 1.2 Piezas estructurales fundidas o forjadas
- 1.3 Cierres estructurales del casco (escotillas, puertas, puertas/rampas)
- 1.4 Chimeneas, palos-chimenea, palos, posteleros
- 1.5 Rampas internas
- 1.6 Tomas de mar

## 2. PLANTA DE PROPULSIÓN

- 2.1 Calderas principales
- 2.2 Turbinas de vapor
- 2.3 Motores propulsores
- 2.4 Turbinas de gas
- 2.5 Reductores
- 2.6 Acoplamiento y embragues
- 2.7 Líneas de ejes
- 2.8 Chumaceras
- 2.9 Cierres de bocina
- 2.10 Hélices, hélices-tobera, hélices azimutales
- 2.11 Propulsores por chorro de agua
- 2.12 Otros elementos de la planta de propulsión
- 2.13 Componentes de motores
- 2.14 Propulsión Diésel-Eléctrica

## 3. EQUIPOS AUXILIARES DE MÁQUINAS

- 3.1 Sistemas de exhaustación
- 3.2 Compresores de aire y botellas de aire de arranque
- 3.3 Sistemas de agua de circulación y de refrigeración
- 3.4 Sistemas de combustible y aceite lubricante
- 3.5 Ventilación de cámara de máquinas
- 3.6 Bombas servicio de máquina
- 3.7 Separadores de sentina

## 4. PLANTA ELÉCTRICA

- 4.1 Grupos electrógenos
- 4.2 Cuadros eléctricos
- 4.3 Cables eléctricos
- 4.4 Baterías
- 4.5 Equipos convertidores de energía
- 4.6 Aparatos de alumbrado
- 4.7 Luces de navegación, proyectores de señales. Sirenas
- 4.8 Aparellaje eléctrico
- 4.9 Proyectos "Llave en Mano"

## 5. ELECTRÓNICA

- 5.1 Equipos de comunicaciones interiores
- 5.2 Equipos de comunicaciones exteriores
- 5.3 Equipos de vigilancia y navegación
- 5.4 Automación, Sistema Integrado de Vigilancia y Control
- 5.5 Ordenador de carga
- 5.6 Equipos para control de flotas y tráfico
- 5.7 Equipos de simulación

## 6. EQUIPOS AUXILIARES DE CASCO

- 6.1 Reboses atmosféricos, indicadores de nivel de tanques
- 6.2 Aislamiento térmico en conductos y tuberías
- 6.3 Sistema de ventilación, calefacción y aire acondicionado
- 6.4 Calderas auxiliares, calefacción de tanques
- 6.5 Plantas frigoríficas
- 6.6 Sistemas de detección y extinción de incendios
- 6.7 Sistema de baldeo, achique y lastrado

- 6.8 Equipos de generación de agua dulce
- 6.9 Sistemas de aireación, inertización y limpieza de tanques
- 6.10 Elementos para estiba de la carga
- 6.11 Sistemas de control de la contaminación del medio ambiente, tratamiento de residuos
- 6.12 Plataformas para helicópteros
- 6.13 Valvulería servicios, actuadores
- 6.14 Planta hidráulica
- 6.15 Tuberías

## 7. EQUIPOS DE CUBIERTA

- 7.1 Equipos de fondeo y amarre
- 7.2 Equipos de remolque
- 7.3 Equipos de carga y descarga
- 7.4 Equipos de salvamento (botes, pescantes, balsas salvavidas)

## 8. ESTABILIZACIÓN, GOBIERNO Y MANIOBRA

- 8.1 Sistemas de estabilización y corrección del trimado
- 8.2 Timón, Servomotor
- 8.3 Hélices transversales de maniobra
- 8.4 Sistema de posicionamiento dinámico

## 9. EQUIPAMIENTO Y HABILITACIÓN

- 9.1 Accesorios del casco, candeleros, pasamanos, etc.
- 9.2 Mamparos no estructurales
- 9.3 Puertas, portillos, ventanas, limpiaparabrisas, vistaclaras, cortinas antideslumbrantes
- 9.4 Escalas, teclas
- 9.5 Recubrimientos, pintura. Tratamiento de superficies
- 9.6 Protección catódica
- 9.7 Aislamiento, revestimiento
- 9.8 Mobiliario
- 9.9 Gamba frigorífica
- 9.10 Equipos de cocina, lavandería y eliminación de basuras
- 9.11 Equipos de enfermería
- 9.12 Aparatos sanitarios
- 9.13 Habitación, llave en mano

## 10. PESCA

- 10.1 Maquinillas y artes de pesca
- 10.2 Equipos de manipulación y proceso del pescado
- 10.3 Equipos de congelación y conservación del pescado
- 10.4 Equipos de detección y control de capturas de peces
- 10.5 Embarcaciones auxiliares

## 11. EQUIPOS PARA ASTILLEROS

- 11.1 Soldadura y corte
- 11.2 Gases industriales
- 11.3 Combustible y lubricante
- 11.4 Instrumentos de medida
- 11.5 Material de protección y seguridad
- 11.6 Equipos para puertos y plataformas

## 12. EMPRESAS DE INGENIERÍA Y SERVICIOS

- 12.1 Oficinas técnicas
- 12.2 Clasificación y certificación
- 12.3 Canales de Experiencias
- 12.4 Seguros marítimos
- 12.5 Formación
- 12.6 Empresas de servicios
- 12.7 Brokers

## 13. ASTILLEROS

## 1. ESTRUCTURA DEL CASCO

### 1.3 Cierres estructurales del casco



#### SP Consultores y Servicios, S.L.

**Rampas Ro-Ro. Tapas de Escotillas. Sistemas hidráulicos. Reparaciones.**

Sevilla • Vigo • Algeciras • Barcelona

sp@spconsulto.com

www.spconsulto.com



#### Masson Marine Ibérica

**Reductores-inversores desde 300 hasta 10.000 kw con PTO, PTI y frenos para paso fijo y variable.**

Avda. San Pablo, 28, Nave 22  
28823 Coslada - Madrid

Tel.: 91 671 47 66 - Fax: 91 674 78 33

info@masson-marine.es

www.masson-marine.com

## 2.11 Propulsores por chorro de agua

### PASCH



**Hidrojets para motores de 81 a 1986 kW**

Campo Volantín, 24 - 3º • 48007 BILBAO

Tel.: 94 413 26 60

E-mail: infobilbao@pasch.es

## 2. PLANTA DE PROPULSIÓN

### 2.3 Motores Propulsores

#### PASCH



**Motores diesel.**

**Propulsores y auxiliares 10 a 2.000 CV**

Campo Volantín, 24 - 3º  
48007 BILBAO

Tel.: 94 413 26 60

E-mail: infobilbao@pasch.es



#### Masson Marine Ibérica

**Hélices y equipos completos de paso variable hasta 10.000 kw**

Avda. San Pablo, 28, Nave 22 - 28823  
Coslada - Madrid

Tel.: 91 671 47 66 - Fax: 91 674 78 33

info@masson-marine.es

www.masson-marine.com



### COTERENA

**TALLER DE REPARACIÓN MARINO Y TERRESTRE, Y SUMINISTRADOR DE REPUESTOS.**

Muelle de reparaciones de Bouzas, s/n  
P.O. Box 2.056 - 36208-VIGO (Spain)

Telf + 34 986 23 87 67

FAX + 34 986 23 87 19

Email: coterena@coterena.es



### 2.5 Reductores



#### REINTJES España. S.A.U.

**REDUCTORES MARINOS DESDE 250 HASTA 30.000 KW**

Avda. Doctor Severo Ochoa, 45 - 1º B  
P.A.E. Casablanca II

E-28100 Alcobendas (Madrid)

Tel. +34 91 657 2311

Fax +34 91 657 2314

E-mail: comercial@reintjes.es

www.reintjes-gears.com

### VULKAN COUPLINGS

#### VULKAN Española S.A.

Acoplamientos elásticos, suspensiones elásticas. Embragues, frenos, tomas de fuerza (PTO/PTI), ejes cardan, ejes de composite. Sistemas de Filtración de aire y equipos de ventilación. Estudio y soluciones de vibraciones y acústicas. Silenciosos de escape standard y especiales. Cálculos vibraciones torsionales, 6DOF, 12DOF para suspensión elástica, ICE Class y cálculos especiales. Servicio Postventa: asistencias técnicas y repuestos.

Avda. Montes de Oca 19 - Nave 7

E-28703 San Sebastián de los Reyes  
Madrid - España

T +34 913590971 | F +34 913453182

vulkan@vulkan.es

www.vulkan.com



Inserte  
aquí su  
publicidad



## 2.13 Componentes de motores



**Repuestos para motores Diesel y Gas. Repuestos y servicio para Cierres de Bocina. Componentes línea de ejes.**

c/ García Camba, 6 • Oficina 403

36001 Pontevedra

Telf + 34 692 549 549

Email: [info@rolloymarine.com](mailto:info@rolloymarine.com)

[www.rolloymarine.com](http://www.rolloymarine.com)



Agente para España de

**MÄRKISCHES WERK**  
Your Engine. Our Ingenuity.™

**Válvulas de 2 y 4 tiempos, asientos, guías y dispositivos de giro de válvulas. Cuerpos de válvula nuevos y reparados.**

Agente para España de  
MÄRKISCHES WERK

Serrano Galvache, 5 bajo  
28033 MADRID (SPAIN)

Tel.: +34 91 768 03 95

Fax: +34 91 768 03 96

E-mail: [cascos@cascosnaval.com](mailto:cascos@cascosnaval.com)

[www.cascosnaval.com](http://www.cascosnaval.com)

**VULKAN  
COUPLINGS**

**VULKAN Española S.A.**

Acoplamiento elástico, suspensiones elásticas. Embragues, frenos, tomas de fuerza (PTO/PTI), ejes cardan, ejes de composite. Sistemas de Filtración de aire y equipos de ventilación. Estudio y soluciones de vibraciones y acústicas. Silenciosos de escape standard y especiales. Cálculos vibraciones torsionales, 6DOF, 12DOF para suspensión elástica, ICE Class y cálculos especiales. Servicio Postventa: asistencias técnicas y repuestos.

Avda. Montes de Oca 19 – Nave 7

E-28703 San Sebastián de los Reyes  
Madrid - España

T +34 913590971 | F +34 913453182

[vulkan@vulkan.es](mailto:vulkan@vulkan.es)

[www.vulkan.com](http://www.vulkan.com)



Inserte  
aquí su  
**publicidad**

## 7. EQUIPOS DE CUBIERTA

### 7.1 Equipos de fondeo y amarre



**SERVO SHIP, S.L.**

**Molinetes. Chigres. Cabrestantes.**

Avda. Cataluña, 35-37  
bloque 4, 1º Izquierda

50014 Zaragoza (España)

Tel.: 976 29 80 39 / 82 59

Fax: 976 29 21 34



**Anclas y cadenas para buques  
Estachas y cables**

**GRAN STOCK PERMANENTE**

Parque Empresarial de Coirós

Parcela 10

15316 COIRÓS (A Coruña)

Telf.: 981 17 34 78 - Fax: 981 29 87 05

Web: <http://www.rtrillo.com>

E-mail: [info@rtrillo.com](mailto:info@rtrillo.com)



**SERVO SHIP, S.L.**

**Sistemas de evacuación.  
Pescantes de botes.**

Avda. Cataluña, 35-37  
bloque 4, 1º Izquierda

50014 Zaragoza (España)

Tel.: 976 29 80 39 / 82 59

Fax: 976 29 21 34

## 8. ESTABILIZACIÓN, GOBIERNO Y MANIOBRA

### 8.1 Sistemas de estabilización y corrección del trimado

**PASCH**

**TRAC ZIPWAKE  
waveless**

**Equipos de estabilización y trimado  
dinámico para barcos de hasta 45 m**

Campo Volantín, 24 - 3º • 48007 BILBAO

Tel.: 94 413 26 60

E-mail: [infobilbao@pasch.es](mailto:infobilbao@pasch.es)



## 8.2 Timón, Servomotor



### Servotimones.

Avda. Cataluña, 35-37  
bloque 4, 1º Izquierda  
50014 Zaragoza (España)  
Tel.: 976 29 80 39 / 82 59  
Fax: 976 29 21 34

## 8.3 Hélices transversales de maniobra



### Hélices de maniobra.

Avda. Cataluña, 35-37  
bloque 4, 1º Izquierda  
50014 Zaragoza (España)  
Tel.: 976 29 80 39 / 82 59  
Fax: 976 29 21 34

## 9. EQUIPAMIENTO Y HABILITACIÓN



**Diseño conceptual.  
Diseño de Interiores.  
Diseño arquitectónico.  
Habilitación naval.**

Estrada Diliz, 33  
48990 Getxo (VIZCAYA)  
Tels.: 94 491 10 81 / 491 40 54  
Fax: 94 460 82 05  
E-mail: [oliver@oliverdesign.es](mailto:oliver@oliverdesign.es)  
<http://www.oliverdesign.es>

## 9.5 Recubrimientos, pintura. Tratamiento de superficies



**Pinturas marinas de alta tecnología para la protección de superficies. Antifoulings autopulimentables para 60-90 meses de navegación, ahorra combustibles y mejora la velocidad de navegación. Epoxy alto espesor para superficies tratadas deficientemente (surface tolerant).**

Poligono Santa Rita  
C/. Estática, 3  
08755 CASTELLBISBAL Barcelona  
Tel.: 93 771 18 00 - Fax: 93 771 18 01  
E-mail: [iberica@jotum.es](mailto:iberica@jotum.es)

## 9.6 Protección catódica



**Protección catódica.  
Fabricante ánodos de sacrificio.  
Distribuidor oficial pinturas JOTUN.**

### Maquinaria de pesca NOSFOR.

Rúa Tomada, 74 Navia  
36212 Vigo (PONTEVEDRA)  
Tel.: 986 24 03 37 - Fax: 986 24 18 35  
E-mail: [cingal@cingal.net](mailto:cingal@cingal.net)  
<http://www.cingal.net>



Inserte  
aquí su  
publicidad

## 12. EMPRESAS DE INGENIERÍA Y SERVICIOS

### 12.1 Oficinas técnicas



**Ingeniería Naval. Diseño de buques.  
Proyectos de modernización.  
Consultoría naval.  
Inspección y dirección de obra.  
Tasaciones.**

Calle Montero Ríos 30, 1º  
36201 Vigo (España)  
Tel. +34 986 43 05 60  
Email: [fcarceller@carceller.com](mailto:fcarceller@carceller.com)  
[www.carceller.com](http://www.carceller.com)



**Diseño conceptual.  
Diseño de Interiores.  
Desarrollo de proyectos.  
Habilitación naval.**

Estrada Diliz, 33  
48990 Getxo (VIZCAYA)  
Tels.: 94 491 10 81 / 491 40 54  
Fax: 94 460 82 05  
E-mail: [oliver@oliverdesign.es](mailto:oliver@oliverdesign.es)  
<http://www.oliverdesign.es>



Inserte  
aquí su  
publicidad



Especialistas en el Diseño de Buques Silenciosos. Gestión integral de Vibraciones y Ruido. Cálculo y Simulación naval. Industria 4.0. URN-Ruido Radiado al Agua. Medidas y ensayos especiales. Pruebas de mar. Consultoría de averías - Análisis causa-raíz. Pruebas de Mar Integrales: Potencia, Vibraciones y Ruido, Maniobrabilidad, etc. Sistema no intrusivo de detección de cavitación. Predicción de Vibraciones, Ruidos y Ruido Radiado al Agua. CBM-Condition Based Maintenance. Proyectos I+D+i. Formación Especializada.

Edificio Pyomar Torre 2,  
Avda. Pio XII, 44. Bajo Izda  
28016 Madrid

Tels.: +34 91 345 97 30

INFO@TSISL.ES

WWW.TSISL.ES

#### INGENIERÍA NAVAL Y OFFSHORE

Ingeniería Conceptual, Básica y de Aprobación de Buques y Unidades Offshore. Ingeniería de Detalle: Acero y Armamento. Buques en operación: Soporte Técnico, Inspección y Varada. Integración en equipos de proyecto. Gestión y dirección de proyectos. Análisis Elementos Finitos, Estudios hidrodinámicos (CFD), Comportamiento en la Mar. Estudios de Seguridad, Transportes, Fondeos, Remolques, Estudios de Riesgos, DP FMEA. Análisis de Emisiones y Eficiencia Energética. Consultoría Técnica. Inspectores acreditados: ISM, IHM e eCMID. FORAN V80- ANSYS (Mechanical/AQWA/CFX)- RHINOCEROS - SOLIDWORKS - MATLAB.

c/ BOLIVIA, 5 • 28016 MADRID

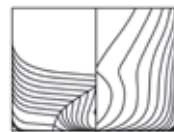
Tel.: +34 91 458 51 19

c/ Marqués de Valladares, 3 3º D  
36201 • Vigo (Spain)

E-mail: seaplace@seaplace.es

web: www.seaplace.es

## 12.2 Clasificación y certificación



#### ORP MARÍTIMA S.L.

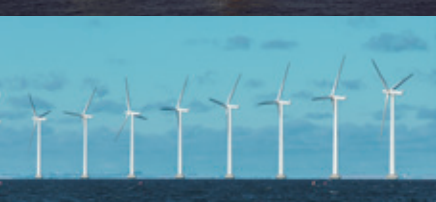
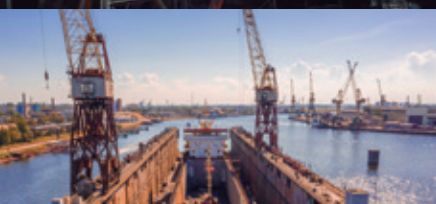
**Informes técnicos periciales Naval, Marítimo, Industrial, Energía, Transporte. Asistencia en procesos judiciales, arbitrales y de mediación. Nacional e internacional.**

Calle Écija 7, Madrid.

Tf. +34 661 83 00 89

frontdesk@orpmar.com

www.orpmar.com



# Programa Editorial 2024

## Editorial Program

### ENERO • JANUARY

Propulsión: ahorro energético. Motores, reductores, líneas de ejes, hélices. Combustibles y lubricantes.

Propulsion: energy saving. Engines, reduction gears, shaft lines, propellers. Fuel and lubricants.

### FEBRERO | FEBRUARY

Reparaciones y transformaciones. Astilleros de reparación.

Pinturas y protección de superficies.

Repairs & Conversions. Repair yards. Paint and surface protection

### MARZO • MARCH

Pesca. Acuicultura. Política pesquera

Fishing. Aquaculture. Fishing legislation

### ABRIL | APRIL

Seguridad marítima. Flota de remolcadores. LNG. Avance Navalía

Maritime Security & Safety. Tugboats fleet. LNG.

### MAYO • MAY

Industria auxiliar. Gobierno y maniobra

Auxiliary industry. Steering and manoeuvre

### JUNIO | JUNE

Construcción naval. Tendencias

Shipbuilding. Trends

### JULIO-AGOSTO • JULY-AUGUST

Ingeniería. Formación. Sociedades de clasificación

Engineering. Training. Classification societies

### SEPTIEMBRE • SEPTEMBER

Marina mercante. Puertos. Náutica. Habilitación. Ferries. Cruceros.

Merchant ships. Harbours. Pleasure crafts. Accommodation. Ferries. Cruiseships.

### OCTUBRE | OCTOBER

Sector naval militar. Electrónica y Automoción

Naval sector. Electronics and Automation

### NOVIEMBRE • NOVEMBER

Offshore • Offshore

### DICIEMBRE | DECEMBER

Energías renovables y Medio ambiente Resumen del Sector Marítimo 2024

Renewable energy and environment

### CADA NÚMERO CONTIENE ADEMÁS • EACH ISSUE ALSO INCLUDES:

Artículos técnicos • Technical articles

Descripciones de buques • Ship descriptions

Noticias nacionales e internacionales • International and national news

Artículos sobre legislación, economía, fiscalidad y normativa

Articles above legislation, economy, taxes and regulations





INGENIERÍA  
naval

REVISTA DEL SECTOR MARÍTIMO

sectormaritimo.es



Suscríbete ya en  
**www.sectormaritimo.es**

# Filipinas y el Pacífico

La construcción naval,  
la navegación y la metalurgia

1575 - 1850



[WWW.INGENIEROSNAVALES.COM/TIENDA/](http://WWW.INGENIEROSNAVALES.COM/TIENDA/)



FONDO EDITORIAL DE INGENIERÍA NAVAL  
COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS NAVALES Y OCEÁNICOS