



# INGENIERÍA naval

## REVISTA DEL SECTOR MARÍTIMO

sectormaritimo.es

AÑO XCIV · N°1046 · JUNIO 2025



NUOVA  
**COVIS**  
MARINE CRANES  
*Dal 1965*

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

[info@nuovacovis.com](mailto:info@nuovacovis.com)

**Chiamaci: +39 0825955847**





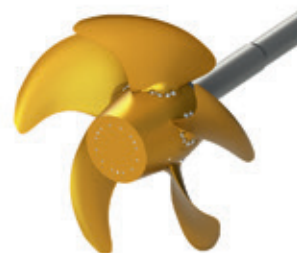
SRP



SRE



STP



SCP



SRP-R



SPJ



STT



SRT

## WE KNOW WHAT MOVES VESSELS

WIRESA  
Wilmer Representaciones, S.A.  
Pinar, 6 BIS 1°  
28006 Madrid | Spain

📞 +34 91 4 11 02 85  
+34 91 5 63 06 91  
✉ [ecostoso@wiresa.com](mailto:ecostoso@wiresa.com)

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

# Redacción

N.º 1046 • JUNIO • 2025

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**

David Sánchez Rosado

Tel: 682 120 545

comercial@ingenierosnavales.com

revista@sectormarítimo.es

## **ADMINISTRACIÓN**

Noemí Cezón López

## **DIRECCIÓN**

Castelló, 66 - 28001 Madrid

Tels.: 915 751 024 / 915 771 678

e-mail: revista@sectormarítimo.es

www.sectormarítimo.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 (2025):**

Electrónica general 90,00 €

Electrónica estudiantes 45,00 €

Papel + electrónica 110,00 €

(sólo España)

**SUSCRÍBETE AQUÍ:**  
sectormarítimo.es



**AÑO XCIV • N.º 1046**

**junio 2025**

**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. Rafael Gutiérrez Fraile  
D. José María de Juan-García Aguado  
D. Nandi Lorensu Jaesuria  
D. Miguel Ángel Palencia Herrero  
D. Mariano Pérez Sobrino  
D. Jesús Valle Cabezas



# Sumario

Nº 1046 • JUNIO • 2025

## 427. artículo técnico

“Velas como propulsión auxiliar: un enfoque con gemelos digitales para la optimización energética de buques en el marco de las normativas ETS y FuelEU”, por J. R. Uribarren; R. Atienza; R. Redondo; R. Ros; C. Llinares

“Harnessing the industrial Metaverse and AI in shipbuilding: trends, technological developments, applications, and case studies”, por M. Toman Fernández; R. Pérez

## 465. conectados

## 475. construcción naval

## 482. en profundidad

“Large sailing yachts bare mast CFD heeling analysis. Part two.”, by J. M. López Vázquez; G. Gefaell Chamochín

## 493. actualidad

## 498. guía de empresas

## 495 actualidad

Janus elaborará el software de seguridad marítima del fast ferry Mercedes Pinto que construye astillero Armón







# 475

## construcción naval

Construcción naval:  
sostenibilidad,  
eficiencia y tecnología  
de la mano de SIKA



# 466

## conectados

Nuestro compañero  
Joaquim Coello Brufau  
ingresa como académico  
numerario en la  
Real Academia de la Mar



# 481

## construcción naval

Gondán entrega del  
buque *Austri Enabler*

## Editorial

### 120 años de historia

En 2025, el Instituto de Ingeniería de España (IIE) celebra con orgullo su 120 aniversario. Más de un siglo de historia avala la trayectoria de una institución que ha sido testigo y protagonista de la transformación tecnológica, económica y social de nuestro país.

El 15 de enero de 1905, se fundó el Instituto de Ingenieros Civiles con las cinco asociaciones de ingenieros, por entonces existentes: Agrónomos, Caminos, Industriales, Minas y Montes. Navales se incorporó al Instituto de Ingenieros Civiles en 1943. En 1979, esta federación de todas las Asociaciones abandona su viejo nombre pasando a denominarse “Instituto de la Ingeniería de España”. Este Instituto es el embrión de todas las organizaciones de Ingenieros que han ido desarrollándose en España.

El Instituto de Ingeniería de España nació con la vocación de representar y coordinar los intereses comunes de las asociaciones de ingenieros, así como de fomentar el desarrollo técnico y científico del país. Su fundación respondió a la necesidad de una voz unificada de los profesionales de la ingeniería, capaces de abordar de forma multidisciplinar los desafíos que ya entonces se perfilaban en una España que buscaba modernizarse.

A lo largo de toda su trayectoria, 76 ingenieros han presidido esta institución y entre ellos, encontramos a 5 ingenieros navales y oceánicos: Juan Manuel Tamayo Orellana (1947-1948); José M.<sup>a</sup> González Llanos y Caruncho (1953-1954); Gregorio López-Bravo Castro (1961-1962); Manuel García Gil de Bernabé (1984-1988); y Manuel Moreu Munaiz (2012-2016). Actualmente, María Cruz Díaz Álvarez es su presidenta, segunda en la historia de esta institución, siendo la primera, María Jesús Prieto Laffargue en el año 2000.

A lo largo de sus 120 años, el IIE ha tenido un papel esencial en momentos decisivos de la historia contemporánea española. Ya en el primer tercio del siglo XX, fue promotor de estudios clave para la industrialización del país. Durante la posguerra, participó activamente en la reconstrucción de infraestructuras y en la planificación del crecimiento económico. Más recientemente, ha sido un agente clave en los debates sobre sostenibilidad, digitalización y transición energética.

Celebrar 120 años de vida institucional no es solo mirar hacia atrás, sino también reivindicar los valores que han dado sentido a esta trayectoria: rigor, excelencia técnica, independencia, responsabilidad, cooperación, vocación de servicio y compromiso con el desarrollo humano.

En nombre de todos los ingenieros y de las asociaciones que integran el IIE, esta efeméride es también un homenaje a las miles de personas que han contribuido, con su trabajo y dedicación, a consolidar esta casa común de la ingeniería española. A todos ellos, nuestro reconocimiento más sincero.

¡Muchas felicidades!





**BUREAU  
VERITAS**

# Bureau Veritas:

SOCIEDAD DE CLASIFICACIÓN  
DE LA UNIÓN EUROPEA

## PARQUES EÓLICOS OFFSHORE

@ **JAVIER GONZALEZ ARIAS**  
javier.gonzalez-arias@bureauveritas.com

T. 91 270 21 26 **WEB** [WWW.MARINE-OFFSHORE.BUREAUVERITAS.COM](http://WWW.MARINE-OFFSHORE.BUREAUVERITAS.COM)



**CERTIFY YOUR OFFSHORE  
WIND FARM**



**REDUCE  
YOUR RISKS**



**CLASS YOUR  
VESSEL**



**CERTIFY YOUR OFFSHORE  
WIND FARM**



# Velas como propulsión auxiliar: un enfoque con gemelos digitales para la optimización energética de buques en el marco de las normativas ETS y FuelEU



José Ramón Iribarren, I. N.



Raúl Atienza, I. N.



Raúl Redondo, I. N.



Rafael Ros



Carlota Llinares

Trabajo presentado en el 64º Congreso Internacional de Ingeniería Naval e Industria Marítima, celebrado del 26 al 28 de marzo de 2025 en Gijón. 3<sup>er</sup> premio.

## ÍNDICE

### Resumen / Abstract

#### 1. Introducción y desafíos para la industria marítima

- 1.1. Normativas ETS y FuelEU: objetivos y requisitos clave
- 1.2. Soluciones tecnológicas: alternativas disponibles y su aplicación en la optimización del rendimiento
  - 1.2.1. Tipo de sistemas de propulsión asistida por viento
  - 1.2.2. Beneficios y limitaciones de las velas modernas en entornos operativos
- 1.3. Rol de los simuladores en tiempo real y gemelos digitales en el análisis de nuevas tecnologías
- 1.4. Objetivo de estudio

#### 2. Evaluación del impacto de WAPS en el cumplimiento normativo y reducción de emisiones

#### 3. Evaluación de la propulsión auxiliar con velas modernas en simuladores de maniobra de buques en tiempo real

#### 3.1. Creación del modelo de buque con velas modernas

- 3.1.1. Selección del buque de referencia
- 3.1.2. Modelado de las configuraciones de velas modernas

#### 3.2. Evaluación del impacto del incremento de la superficie vélica y su incidencia en la visibilidad

- 3.2.1. Coeficientes de viento aplicados
- 3.2.2. Evaluación del incremento de las fuerzas de resistencia aerodinámica
- 3.2.3. Evaluación de los momentos generados por las velas
- 3.2.4. Comparación visual de las velas en condiciones de máxima y mínima resistencia

#### 3.3. Simulación de maniobras en puerto

#### 3.4. Análisis de resultados y conclusiones

#### 3.5. Futuros desarrollos

#### 4. Referencias

#### 5. Agradecimientos y reconocimientos



## RESUMEN

Las normativas ETS y FuelEU en Europa plantean nuevos retos para la industria marítima, exigiendo a los buques de todos los tipos optimizar su eficiencia energética y reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub>. En este contexto, los simuladores avanzados y gemelos digitales han emergido como herramientas fundamentales para analizar y mejorar el rendimiento energético y la maniobrabilidad de los buques en condiciones operativas reales.

Entre las medidas técnicas que se pueden aplicar para la mejora del rendimiento se encuentran numerosas opciones como: cambio de combustible a uno alternativo (GNL, etanol, metanol, hidrógeno, amoníaco...), sistema de lubricación por aire, sistema de propulsión asistido por viento (velas), paneles solares, sistemas de recuperación de energía residual, hélices de alto rendimiento, pinturas de baja resistencia o limitación de la potencia.

Este estudio explora la interacción entre las condiciones de viento, el consumo de combustible y la maniobrabilidad del buque, evaluando además el impacto de sistemas de propulsión auxiliar basados en velas modernas. Se analiza cómo los cambios en la superficie vélica afectan tanto a las operaciones de navegación como a las maniobras en puerto, destacando la importancia de la adaptación por parte de capitanes y prácticos a estas nuevas configuraciones.

Los resultados demuestran cómo estas tecnologías permiten diseñar estrategias que equilibran el cumplimiento de normativas medioambientales con la seguridad y la eficiencia operativa, mientras facilitan la transición hacia una navegación más sostenible. Este enfoque subraya la relevancia de los simuladores y gemelos digitales no solo como herramientas técnicas, sino también

como medios para apoyar la capacitación y la toma de decisiones en un entorno marítimo en evolución.

## Abstract

The ETS and FuelEU regulations in Europe pose new challenges for the maritime industry, requiring all types of ships to optimize their energy efficiency and reduce CO<sub>2</sub> emissions. In this context, advanced simulators and digital twins have emerged as essential tools to analyze and improve the energy performance and maneuverability of ships under real operational conditions.

Several technical measures can be implemented to enhance energy efficiency, including alternative fuels (LNG, ethanol, methanol, hydrogen, ammonia), air lubrication systems, wind-assisted propulsion systems (sails), solar panels, waste energy recovery systems, high-performance propellers, low-drag coatings, and power limitation strategies.

This study explores the interaction between wind conditions, fuel consumption, and ship maneuverability, specifically assessing the impact of modern sail-based auxiliary propulsion systems. It examines how changes in sail area affect both navigation and port maneuvers, emphasizing the importance of adaptation by captains and harbor pilots to these new configurations.

The results demonstrate how these technologies enable the design of strategies that balance compliance with environmental regulations, operational safety, and efficiency while facilitating the transition to more sustainable shipping practices. This approach highlights the relevance of simulators and digital twins not only as technical tools but also as resources to support training and decision-making in a rapidly evolving maritime environment.

## 1. INTRODUCCIÓN Y DESAFÍOS PARA LA INDUSTRIA MARÍTIMA

La industria marítima enfrenta, en la actualidad, retos significativos debido a la creciente necesidad de reducir las emisiones contaminantes y mejorar la eficiencia energética. Las operaciones marítimas son responsables de una proporción considerable de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, lo que ha llevado a la implementación de normativas y regulaciones más estrictas para limitar el impacto ambiental del transporte marítimo.

De acuerdo con la Organización Marítima Internacional (OMI), se ha establecido un objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 50% para 2050 en comparación con los niveles de 2008, lo que subraya la importancia de la industria para encontrar formas de reducir el consumo de combustible y las emisiones sin comprometer la competitividad y la seguridad operativa.

### 1.1. Normativas ETS y FuelEU: objetivos y requisitos clave

Dentro de este contexto, se destacan dos normativas clave: ETS (Emissions Trading System) y FuelEU Maritime. Estas regulaciones buscan promover la transición hacia una industria marítima más limpia y eficiente, estableciendo metas claras de reducción de emisiones para el sector marítimo.

El ETS comenzó su implementación en 2023, obligando a los buques a adquirir permisos de emisión de CO<sub>2</sub> y ampliándose progresivamente en los próximos años. A partir de 2026, el sistema incluirá también emisiones de otros contaminantes, como óxidos de nitrógeno (NOx), promoviendo la transición hacia tecnologías más limpias.

Esta normativización incentiva el uso de energías alternativas en la propulsión de los

buques, reduciendo las emisiones de gases contaminantes y ayudando a cumplir los objetivos de la UE.

Por otro lado, el reglamento FuelEU Maritime, aprobado en 2021, establece un límite obligatorio de emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de energía consumida en los buques. Este reglamento tiene como meta reducir las emisiones en un 13% para 2030, con umbrales progresivos que seguirán reduciendo las emisiones de los buques hasta alcanzar los objetivos de descarbonización para 2050 (reducción del 80% de emisiones de GEI). Desde 2025, los buques deberán cumplir con los primeros requisitos de FuelEU, promoviendo el uso de combustibles alternativos y energía renovable a bordo.

### 1.2. Soluciones tecnológicas: alternativas disponibles y su aplicación en la optimización del rendimiento

Ante los nuevos desafíos regulatorios, la industria marítima está adoptando varias soluciones tecnológicas innovadoras para mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones.

Entre estas soluciones, se encuentran los sistemas híbridos de propulsión, el uso de combustibles alternativos como el GNL, etanol, hidrógeno y amoníaco, además de paneles solares y sistemas de recuperación de energía. Sin embargo, una de las tecnologías con mayor potencial en el contexto actual es el uso de sistemas de propulsión asistida por viento (Wind-Assisted Propulsion Systems (WAPSS)) como sistema de propulsión auxiliar.

En particular, la propulsión asistida por viento ha experimentado un resurgimiento en los últimos años como una de las alternativas más prometedoras para reducir el consumo de combustible y las emisiones de los buques.

### 1.2.1. Tipos de sistemas de propulsión asistida por viento

Los sistemas de propulsión asistida por viento están diseñados para transformar la energía del viento en energía de propulsión para los barcos. Dependiendo del tipo específico de tecnología, se emplean diferentes principios físicos en esta conversión de energía. Además, las tecnologías pueden diferir en su enfoque de implementación e instalación. Se distinguen seis categorías de tecnologías de propulsión eólica: velas de rotor, velas rígidas, velas de succión, cometas, velas flexibles y tecnología de casco.

- Velas de rotor (o rotores de Flettner) son cilindros giratorios impulsados por pequeños motores eléctricos que generan una fuerza propulsora mediante el efecto Magnus. Funcionan mejor con viento de través y pueden generar vibraciones y ruido.

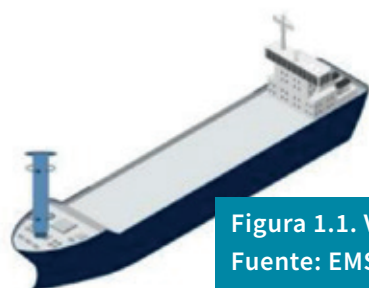


Figura 1.1. Velas de rotor.  
Fuente: EMSA

- Velas rígidas (o velas tipo ala) tienen una geometría fija y están hechas de materiales ligeros y resistentes como la fibra de carbono. Se pueden rotar automáticamente

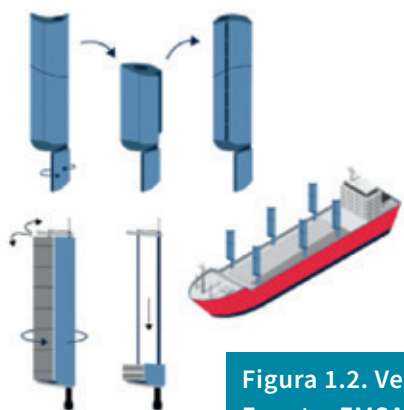


Figura 1.2. Velas rígidas.  
Fuente: EMSA

para optimizar la propulsión y, en algunos casos, incluyen paneles solares. Su diseño aerodinámico se basa en el de las alas de los aviones.

- Velas de succión son estructuras verticales con ventilaciones y un ventilador interno que usan succión de la capa límite para generar empuje adicional. Son más efectivas con vientos de través y pueden instalarse en unidades contenedorizadas.



Figura 1.3. Velas de succión.  
Fuente: EMSA

- Cometas se fijan a la proa del barco y pueden aprovechar vientos de mayor altitud. Hay cometas pasivas, que siguen la dirección del viento, y cometas dinámicas, que se mueven en trayectorias específicas para mejorar la sustentación.

Figura 1.4. Cometas.  
Fuente: EMSA



- Velas flexibles son similares a las tradicionales, pero pueden tener forma de ala para maximizar el empuje. Algunas tienen mástiles con doble función como grúas, y otras, como las velas inflables, incluyen sistemas automatizados para su despliegue y recogida. Aunque han demostrado ser menos eficientes que las velas de rotor, las rígidas y las de succión, se siguen explorando.



- Tecnología de casco: Algunos barcos de nueva construcción pueden diseñarse con cascos aerodinámicos que generan sustentación y propulsión. Actualmente, esta tecnología se limita a diseños para buques Ro-Ro.

**Figura 1.5.**  
Velas flexibles.  
Fuente: EMSA



Entre las soluciones más innovadoras y prometedoras en los sistemas de propulsión asistida por viento se encuentran las velas de rotor, las rígidas y las de succión (en adelante, velas modernas), que utilizan estructuras más rígidas que las tradicionales, lo que permite un control más preciso de la dirección del viento y una mayor eficiencia en la generación de empuje.

En el sector de la carga comercial, el uso de velas modernas está demostrando una mejora significativa en la eficiencia energética de los buques, especialmente en rutas de larga distancia y en condiciones de viento favorables. Se estima que un buque equipado con velas modernas puede reducir su consumo de combustible en hasta un 10-15% en promedio anual, considerando tanto condiciones favorables como desfavorables. No obstante, en momentos puntuales con vientos especialmente favorables, no es raro alcanzar reducciones superiores al 50%, lo que representa un avance considerable en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 1.2.2. Beneficios y limitaciones de las velas modernas en entornos operativos

Las velas modernas ofrecen una serie de beneficios operativos, entre los que destacan:

- Reducción del consumo de combustible: Al generar empuje adicional a través del viento, las velas modernas permiten reducir el consumo de combustibles fósiles, lo que conlleva una disminución significativa de las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes.
- Mayor fiabilidad y control: A diferencia de las velas tradicionales, las velas modernas permiten un control más preciso de la dirección y el ángulo del viento, lo que mejora la eficiencia en diversas condiciones meteorológicas.
- Costos operativos más bajos: A largo plazo, el uso de velas modernas puede reducir los costos de combustible, lo que se traduce en una mayor competitividad para las empresas que las implementan.
- Beneficios regulatorios: Además de las ventajas operativas, las WAPS (Wind Assisted Propulsion Systems) contribuyen al cumplimiento normativo al mejorar indicadores clave como el EEDI/EEEXI y el CII, además de reducir los costos asociados a las emisiones de CO<sub>2</sub> en el marco del EU-ETS y disminuir los costos ligados al FuelEU Maritime

Sin embargo, existen también limitaciones que deben ser consideradas:

- Espacio y carga útil: Las velas modernas requieren espacio en la cubierta del buque, que puede llegar a ser significativo en el caso de instalar varios equipos, o sistemas con necesidad de gran tamaño como las velas rígidas. Ello que puede afectar la capacidad de carga útil y la distribución del espacio para otros equipos.
- Maniobrabilidad: La implementación de velas modernas puede complicar las maniobras en puertos debido al tamaño y peso de las velas. Este factor es crucial para la navegación en condiciones restrictivas, como la entrada y salida de puertos con poco espacio.
- Condiciones climáticas: Las velas modernas solo pueden aprovechar el viento de

manera efectiva en determinadas condiciones meteorológicas, lo que limita su aplicación en zonas con vientos inconsistentes o sin viento.

- **Visibilidad y seguridad en maniobras:** Una limitación a tener en cuenta de las velas modernas es su impacto en la visibilidad para los capitanes, particularmente en maniobras de entrada y salida de puerto. Aunque rotores flettner y velas de succión tienen un tamaño más reducido, las velas rígidas pueden ser de gran tamaño y pueden bloquear parte de la vista desde el puente, dificultando la observación directa de los alrededores del buque. Esto puede aumentar el riesgo de accidentes o colisiones en áreas con tráfico marítimo denso. Es fundamental que los capitanes se adapten a estas nuevas configuraciones, lo que podría requerir formación adicional.

### 1.3. Rol de los simuladores en tiempo real y gemelos digitales en el análisis de nuevas tecnologías

En el contexto de la transición hacia una navegación más eficiente y sostenible, los simuladores en tiempo real y los gemelos digitales han emergido como herramientas clave en la evaluación y validación de tecnologías emergentes, como las velas modernas para propulsión asistida. A través de simulaciones en tiempo real, se pueden evaluar los efectos de las velas sobre el rendimiento del buque en diversas condiciones operativas y meteorológicas. Los simuladores avanzados permiten replicar con gran precisión los cambios en las condiciones del viento y su impacto en la propulsión, así como los ajustes en la maniobrabilidad que son necesarios al incorporar velas modernas. Además, estas herramientas permiten probar estrategias de operación, ajustando la configuración de las velas en tiempo real para maximizar la eficiencia sin comprometer la maniobrabilidad y la seguridad, un as-

pecto fundamental para el cumplimiento de normativas como ETS y FuelEU.

Uno de los principales desafíos operativos de las velas modernas es su influencia en la maniobrabilidad del buque, especialmente en entornos restringidos como zonas portuarias. La generación de empuje adicional y las fuerzas aerodinámicas asociadas a las velas pueden afectar la capacidad de giro y control del buque en maniobras críticas como las entradas y salidas de puerto o el atraque/desatraque, especialmente en condiciones de viento variable. Los simuladores permiten evaluar con precisión cómo el tamaño y la configuración de las velas modernas afectan la capacidad de maniobrar en espacios reducidos, proporcionando información valiosa sobre la necesidad de ajustes operacionales en la ruta o en los procedimientos de maniobra.

Asimismo, un aspecto crítico en el entorno operativo de los buques con velas modernas es la seguridad en maniobras, que se ve directamente influenciada por la visibilidad del capitán durante las maniobras. La presencia de velas de gran tamaño puede limitar la línea de visión, lo que incrementa el riesgo de incidentes durante maniobras de precisión. Los simuladores en tiempo real permiten recrear estos escenarios, evaluando cómo diferentes configuraciones de velas afectan la percepción visual y qué ajustes pueden ser necesarios para garantizar la seguridad operativa.

Los gemelos digitales, por su parte, permiten realizar un seguimiento continuo y detallado del comportamiento del buque con velas modernas en condiciones reales de navegación. Estos modelos virtuales permiten simular no solo el impacto de las velas en la maniobrabilidad, sino también en la integración de sistemas de navegación y comunicación. Esto proporciona una herra-

The screenshot shows the NEOBUQ software interface. At the top, there's a header with the NEOBUQ logo and various navigation icons. Below the header, there's a form with several input fields: 'Nombre del barco' (Ship Name) with 'Traiano Knutsen 2', 'Número IMO' (IMO Number) with '9634768', 'Tipo de barco' (Ship Type) with 'Tanker', 'Arqueado (Grav - BT (t))' (Displacement) with '96384', 'Peso muerto del buque - DWT (t)' (Deadweight Tonnage) with '79880', and 'Distancia total recorrida (nm)' (Total distance traveled) with '79880'. Below these fields, there's a table with two columns: 'Tipo de combustible' (Fuel Type) and 'Consumo de combustible (t)' (Fuel Consumption). The table has two rows: '1. Liquefied Natural Gas' with a consumption of '10000' and '2. MDO\_MGO' with a consumption of '2000'. Below the table, there's a section for 'Tipo de modificación' (Modification Type) with a dropdown menu set to 'WAPS (Wind Assisted Propulsion System)'. There are also fields for 'Nombre de la modificación' (Modification Name), 'Unidad' (Unit), 'Descripción de la modificación' (Modification Description), 'Gas combustible en efectivo por la modificación' (Effective fuel gas by modification) with a dropdown set to 'AB/Comb', and 'Porcentaje de reducción asociado (%)' (Associated reduction percentage) with a value of '10'. At the bottom, there's a 'Recalcular' (Recalculate) button and a warning box with two messages: 'AVISO: El cambio de combustible no varía el valor del CO2' (Warning: The change of fuel does not vary the CO2 value) and 'AVISO: El porcentaje de reducción asociado es únicamente orientativo' (Warning: The associated reduction percentage is only indicative). The footer of the interface includes logos for 'Siport21', a circular logo, and 'gasnam'.

**Figura 2.1. Ejemplo de uso de la herramienta ECOBUQ-NEOBUQ con un buque de dimensiones y características similares al Traiano Knutsen. Fuente: Elaboración propia**

mienta invaluable para prever y gestionar riesgos operativos antes de que ocurran en el mundo real, permitiendo a los operadores optimizar las configuraciones y establecer protocolos de seguridad adaptados a las condiciones específicas de cada operación. Finalmente, estos simuladores y gemelos digitales también ofrecen la posibilidad de entrenar a los capitanes y operadores en un entorno controlado, permitiendo que se familiaricen con las maniobras complejas que involucran velas modernas, sin poner en riesgo la seguridad del buque o de la tripulación.

El entrenamiento simulado se convierte en un componente esencial para asegurar que los operadores estén preparados para gestionar de manera efectiva las dificultades adicionales que podrían surgir debido al tamaño y a la nueva distribución del buque cuando se emplean tecnologías como las velas modernas.

#### 1.4. Objetivo del estudio

Este estudio tiene como principal objetivo evaluar el impacto del aumento de la superficie vélica en la maniobrabilidad y visibilidad del buque durante las maniobras en puerto. A través del uso de simuladores avanzados,

se analizará cómo las velas modernas afectan la maniobrabilidad de los buques, especialmente en las maniobras de entrada y salida de puerto. Este análisis incluirá un enfoque en las condiciones meteorológicas y cómo la tripulación debe adaptarse a las nuevas configuraciones tecnológicas de los buques.

Para ello, se ha seleccionado como buque de referencia el Traiano Knutsen, un buque de transporte de gas natural licuado (LNG) reconocido por su diseño eficiente y capacidad de carga.

## 2. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE WAPS EN EL CUMPLIMIENTO NORMATIVO Y REDUCCIÓN DE EMISIONES

Con la entrada de las cada vez más restrictivas y exigentes normativas (OMI, ETS y FUEL EU) respecto a la descarbonización y reducción de emisiones, es necesario introducir cambios en los buques para cumplir con los requerimientos impuestos por las mismas, ya sea a través del uso de combustibles alternativos o bien con la introducción de tecnologías orientadas a la mejora de la eficiencia energética, como es el sistema WAPS (Wind Assisted Propulsion System).



	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
Buque original	D	D	D	D	D	E	E
Implantación WAPS	C	C	C	D	D	D	D

Figura 2.1. Ejemplo de uso de la herramienta ECOBUQ-NEOBUQ con un buque de dimensiones y características similares al Traino Knutsen. Fuente: Elaboración propia

Como objetivo del proyecto NEOBUQ (Promotor AEI GASNAM, N° de Expediente: AEI-010500-2023-12), se desarrolló la herramienta ECOBUQ-NEOBUQ, proyecto liderado por GASNAM-Neutral Transport y con la colaboración en el desarrollo de esta, SIPORT21 y Cotenaval.

A través de ECOBUQ-NEOBUQ se ha llevado a cabo, para un barco genérico con dimensiones y características similares al real, un caso hipotético para evaluar el impacto que tendría la implementación de dicho sistema en términos de reducción de emisiones y, por consiguiente, un grado de cumplimiento durante un mayor número de años de las citadas normativas. La implantación de un sistema WAPS se ha estimado en un ahorro de combustible del 10% con respecto al buque original sin modificaciones. Asimismo, en esta hipótesis para los cálculos se ha supuesto igualdad de condiciones en términos de distancia navegada anual.

Con ello obtenemos un grado de cumplimiento mayor, esto es, durante un mayor número de años en términos de CII, así como una reducción en torno al 9 % en coste EUA (ETS) y una sanción inexistente en términos de la normativa FUEL EU.

### 3. EVALUACIÓN DE LA PROPULSIÓN AUXILIAR CON VELAS MODERNAS EN SIMULADORES DE MANIOBRA DE BUQUES EN TIEMPO REAL

A través del uso de simuladores en tiempo real, se analizan aspectos clave como el impacto del incremento del área vélica en la maniobrabilidad y su repercusión en la visibilidad desde el

puente, así como su efecto en la respuesta del buque ante maniobras complejas. Este análisis es fundamental para comprender cómo la incorporación de velas modernas puede afectar las operaciones en entornos portuarios, donde la precisión y la seguridad son críticas.

A continuación, se detalla primero la creación de modelos de buques con velas modernas, incluyendo la selección del buque de referencia y el modelado de dos configuraciones de velas modernas dentro del simulador. Posteriormente, se evalúa el impacto del aumento de la superficie vélica, con un análisis de las fuerzas aerodinámicas generadas y su influencia tanto en la maniobrabilidad como en la visibilidad durante maniobras en puerto. Además, se realizan simulaciones de maniobras bajo diferentes condiciones climáticas, comparando escenarios con y sin velas modernas para identificar cambios en la maniobrabilidad y comportamiento del buque. Finalmente, se presenta un análisis comparativo de resultados y se exploran posibles desarrollos futuros, como el estudio del impacto de las velas en la eficiencia energética, la reducción del consumo de combustible y el potencial aumento de velocidad. Con este enfoque, se proporciona una visión completa del potencial de las velas modernas en la propulsión auxiliar y sus implicaciones operativas.

#### 3.1. Creación del modelo de buque con velas modernas

A continuación, se presenta el buque de referencia seleccionado para su evaluación, junto con el proceso de modelado de dos configuraciones de velas modernas. Se de-



Figura 3.1. Imagen real del buque *Traiano Knutsen*. Fuente: Knutsen Oas

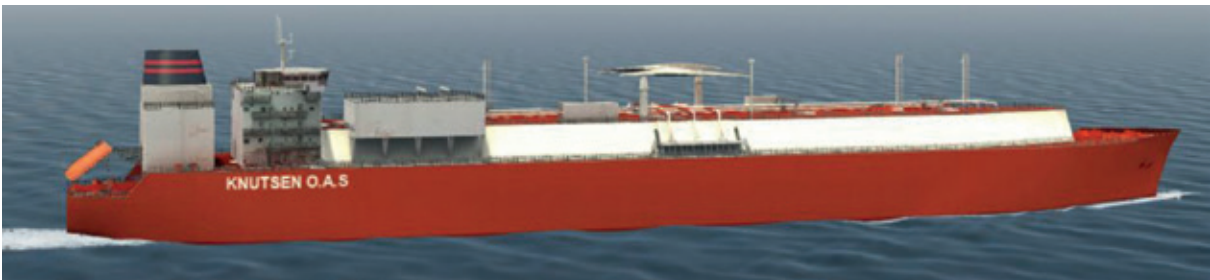


Figura 3.2. Modelo visual del buque *Traiano Knutsen* en el simulador de maniobras en tiempo real de Siport21. Fuente: Elaboración propia

tallan los tipos de velas seleccionados, sus características técnicas y la implementación de estos elementos en el entorno de simulación, garantizando un análisis preciso de su impacto en la maniobrabilidad y la visibilidad operativa del buque.

3.1.1. Selección del buque de referencia

Para el posterior análisis se ha seleccionado como buque de referencia el *Traiano Knutsen*, un buque de transporte de gas natural licuado (LNG) reconocido por su diseño eficiente y capacidad de carga, perteneciente al grupo Knutsen y fletado por tiempo a una empresa del grupo Enel. La elección de este buque se debe a su relevancia en el sector y a las posibilidades que ofrece para integrar tecnologías de propulsión auxiliar como las velas modernas.

Los buques gaseros presentan una gran sensibilidad a la acción del viento debido a la gran área de obra muerta. El sistema de pro-

pulsión y gobierno del gasero que se analiza cuenta con dos hélices y dos timones. La siguiente tabla incluye las principales características de buque:

Tabla 3.1. Características principales del *Traiano Knutsen*

Eslora total	299 m
Eslora entre perpendiculares	291 m
Manga	47,9 m
Calado (en carga)	11,5 m
Calado (en lastre)	9,3 m
Desplazamiento (en carga)	116.250 t
Desplazamiento (en lastre)	90.999 t
Tipo de motor	Diesel
Potencia	22.000 kW
N.º Propulsores	2
Revoluciones máximas	73
Hélice de maniobra de proa	-
Velocidad máxima	19,1 kn
Área frontal expuesta al viento (en carga)	1.590 m²
Área lateral expuesta al viento (en carga)	7.757 m²
Área frontal expuesta al viento (en lastre)	1.692 m²
Área lateral expuesta al viento (en lastre)	8.395 m²



Figura 3.3. Modelo visual del buque *Traiano Knutsen* con las velas eSAIL de Bound4Blue en el simulador de maniobras en tiempo real de Siport21. Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1. Modelado de las configuraciones de velas modernas

La tecnología de vela moderna seleccionada para el estudio es: la vela eSAIL® de Bound4Blue, la cual dispone de características innovadoras para mejorar la eficiencia propulsiva de los buques.

La vela eSAIL® de Bound4Blue es un sistema de propulsión asistida por viento basado en velas de succión. Desarrollado por la empresa española Bound4Blue, este sistema emplea un perfil aerodinámico de gran espesor y un sistema de succión inteligente, lo que optimiza la eficiencia de propulsión mediante un campo de succión generado por un ventilador.

Esta tecnología no solo mejora la eficiencia energética, sino que también minimiza las necesidades de mantenimiento, destacándose por su diseño avanzado y su enfoque en la sostenibilidad.

En el proceso de modelado del simulador, se ha representado esta tecnología en detalle, considerando sus características aerodinámicas y su integración en el modelo del *Traiano Knutsen*. Se analizan los parámetros técnicos relevantes de la vela de estudio, como la superficie vélica, los coeficientes de sustentación y resistencia, y su incorporación al entorno simulado. Esto asegura una evaluación precisa del impacto del aumento

de la superficie vélica en la maniobrabilidad y visibilidad del buque durante las maniobras en puerto.

A continuación, se puede ver en la siguiente figura el modelo visual de la vela eSAIL® de Bound4Blue y su integración en el buque de referencia seleccionado (*Traiano Knutsen*).

El incremento de la superficie vélica debido a la implementación de la vela eSAIL® de Bound4Blue en el buque *Traiano Knutsen* representa un factor clave en el análisis de la maniobrabilidad del buque y su visibilidad en operaciones cercanas a puerto. En este estudio, se ha considerado una vela con dimensiones de 24 metros de altura por 6 metros de ancho, lo que supone un incremento de superficie vélica máxima de 144 m<sup>2</sup>.

No obstante, este valor representa el escenario de mayor impacto aerodinámico, es decir, cuando el flujo de viento incide perpendicularmente sobre la vela, generando la máxima resistencia al avance.

Cabe destacar que la vela eSAIL® está diseñada para ajustarse dinámicamente a las condiciones del viento con el objetivo de minimizar la resistencia y maximizar la propulsión auxiliar. Gracias a su capacidad de orientación, la vela puede modificar su ángulo de ataque, reduciendo su impacto aerodinámico en situaciones donde la resistencia al viento podría comprometer la





maniobrabilidad del buque, especialmente durante maniobras de aproximación y atraque en puerto.

### 3.2. Evaluación del impacto del incremento de la superficie vélica y su incidencia en la visibilidad

#### 3.2.1. Coeficientes de viento aplicados

Tras definir el incremento del área vélica que puede llegar a darse asociado a la incorporación de la vela eSAIL® de Bound4Blue y su implementación en el modelo de simulación, es fundamental analizar el impacto aerodinámico que este tipo de estructuras generan en la maniobrabilidad del buque.

El impacto aerodinámico de las velas modernas en la maniobrabilidad de los buques puede analizarse a partir de los coeficientes de arrastre ( $C_d$ ) y sustentación ( $C_l$ ), los cuales dependen de la geometría de la vela, su orientación respecto al flujo de viento y el número de Reynolds ( $Re$ ). En condiciones de mínima y máxima resistencia, las velas pueden asumir un valor de sustentación prácticamente nulo, ya que el flujo de aire genera poca o ninguna fuerza útil en esa dirección. Sin embargo, en la transición entre estos estados, es crucial considerar tanto el coeficiente de sustentación ( $C_l$ ) como el de arrastre ( $C_d$ ), ya que ambos determinan el equilibrio aerodinámico y la eficiencia del sistema. No obstante, dado que nos centraremos en las condiciones de máxima y mínima resistencia, analizaremos más profundamente el coeficiente de arrastre ( $C_d$ ). En términos generales, los coeficientes de arrastre  $C_d$  varían según la forma del cuerpo expuesto al viento:

- Velas de succión y rígidas: en general, las velas de succión y rígidas pueden presentar un comportamiento aerodinámico similar al de perfiles aerodinámicos más o menos

planos. A modo de referencia, en el caso de placas delgadas, el coeficiente de arrastre ( $C_d$ ) puede estimarse entre 1.8 y 2.0 cuando el viento incide de manera perpendicular, representando la condición de máxima resistencia aerodinámica. En cambio, cuando la placa se orienta en paralelo al flujo, el coeficiente de arrastre se reduce significativamente, alcanzando valores cercanos a 0.1 o inferiores, lo que implica una resistencia mínima. Es importante señalar que estos valores corresponden a una placa plana convencional y sin succión.

Sin embargo, la vela eSAIL® de Bound4Blue ha sido diseñada con un perfil aerodinámico optimizado, distinto al de una placa plana convencional. Ensayos en túnel de viento han determinado que, en una configuración con ángulo de ataque de  $90^\circ$ , su coeficiente de arrastre es de aproximadamente 1.08, un valor significativamente menor que el de una placa plana convencional en las mismas condiciones. Asimismo, en su configuración de mínima resistencia, el coeficiente de arrastre se reduce hasta aproximadamente 0.09, lo que demuestra su eficiencia aerodinámica y su capacidad de minimizar el impacto en la maniobrabilidad del buque.

- Velas de rotor: pueden modelarse como cilindros sometidos a flujo transversal. En este caso, el coeficiente de arrastre  $C_d$  varía dependiendo del número de Reynolds y la velocidad de rotación del cilindro.
  - En régimen subcrítico ( $Re < 10^5$ ), los valores típicos de  $C_d$  rondan 1.2 a 1.4, característicos de cilindros donde el flujo permanece adherido en gran parte de la superficie.
  - En régimen supercrítico ( $Re > 3 \times 10^5$ ), se produce una transición en la separación de la capa límite, reduciendo drásticamente el coeficiente aerodinámico a valores de 0.3 a 0.6, dependiendo de la rugosidad de la superficie y la velocidad de rotación del cilindro. Este fenómeno es clave en el rendimiento de las velas de rotor, ya que



permite minimizar la resistencia mientras se maximiza la sustentación generada por el efecto Magnus.

La condición de mínima resistencia se da cuando las velas están alineadas con el flujo de viento, minimizando el impacto en la maniobrabilidad. Por el contrario, la condición de máxima resistencia ocurre cuando el viento incide perpendicularmente, generando un incremento significativo en la resistencia aerodinámica y en los momentos que pueden afectar el control del buque, especialmente en maniobras de aproximación y atraque.

En el caso de aplicación específica a la vela eSAIL® de Bound4Blue, su comportamiento aerodinámico puede aproximarse al de una placa plana vertical. Como se mencionó anteriormente, su área máxima expuesta al flujo es de 144 m<sup>2</sup>, lo que puede generar una resistencia considerable en condiciones de viento transversal. No obstante, una ventaja clave de esta tecnología es su capacidad de orientación automática para reducir el coeficiente de arrastre cuando la propulsión eólica no es necesaria o podría interferir con la maniobrabilidad del buque.

Dado que la eSAIL® optimiza su ángulo de ataque en función del viento aparente, su resistencia aerodinámica puede mantenerse en valores bajos durante maniobras portuarias, asegurando que el impacto en la maniobrabilidad del buque sea mínimo. Sin embargo, en escenarios de viento fuerte y en posiciones fijas, el análisis de los momentos generados por la vela resulta fundamental para evaluar su influencia en la maniobrabilidad general del buque.

### 3.2.2. Evaluación del incremento de las fuerzas de resistencia aerodinámica

Una vez establecidos los coeficientes aerodinámicos característicos de las velas mo-

dernas, es posible cuantificar el impacto que estas estructuras generan en términos de resistencia al avance del buque. La resistencia aerodinámica, en máxima y mínima resistencia, inducida por las velas se expresa a través de la ecuación:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_d \quad (3.1)$$

donde:

- $F_D$  es la fuerza de resistencia aerodinámica (N), que como se ha comentado anteriormente, en mínima y máxima resistencia dicha fuerza es equivalente a la fuerza total aerodinámica.
- $\rho$  es la densidad del area ( $\approx 1.225 \text{ kg/m}^3$  a nivel del mar)
- $v$  es la velocidad del viento incidente (m/s)
- $S$  es el área proyectada de vela en la dirección del viento (m<sup>2</sup>)
- $C_d$  es el coeficiente de arrastre dependiente de la geometría y orientación de la vela.

Las velas modernas empleadas en propulsión auxiliar pueden generar tanto empuje útil como resistencia aerodinámica adicional dependiendo de su configuración y orientación respecto al viento. En términos generales:

- Velas rígidas y de succión (como la eSAIL® de Bound4Blue): pueden optimizar su ángulo de ataque para maximizar la sustentación y minimizar la resistencia aerodinámica. Sin embargo, en configuraciones desfavorables (por ejemplo, con viento transversal o en maniobras portuarias), pueden incrementar significativamente la resistencia al avance del buque.
- Velas de rotor, al basarse en el efecto Magnus, generan una combinación de fuerzas aerodinámicas que pueden ser controladas ajustando la velocidad de rotación del cilindro. Aun así, cuando no están en operación, su resistencia aerodinámica residual

es mayor que la de otros sistemas debido a su geometría cilíndrica.

Para el caso particular de la vela eSAIL® de Bound4Blue analizada, se han determinado valores característicos de coeficiente de arrastre ( $C_d$ ) en condiciones de mínima y máxima resistencia:

- Condición de mínima resistencia:  $C_d = 0.09$
- Condición de máxima resistencia:  $C_d = 1.08$
- Área vélica efectiva máxima:  $S = 144 \text{ m}^2$

Para ilustrar el impacto de la resistencia aerodinámica, se evaluará la fuerza total generada en dos escenarios representativos:

1. Mínima resistencia (vela alineada con el flujo de viento, reduciendo el impacto aerodinámico):

$$F_D[t] = \frac{\left(\frac{1}{2} * 0.001225 * v^2 * 144 * 0.09\right)}{9.81} \quad (3.2)$$

A modo de ejemplo, para un viento de 20 nudos, la fuerza aerodinámica de una vela en condiciones de mínima resistencia es aproximadamente 0.09 toneladas. En el caso de la configuración de velas analizada para el buque Traiano Knutsen, al disponer de 4 velas la fuerza aerodinámica en condiciones de mínima resistencia es aproximadamente 0.34 toneladas. Pudiendo observarse que, en esta configuración, la resistencia inducida por la vela es baja y su impacto en la maniobrabilidad del buque es mínimo.

2. Máxima resistencia (viento perpendicular a la vela, generando el mayor impacto aerodinámico):

$$F_D[t] = \frac{\left(\frac{1}{2} * 0.001225 * v^2 * 144 * 1.08\right)}{9.81} \quad (3.3)$$

A modo de ejemplo, para un viento de 20 nudos, la fuerza aerodinámica de una vela en condiciones de máxima resistencia es aproxi-

madamente 1.03 toneladas. En el caso de la configuración de velas analizada para el buque Traiano Knutsen, al disponer de 4 velas la fuerza aerodinámica en condiciones de máxima resistencia es aproximadamente 4.11 toneladas.

En este caso, la vela ofrece mayor oposición al flujo de aire, lo que puede afectar la capacidad de maniobra del buque en entornos portuarios.

En este sentido, el incremento en la resistencia aerodinámica en función del coeficiente de arrastre tiene implicaciones directas en la maniobrabilidad del buque, especialmente en operaciones de entrada y salida de puerto:

- En condiciones de mínima resistencia, el buque puede operar con un impacto aerodinámico reducido, permitiendo un mayor control durante las maniobras sin generar efectos adversos en la estabilidad.
- En condiciones de máxima resistencia, la fuerza generada por la vela puede interferir con la capacidad de respuesta del buque, especialmente en situaciones donde el viento es fuerte y transversal a la trayectoria de navegación. Sin embargo, en base a las fuerzas máximas estimadas, no se prevé necesario, en la mayoría de los casos la utilización de un remolcador adicional para poder hacer frente al incremento de la fuerza de resistencia aerodinámica.
- Es importante señalar que, en la realidad, los valores de las fuerzas aerodinámicas obtenidos serían ligeramente menores debido a la disposición de las velas a babor y estribor, pero alineadas en la misma línea de crujía. Esto implica que, en determinadas condiciones, algunas velas generan sombra sobre otras, reduciendo así los valores de fuerza sobre el buque.

Este análisis pone de manifiesto la importancia de un diseño adaptable de las velas



modernas, permitiendo su orientación óptima en función de las necesidades operativas del buque.

### 3.2.3. Evaluación de los momentos generados por las velas

Los principales momentos inducidos por las velas en un buque son:

#### 1. Momento de guiñada ( $M_z$ ):

- Se genera cuando la fuerza aerodinámica de la vela (sustentación y resistencia) actúa a una distancia del centro de resistencia lateral del casco.
- Puede causar un cambio en el rumbo del buque, lo que requiere ajustes en el timón, el uso de propulsores transversales o el uso de remolcadores adicionales.

#### 2. Momento de escora ( $M_x$ ):

- Surge cuando la componente vertical de la fuerza aerodinámica genera una inclinación del buque.
- En buques de gran porte, este efecto es generalmente pequeño debido a su alto momento de adrizamiento.

#### 3. Momento de cabeceo ( $M_y$ ):

- Se produce si la vela está situada significativamente por delante o detrás del centro de flotación, aunque su impacto suele ser mínimo en comparación con los otros momentos.

Los principales factores que afectan la magnitud de los momentos en un buque son:

- Ubicación de la vela en el buque: Cuanto mayor sea la distancia entre la vela y el centro de resistencia lateral, mayor será el momento de guiñada.
- Dirección del viento: Un viento lateral maximiza el momento de guiñada, mientras que un viento de proa o popa tiene menor impacto en el rumbo.
- Tipo de vela y coeficientes aerodinámicos: Velas con alto coeficiente de sustentación (Cl), como las velas de succión, generan

momentos de mayor magnitud en comparación con las velas más orientadas a la resistencia aerodinámica.

En el caso del *Traiano Knutsen*, equipado con la vela eSAIL® de Bound4Blue, se analizan los momentos generados en condiciones de aproximación a puerto.

#### 1. Momento de Guiñada ( $M_z$ )

El momento de guiñada se obtiene a partir de la fuerza aerodinámica y su distancia al centro de resistencia lateral del casco:

$$M_z[t * m] = F * d \quad (3.4)$$

donde:

- F es la fuerza aerodinámica total.
- d es la distancia estimada entre la base de la vela y el centro de resistencia lateral.

Para ilustrar el impacto del momento de guiñada, se evaluará el momento total generado en el buque *Traiano Knutsen* en dos escenarios representativos:

- Mínima resistencia (vela alineada con el flujo de viento, reduciendo el impacto aerodinámico):

Para un viento de 20 nudos, la fuerza aerodinámica de una vela en condiciones de mínima resistencia es aproximadamente 0.09 toneladas y la distancia estimada entre la base de la vela y el centro de resistencia lateral es 12 m, siendo el momento de guiñada de una vela de 1.08 t\*m. En el caso de la configuración de velas analizada para el buque *Traiano Knutsen*, al disponer de 4 velas siendo el momento de guiñada en condiciones de mínima resistencia es aproximadamente 4.32 t\*m.

- Máxima resistencia (viento perpendicular a la vela, generando el mayor impacto aerodinámico):

Para un viento de 20 nudos, la fuerza aerodinámica de una vela en condiciones de máxima resistencia es aproximadamente 1.03 toneladas y la distancia estimada entre la base de la vela y el centro de resistencia lateral es 12 m, siendo el momento de guiñada de una vela de 12.36 t\*m. En el caso de la configuración de velas analizada para el *Traiano Knutsen*, al disponer de 4 velas siendo el momento de guiñada en condiciones de máxima resistencia es aproximadamente 49.44 t\*m.

Como se puede ver, hay diferencias entre los momentos en mínima resistencia y máxima, pudiendo afectar los momentos de guiñada en máxima resistencia a la trayectoria del buque, especialmente en maniobras de entrada y salida de puertos en movimientos laterales, requiriendo correcciones con el timón, propulsores laterales o remolcadores adicionales.

## 2. Momento de Escora ( $M_x$ )

El momento de escora se obtiene a partir de la fuerza aerodinámica y la altura del centro aerodinámico de la vela sobre la cubierta.

$$M_x[t * m] = F * h \quad (3.5)$$

donde:

- F es la fuerza aerodinámica total.
- h es la altura del centro aerodinámico de la vela sobre la cubierta.

Para ilustrar el impacto del momento de escora, se evaluará el momento total generado en el buque *Traiano Knutsen* en dos escenarios representativos:

- Mínima resistencia (vela alineada con el flujo de viento, reduciendo el impacto aerodinámico):

Para un viento de 20 nudos, la fuerza aerodinámica de una vela en condiciones de mínima resistencia es aproximadamente 0.09 toneladas y la altura del centro aerodinámico

de la vela sobre la cubierta es 36 m, siendo el momento de escora de una vela de 3.24 t\*m. En el caso de la configuración de velas analizada para el buque *Traiano Knutsen*, al disponer de 4 velas siendo el momento de escora en condiciones de mínima resistencia es aproximadamente 12.96 t\*m.

- Máxima resistencia (viento perpendicular a la vela, generando el mayor impacto aerodinámico):

Para un viento de 20 nudos, la fuerza aerodinámica de una vela en condiciones de máxima resistencia es aproximadamente 1.03 toneladas y la altura del centro aerodinámico de la vela sobre la cubierta es 36 m, siendo el momento de escora de una vela de 37.08 t\*m. En el caso de la configuración de velas analizada para el buque *Traiano Knutsen*, al disponer de 4 velas siendo el momento de escora en condiciones de máxima resistencia es aproximadamente 148.32 t\*m.

Como se puede ver, hay diferencias entre los momentos en mínima resistencia y máxima, sin embargo, aunque el momento de escora generado en máxima resistencia es notable, la estabilidad del *Traiano Knutsen*, debido a su alto momento de adrizamiento, compensa este efecto sin riesgos de inclinación excesiva.

Se puede concluir sobre el impacto de los momentos generados por las velas en maniobras en puerto que:

- El momento de guiñada es el más relevante en maniobras portuarias.
- El momento de escora es menos problemático debido a la estabilidad del buque, aunque debe considerarse en escenarios de fuertes vientos laterales.
- El momento de cabeceo se considera despreciable.
- La orientación activa de la vela eSAIL® permite mitigar estos efectos ajustando su ángulo

para minimizar la resistencia cuando sea necesario.

Este análisis resalta la importancia de considerar estos momentos en el diseño de estrategias de maniobra y entrenamiento de la tripulación para la integración de velas modernas en buques de gran porte.

### 3.2.4. Comparación visual de las velas en condiciones de máxima y mínima resistencia

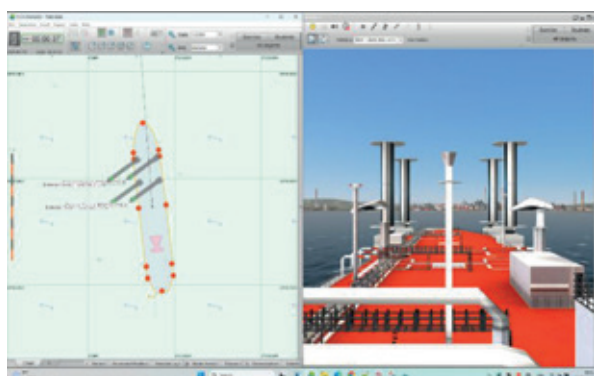
Para comprender mejor el impacto del incremento de la superficie vélica y su incidencia en la visibilidad del buque en máxima y mínima resistencia, se presentan a continuación dos imágenes del *Traiano Knutsen* con las velas analizadas bajo un viento casi de través (viento con una ligera variación en su ángulo respecto a la perpendicular del buque). La primera imagen muestra la configuración de máxima resistencia, en la que las velas están dispuestas para generar la mayor oposición posible al flujo de aire. La segunda imagen ilustra la condición de mínima resistencia, en la que las velas están alineadas para reducir al máximo la interacción con el viento.

Como se puede observar en las imágenes, en la configuración de máxima resistencia,

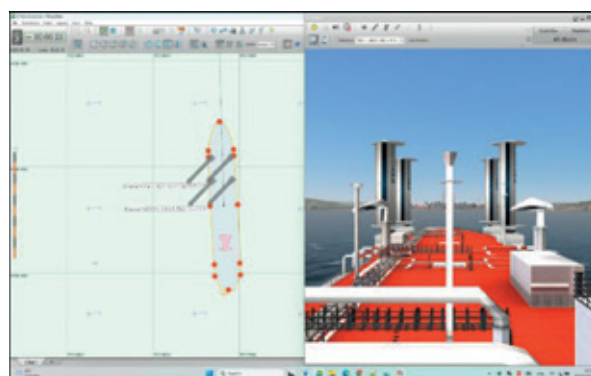
el buque experimenta una mayor fuerza aerodinámica, lo que tiene un impacto significativo en su maniobrabilidad. Además, en la configuración de máxima resistencia, las velas están orientadas paralelas al costado del buque, lo que minimiza la obstrucción visual desde el puente.

Sin embargo, en la configuración de mínima resistencia, las velas se inclinan buscando la mejor eficiencia aerodinámica, lo que incrementa la interferencia visual para la tripulación al afectar líneas de visión clave durante las maniobras portuarias. En contraste, en la configuración de mínima resistencia, la fuerza aerodinámica es reducida y su efecto en la maniobrabilidad es menor, pero visualmente la diferencia es mucho más notable debido a la orientación de las velas.

Cabe destacar que la incidencia visual varía según la dirección del viento. Con vientos de través, la mínima resistencia genera el mayor impacto visual, mientras que la máxima resistencia genera el mínimo impacto visual. En cambio, con vientos alineados por proa o popa, ocurre lo contrario: la máxima resistencia se vuelve el peor escenario de impacto visual y la mínima resistencia pasa a ser el mínimo impacto visual.



a) Vista puente en máxima resistencia y fuerzas generadas por el viento en cada vela.



b) Vista puente en mínima resistencia y fuerzas generadas por el viento en cada vela

Figura 3.4. Imágenes de maniobras de entrada con viento casi de través y fuerzas generadas por el viento en cada vela. Fuente: Elaboración propia

Este análisis gráfico resalta la importancia de gestionar adecuadamente la orientación de las velas para equilibrar el impacto en la maniobrabilidad con la seguridad en las maniobras portuarias.

### 3.3. Simulación de maniobras en puerto

Para evaluar el impacto de las velas modernas en las maniobras portuarias, se han realizado simulaciones de entrada y salida en el Puerto de Huelva, utilizando el modelo del *Traiano Knutsen* con y sin velas auxiliares. En estas maniobras, las velas eSAIL® de Bound4Blue se configuraron en mínima resistencia, ya que su diseño permite alinearse automáticamente con la dirección del viento para reducir la resistencia aerodinámica. Este comportamiento es característico de la vela eSAIL® de Bound4Blue, optimizando su eficiencia y minimizando interferencias en la maniobrabilidad del buque en entornos portuarios.

Las simulaciones se llevaron a cabo en el simulador de maniobra en tiempo real de Siport21, considerando distintas condiciones hidrometeorológicas representativas del área de estudio. Se evaluaron escenarios con diferentes direcciones e intensidades de viento, así como las corrientes y niveles de agua característicos del puerto.

En cuanto a la formación de remolque, se utilizó la misma disposición operativa que emplearían estos buques en condiciones reales: cuatro remolcadores ASD de 55 toneladas de tiro a punto fijo, garantizando una representación fiel de las maniobras.

Además, durante una de las sesiones de simulación, representantes de Knutsen y Enesa asistieron a las maniobras para observar en tiempo real el desempeño del buque con velas auxiliares y analizar sus efectos en la maniobrabilidad y operatividad en puerto. A continuación, se presentan imágenes cap-



a) Vista desde el puente



b) Vista de dron

Figura 3.5. Maniobra de entrada con velas en el simulador de maniobras en tiempo real de Siport21.



a) Vista desde el puente



b) Vista de dron

Figura 3.6. Maniobra de entrada sin velas en el simulador de maniobras en tiempo real de Siport21.



turadas durante las simulaciones, que ilustran ejemplos de las maniobras realizadas.

### 3.4. Análisis de resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos en las simulaciones han permitido comparar el comportamiento del *Traiano Knutsen* con y sin velas auxiliares en distintas maniobras de entrada y salida del Puerto de Huelva. El análisis ha demostrado que, cuando las velas eSAIL® de Bound4Blue operan en mínima resistencia, el impacto en la maniobrabilidad del buque es prácticamente despreciable. Asimismo, el impacto sobre la visibilidad también es un factor que puede solventarse de manera que las maniobras portuarias sigan siendo seguras, incluso en escenarios con viento de través, donde la incidencia visual es máxima.

Según la evaluación de los capitanes de buques que participaron en las maniobras, la visibilidad desde el puente no supone una limitación operativa significativa. No obstante, se identificó la necesidad de adaptar los procedimientos de maniobra, requiriendo un mayor uso de la observación desde los alerones para compensar la posible interferencia visual generada por las velas. Este aspecto destaca la importancia de la formación y entrenamiento en simuladores para que tanto prácticos como capitanes se familiaricen con estas nuevas configuracio-

nes y optimicen sus estrategias de maniobra.

Por otro lado, es importante señalar que la viabilidad de las maniobras con velas auxiliares puede depender del tipo de sistema utilizado y de su tamaño. En el caso de la vela eSAIL® de Bound4Blue, su capacidad de alinearse con el viento minimiza la resistencia aerodinámica en puerto, facilitando las maniobras sin necesidad de ajustes adicionales. Sin embargo, en sistemas de velas que no puedan reducir su resistencia aerodinámica, el impacto en la maniobrabilidad podría ser mayor y requerir un análisis caso por caso, así como una potencial necesidad de recursos adicionales, como una mayor asistencia de remolcadores, hélices de maniobra de proa o ajustes en los procedimientos operativos.

Un factor clave a considerar es el tamaño del sistema. Para lograr un mismo nivel de ahorro de combustible, las velas rígidas tienden a ser significativamente más grandes que otros sistemas como rotores Flettner o velas de succión.

Por esta razón, la capacidad de alinearse con el viento es esencial en velas rígidas para minimizar su impacto en maniobras portuarias. En contraste, en velas de succión o rotores, aunque la alineación puede ser beneficiosa, su menor tamaño y resistencia aerodinámica hacen que esta capacidad no sea



a) Vista Puente



b) Vista alerón de estribor

Figura 3.7. Vista puente Vs Vista alerón estribor. Fuente: Elaboración propia



Figura 3.8. Imagen desde dentro del puente del simulador posicionado en el alerón de babor. Fuente: Elaboración propia

ciones, proporcionando un entorno seguro para evaluar el impacto operativo de nuevas tecnologías y optimizar su integración en las operaciones marítimas.

un requisito crítico para la maniobrabilidad. En este sentido, es importante evitar la malinterpretación de que una posible falla en el sistema de alineación de una vela de succión pueda comprometer la seguridad o la maniobrabilidad del buque, ya que el impacto sería significativamente menor en comparación con sistemas de velas rígidas.

Cabe destacar que, en ciertas condiciones, las velas pueden incluso ser utilizadas activamente para asistir en las maniobras portuarias. En operaciones reales con velas ya instaladas en buques de carga general, algunos capitanes han empleado las velas para facilitar la maniobra. Por ejemplo, si el viento lateral aleja el buque del muelle y la intención es salir, posicionar las velas de manera transversal puede generar un empuje adicional que ayude a la maniobra.

En conclusión, los resultados de este estudio respaldan la viabilidad del uso de velas auxiliares en operaciones portuarias, siempre que los sistemas analizados permitan minimizar la resistencia cuando sea necesario. Además, se resalta el papel clave de los simuladores de maniobra en tiempo real en la capacitación y adaptación de las tripula-

### 3.5. Futuros desarrollos

En los próximos años, se espera que las tecnologías de velas modernas continúen evolucionando, abriendo nuevas posibilidades para la optimización de la eficiencia energética en la navegación. Un área clave de desarrollo será el estudio más detallado del impacto de estas velas en la reducción del consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Gracias a los simuladores avanzados de maniobra de buques en tiempo real es posible realizar análisis complejos de las interacciones entre las velas modernas y las condiciones meteorológicas, lo que permite optimizar su rendimiento en una amplia variedad de escenarios operativos, especialmente en lo que respecta a la eficiencia energética y la reducción del consumo de combustible.

Además, el aumento de la superficie vélica y su integración con los sistemas de propulsión convencionales podría permitir un incremento de la velocidad de los buques, especialmente en trayectos largos donde el viento pueda ser aprovechado de manera más eficiente. Este avance no solo mejoraría

la sostenibilidad de la industria naval, sino que también generaría nuevas oportunidades económicas al reducir los costos operativos y aumentar la competitividad de las flotas. Esta es otra área de gran interés para los simuladores de maniobras de buques, y un campo de estudio futuro clave para la industria naval.

El estudio de estos desarrollos también abarcará la adaptación de la tripulación a las nuevas configuraciones tecnológicas y su impacto en la eficiencia energética, así como la integración de los sistemas de control de velas avanzadas en las operaciones diarias. Esto garantizaría una transición fluida hacia una navegación más verde, eficiente y segura.

#### 4. REFERENCIAS

- [1] IMO. (2022). Greenhouse Gas Strategy and regulatory developments for reducing emissions in shipping. International Maritime Organization Reports.
- [2] European Commission. (2023). FuelEU Maritime Regulation: Accelerating the decarbonization of maritime transport.
- [3] DNV GL. (2020). Energy Efficiency and Alternative Fuels in Maritime Transport.
- [4] European Maritime Safety Agency (EMSA). (2023). "Potential of Wind-Assisted Propulsion for Shipping".
- [5] Babarit, A., Gilloteaux, J. C., & Gualeni, P. (2021). Performance assessment of wind-assisted ship propulsion technologies. *Ocean Engineering*, 238, 109696.
- [6] Tarafder, S., Rayo, P., & Rosales, C. (2022). Maritime digital twins: A pathway towards smart shipping. *Ocean Engineering*, 248, 110624.
- [7] Knutsen Oas. Buque Traiano Knutsen.

- [8] Bound4Blue. (2021). eSAIL®: Wind-Assisted Propulsion Systems for vessels.
- [9] Knutsen, T. et al. (2024). "Impact of Wind-Assisted Propulsion on Ship Maneuverability in Port" *Journal of Naval Engineering*.
- [10] Marchaj, C. A. (2000). *Sailing Theory and Practice*. International Marine Publishing.
- [11] Hoerner, S. F. (1965). *Fluid-Dynamic Drag: Practical Information on Aerodynamic Drag and Hydrodynamic Resistance*. Hoerner Fluid Dynamics.
- [12] Abraham, J. P., Plourde, B. D., & Minkowycz, W. J. (2011). Drag coefficients of free cylinders in crossflow at high Reynolds numbers. *Journal of Fluids Engineering*, 133(2), 021201.
- [13] Fay, J. A. (1994). *Introduction to Fluid Mechanics*. MIT Press.
- [14] Gasnam-Neutral Transport, Cotenaval & Siport21. (2024). Proyecto NEOBUQ: Simulador para la evaluación del retorno económico y ambiental en buques.

#### 5. AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a Knutsen OAS, Endesa y Bound4Blue por su colaboración y apoyo durante el desarrollo de este estudio. Su proactividad, experiencia y aportaciones técnicas han sido fundamentales para la correcta evaluación del impacto de las velas auxiliares en la maniobrabilidad y visibilidad del buque.

Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento a los representantes de las empresas que participaron en las sesiones de simulación en Siport21, cuya revisión final y aportaciones operativas han enriquecido el análisis y las conclusiones de este trabajo.





**Navantia**

**Innovation**  
where it matters



[info@ferri-sa.es](mailto:info@ferri-sa.es)

[www.ferri-sa.es](http://www.ferri-sa.es)

+34 986 468 201

**MAQUINARIA ESPECIALIZADA**



# Harnessing the industrial Metaverse and AI in shipbuilding: trends, technological developments, applications, and case studies



Mirko Rafael Toman Fernández,  
SIEMENS DI SW



Rodrigo Pérez,  
SIEMENS DI SW

Trabajo presentado en el 64º Congreso Internacional de Ingeniería Naval e Industria Marítima, celebrado en Gijón del 26 al 28 de marzo de 2025. Accesit.

## ÍNDICE

### Abstract / Resumen

1. Introduction
2. Methodology
3. Applications of the Metaverse in shipbuilding
4. Current trends
5. Some technologies that will be integral part of the Metaverse
6. Potential applications
7. Applications of AI in shipbuilding
8. Successful case studies
  - 8.1. Case study 1: AI-driven quality inspection systems
  - 8.2. Case study 2: Digital Twin implementation at Siemens Marine “Twin Marine Heavylift Success”

- 8.3. Case study 3: AI-Driven predictive maintenance
- 8.4. Case study 4: Inocean drilling and floating production store and offloading FSO
- 8.5. Case study 5: AI Training in industrial Metaverse at Giga Arctic Factory - Norway
- 8.6. Case study 6: Implementation of VR-based design reviews in a shipyard to enhance collaboration and reduce design errors.
- 8.7. Case study 7: Adoption of AI-driven structural health monitoring systems in a fleet cargo ships
9. Importance of the Metaverse for training AI
10. Conclusion
11. References

## Abstract

The shipbuilding industry is undergoing an unprecedented transformation, driven by the integration of the Industrial Metaverse and Artificial Intelligence (AI). These emerging technologies are redefining the way ships are designed, built, and operated, introducing significant improvements in

efficiency, safety, and profitability. This paper provides an in-depth examination of the impact of the Industrial Metaverse and AI on various aspects of the naval sector, from the initial design and modeling phases to the construction and operation of vessels. It analyzes key technological trends, the latest developments, and innovative applications that are revolutionizing the industry.



Additionally, special emphasis is placed on how digitalization and automation are enabling more precise, agile, and sustainable shipbuilding. Through the combination of the Industrial Metaverse and AI, companies in the sector can reduce costs, minimize errors, and optimize resource management, positioning themselves at the forefront of technological innovation. Ultimately, this article offers a comprehensive view of the transformative effects of the Industrial Metaverse and Artificial Intelligence on shipbuilding, providing a clear perspective on the opportunities and challenges these technologies present for the future of the industry.

## Resumen

La industria de la construcción naval se encuentra en un proceso de transformación sin precedentes, impulsado por la integración del Metaverso Industrial y la Inteligencia Artificial (IA). Estas tecnologías emergentes están redefiniendo la manera en que se diseñan, construyen y operan los buques, introduciendo mejoras significativas en eficiencia, seguridad y rentabilidad. Este artículo examina en profundidad el impacto del Metaverso Industrial y la IA en distintos aspectos del sector naval, desde la fase inicial de diseño y modelado hasta la construcción y operación de las embarcaciones. Se analizan las principales tendencias tecnológicas, los desarrollos más recientes y las aplicaciones innovadoras que están revolucionando la industria. Además, se pone especial énfasis en cómo la digitalización y la automatización están permitiendo una construcción naval más precisa, ágil y sostenible. Gracias a la combinación del Metaverso Industrial y la IA, las empresas del sector pueden reducir costos, minimizar errores y optimizar la gestión de recursos, posicionándose a la vanguardia de la innovación tecnológica. En definitiva, se ofrece una visión integral de los efectos transformadores del Meta-

verso Industrial y la Inteligencia Artificial en la construcción naval, proporcionando una perspectiva clara sobre las oportunidades y desafíos que estas tecnologías representan para el futuro de la industria.

## 1. Introduction

The shipbuilding industry, traditionally known for its reliance on manual labor and extensive physical infrastructure, is poised for a revolutionary shift. The advent of the Industrial Metaverse, coupled with the rapid advancements in Artificial Intelligence (AI), presents unprecedented opportunities to enhance every facet of shipbuilding from initial design to final deployment.

The Industrial Metaverse represents a convergence of digital and physical worlds, enabling immersive and interactive environments where virtual simulations and real-world processes seamlessly integrate. In shipbuilding, this convergence facilitates advanced design modeling, predictive maintenance, and efficient training protocols, among other applications. By leveraging AI, shipbuilders can harness vast amounts of data to optimize design parameters, predict equipment failures, and streamline construction workflows.

This paper delves into the transformative potential of the Industrial Metaverse and AI within the shipbuilding sector. We begin by outlining the current state of the industry and identifying key challenges that these technologies can address. Subsequently, we explore the core components of the Industrial Metaverse and how AI is being integrated to enhance its functionalities. Through a series of case studies and examples, we illustrate the practical applications and benefits observed in pioneering shipbuilding projects.

The paper also highlights the role of AI-driven training personas and machines' AI in the



Metaverse. These virtual entities can simulate real-world scenarios and offer adaptive learning experiences for shipbuilding personnel and equipment. This approach has the potential to enhance safety, efficiency, and innovation in shipbuilding operations. In conclusion, we offer insights into future trends and potential advancements, underscoring the importance of continued research and development in this dynamic field. The integration of the Industrial Metaverse and AI not only promises to redefine shipbuilding practices but also sets the stage for a new era of maritime innovation.

## 2. Methodology

This paper focuses on qualitative analysis, primarily involving a comprehensive interpretation of documents and materials, including academic journals, industry reports, and case studies. Interviews with industry experts provided additional insights. The findings were validated through cross-referencing with established industry standards and practices.

The paper highlights the role of AI-driven training personas and machines in the Metaverse, demonstrating how these virtual entities can simulate real-world scenarios and provide adaptive learning experiences for shipbuilding personnel and “intelligent” equipment. This approach has the potential to significantly enhance safety, efficiency, and innovation in shipbuilding operations.

## 3. Applications of the Metaverse in shipbuilding

The integration of the Industrial Metaverse with AI in the shipbuilding industry is unlocking a wide range of innovative applications, revolutionizing how ships are designed, built, and maintained. By leveraging immersive virtual environments, real-time data analytics,

and advanced simulations, shipbuilders can streamline operations, enhance safety, and significantly reduce costs.

One of the most significant applications is virtual prototyping and digital twins, where highly detailed digital replicas of physical ships allow engineers to simulate performance, test different designs, and identify potential issues before construction begins. This reduces material waste, accelerates development cycles, and ensures optimal efficiency throughout the vessel’s lifecycle. The Industrial Metaverse also enhances training and workforce development by creating immersive environments where shipbuilders, engineers, and crew members can engage in realistic simulations before working on actual vessels. Through Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) training programs, workers can develop critical skills in ship assembly, welding, and navigation within a safe and controlled setting, improving workforce readiness while minimizing risks.

AI-powered design optimization is another transformative application, as generative design algorithms analyze vast datasets to suggest the most efficient structural configurations. This results in lighter, stronger, and more fuel-efficient ships, reducing environmental impact while enhancing overall performance. Additionally, the Industrial Metaverse facilitates remote collaboration by enabling real-time inspections of 3D ship models in shared virtual workspaces. Engineers, shipbuilders, and stakeholders from different locations can interact seamlessly, make modifications, and troubleshoot issues without the need for physical presence, significantly improving communication and project efficiency.

Another key application is predictive maintenance and AI-enhanced monitoring,

where digital twins provide real-time performance data to detect anomalies and predict maintenance needs before failures occur. This proactive approach minimizes downtime, prevents costly repairs, and extends the lifespan of vessels. In terms of safety, the Metaverse provides a risk-free virtual environment to simulate emergency scenarios such as fires, collisions, and system failures, allowing crews to train for crisis situations, refine safety protocols, and improve emergency response strategies. AI-driven risk assessment models further enhance safety by identifying vulnerabilities in ship design and suggesting improvements. The Metaverse also supports sustainable and eco-friendly shipbuilding by enabling virtual simulations that experiment with alternative materials, hybrid propulsion systems, and aerodynamic hull designs. These advancements contribute to lower carbon emissions, reduced fuel consumption, and compliance with global maritime environmental regulations.

The Industrial Metaverse, powered by AI, is reshaping the shipbuilding industry by offering innovative solutions for design, training, maintenance, and sustainability. By embracing these technologies, shipbuilders can achieve greater efficiency, improved safety standards, and reduced operational costs, ensuring a more agile and competitive future for the maritime sector.

#### 4. Current trends

The shipbuilding industry is at the forefront of innovation with the adoption of digital twins and virtual prototyping. These advanced technologies provide engineers with the ability to create highly accurate digital replicas of physical ships. By simulating and analyzing various design parameters, structural integrity, and performance metrics in a virtual environment, shipbuilders

can identify potential issues and make informed decisions before physical construction commences. AI algorithms play a crucial role in optimizing these designs by predicting challenges and recommending enhancements for increased efficiency and cost-effectiveness.

The integration of AI-driven predictive maintenance solutions is revolutionizing how ship maintenance is conducted. By leveraging data from sensors embedded in ship components, artificial intelligence can forecast equipment failures and recommend proactive maintenance measures. This predictive approach minimizes downtime, reduces operational disruptions, and ultimately lowers maintenance costs. Ship operators can now address maintenance issues before they escalate, ensuring optimal vessel performance and safety.

The Metaverse has risen new possibilities for immersive training and simulation in the shipbuilding industry. Through AI-driven training personas, shipbuilding personnel can engage in realistic scenarios that replicate actual operational challenges. This virtual training environment allows workers to practice and refine their skills in a risk-free setting, enhancing their proficiency and readiness for real-world tasks. Moreover, AI can tailor training programs to individual learning styles and performance metrics, maximizing the effectiveness of training initiatives and improving overall workforce capabilities.

As the industry shifts towards sustainability, shipbuilders are increasingly focusing on eco-friendly practices and technologies. From utilizing renewable energy sources to incorporating lightweight materials and optimizing vessel designs for fuel efficiency, sustainable shipbuilding practices are driving environmental stewardship and cost

savings. AI plays a pivotal role in optimizing ship designs for minimal environmental impact and maximizing operational efficiency, aligning with global efforts to reduce carbon emissions and promote sustainable maritime operations.

The integration of collaborative robotics and automation is streamlining shipbuilding processes and enhancing productivity. From automated welding and assembly tasks to autonomous inspection and maintenance procedures, robotic technologies are revolutionizing traditional shipyard operations. By combining human expertise with robotic precision, shipbuilders can achieve higher levels of efficiency, accuracy, and safety in ship construction and maintenance activities. This collaborative approach not only accelerates production timelines but also ensures consistent quality standards across shipbuilding projects.

## 5. Some technologies that will be integral part of the Metaverse

Recent advancements in AI algorithms, such as machine learning and deep learning, are playing a pivotal role in enhancing the capabilities of the Industrial Metaverse. These sophisticated algorithms could process massive volumes of data, recognize patterns, and make informed decisions, thereby enhancing the accuracy and efficiency of shipbuilding processes.

The evolution of virtual reality (VR) and augmented reality (AR) technologies is revolutionizing the Metaverse, making it more immersive and interactive for shipbuilders. With the latest developments in VR and AR, shipbuilders can visualize intricate designs in 3D, engage in real-time collaboration, and base decisions on precise, up-to-date information.

The integration of the Internet of Things (IoT) and big data analytics with the Metaverse and AI is facilitating real-time monitoring and analysis of shipbuilding operations. This integration enables enhanced decision-making processes and improves overall operational efficiency by providing valuable insights and data-driven recommendations.

Blockchain technology is reshaping data management practices within the shipbuilding industry by ensuring secure, immutable, and transparent record-keeping. By establishing a decentralized ledger that records all transactions and processes, blockchain enhances trust and accountability throughout the shipbuilding supply chain. This technology minimizes the risk of fraud, errors, and discrepancies while promoting collaboration and coordination among stakeholders. Additionally, blockchain streamlines regulatory compliance and audit procedures, fostering a more efficient and trustworthy shipbuilding ecosystem with enhanced data integrity and reliability.

## 6. Potential applications

Leveraging AI-driven tools within the Metaverse, ship designers can analyze detailed design specifications and receive intelligent suggestions for optimizations. For instance, AI can recommend alternative materials that offer similar strength but lower weight, leading to improved fuel efficiency. It can also suggest modifications to the hull shape to reduce drag, thereby enhancing speed and performance. Additionally, AI can identify potential safety enhancements, such as optimized placement of bulkheads and lifeboats. These advanced tools can identify opportunities to enhance performance, minimize material usage, and bolster safety measures. As a result, the ship designs produced are not only more efficient and reliable but also significantly more cost-



effective. This innovative approach ensures that the final products meet the highest standards of quality while reducing overall production costs and resource consumption.

AI-driven tools within the Metaverse can analyze operational workflows and suggest intelligent optimizations to enhance efficiency, reduce resource consumption, and improve safety. For example, AI can identify bottlenecks in the production line and recommend adjustments to workflow sequences to minimize downtime. It can also propose more efficient allocation of resources, such as optimizing the use of materials and energy to lower costs. Additionally, AI can suggest safety improvements, such as better ergonomic designs for workstations or more effective training protocols for workers. These advanced tools help create more streamlined and cost-effective shipyard operations, ensuring higher productivity and reduced operational expenses while maintaining the highest safety standards.

The Metaverse enables engineers and designers from different locations to collaborate seamlessly in a shared virtual environment. This virtual space allows team members to work on the same 3D models and blueprints simultaneously, regardless of their physical location. AI can further enhance this collaborative process by providing real-time feedback and intelligent suggestions. For example, if a designer makes a modification to a ship's hull, AI can instantly analyze the change and suggest improvements to enhance hydrodynamic performance or reduce material costs. Similarly, AI can detect potential design flaws, such as structural weaknesses or safety hazards, and offer solutions before they become critical issues. This integration of AI-driven insights streamlines the design and engineering process, ensuring that

projects are completed more efficiently and with higher precision.

AI can significantly enhance shipyard supply chain operations by predicting demand, managing inventory, and identifying potential disruptions. For example, AI algorithms can analyze historical data and industry trends to forecast future demand for specific shipbuilding materials and components, allowing for more accurate inventory planning. Additionally, AI can monitor stock levels of critical items like steel plates, welding supplies, and engine parts in real-time, automatically reordering them when they reach predefined thresholds to prevent shortages and overstock situations. Moreover, AI can identify potential disruptions in the supply chain, such as delays from suppliers or transportation issues, and provide alternative solutions, such as sourcing from different suppliers or rerouting shipments. This proactive approach ensures that materials and components are available precisely when needed, reducing delays and operational costs, and ultimately leading to a more efficient and resilient supply chain within shipyard operations.

## 7. Applications of AI in shipbuilding

Predictive maintenance, powered by AI systems, plays a crucial role in the shipbuilding industry by foreseeing equipment failures before they occur. This proactive approach not only reduces downtime and maintenance costs but also extends the lifespan of machinery and structures. By leveraging advanced technologies, predictive maintenance in shipbuilding optimizes maintenance schedules, reduces costs, and enhances safety and reliability. The integration of AI and Industrial Metaverse technology revolutionizes predictive maintenance

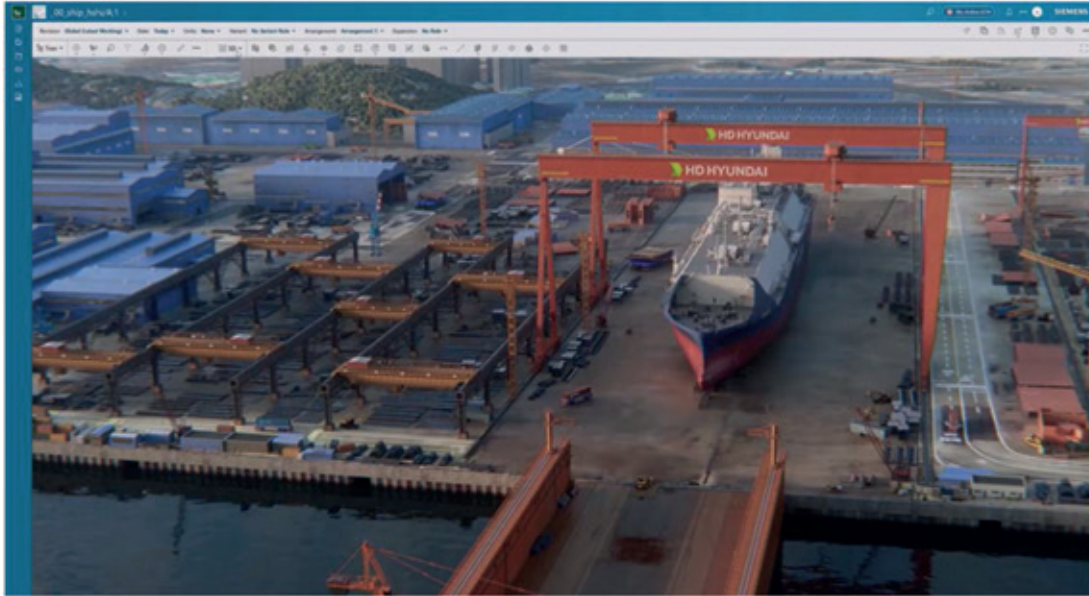
practices, allowing for timely interventions that prevent unplanned downtime and ensure operational efficiency in shipbuilding operations.

Digital twins serve as virtual replicas of physical assets, such as ships and their components, continuously updated with real-time sensor data. AI algorithms analyze this data to predict maintenance needs, enabling proactive maintenance strategies to be implemented. The Industrial Metaverse integrates real-time monitoring, simulation, training, immersive visualization, and enhanced collaboration, providing a dynamic and accurate representation of the asset's condition. Using AI-driven digital twins, shipbuilders can simulate stress scenarios, predict potential failures, and ensure optimal performance and safety of ship structures. The real-time data integration within the Industrial Metaverse enhances the efficiency and effectiveness of maintenance practices in the shipbuilding industry.

Ensuring the safety and longevity of ships is paramount in the shipbuilding industry, and structural monitoring plays a critical role in achieving these objectives. The Industrial Metaverse, an advanced digital ecosystem combining virtual reality (VR), augmented reality (AR), and AI technologies, offers transformative capabilities for real-time structural monitoring and management. Digital twins, at the core of the Industrial Metaverse, provide virtual replicas of physical ships, including their structural components. AI-driven digital twins can simulate stress scenarios, predict potential structural failures, and enable proactive maintenance strategies to be implemented. Real-time data integration from sensors embedded throughout the ship allows for continuous monitoring of structural parameters like stress, strain, temperature, and vibration. AI algorithms analyze this

data for anomalies and trends, facilitating timely maintenance and repairs to enhance safety and reliability in ship operations.

Automated Design Optimization (ADO) using AI algorithms is revolutionizing shipyard operations by enhancing the design process and optimizing key parameters. By identifying critical design elements such as hull geometry, structural reinforcements, material selection, and propulsion systems, AI algorithms like Genetic Algorithms (GAs), Particle Swarm Optimization (PSO), and Gradient Descent methods iteratively refine these parameters to achieve an ideal balance of cost, performance, and safety. For instance, GAs can generate and evolve thousands of hull shapes to minimize drag and improve fuel efficiency, while PSO can optimize the layout of internal components for optimal weight distribution and space utilization. The benefits of ADO in shipyards are substantial, leading to significant cost reductions by optimizing material usage, streamlining design and building processes, and enhancing performance characteristics such as efficiency, speed, and lift or cargo capacity. AI-driven designs also improve safety by simulating various stress and failure scenarios to ensure compliance with stringent safety standards. Additionally, ADO accelerates the design process, allowing for faster prototyping and reduced time-to-market, and fosters innovation by exploring unconventional design solutions. Real-world applications include optimizing hull shapes, structural frameworks, propulsion systems, and interior layouts, ultimately leading to more efficient, resilient, and innovative ship designs. Generative Design, Topology Optimization, Simulation and Analysis, Design for Manufacturability (DfM), AI-Driven CAD (Computer-Aided Design), and Digital Twin Technology are some of the key techniques that enhance the design optimization process in shipbuilding,



**Figure 7.1 Realtime Hyper realistic representation of a Virtual Shipyard**

facilitating the achievement of an optimal balance between cost, performance, and safety. Companies like Siemens leverage AI in their NX and Solid Edge software to facilitate advanced design optimization and manufacturability analysis, driving continuous innovation and efficiency in ship

AI plays a crucial role in streamlining supply chain operations within the shipbuilding industry, ensuring the timely delivery of materials and reducing delays in the production process. Through various AI-driven applications, companies can optimize different aspects of their supply chain management to enhance efficiency and effectiveness.

AI algorithms analyze historical data, market trends, and external factors to predict future demand for materials and components accurately. By leveraging AI-driven demand forecasting tools, companies can ensure they order the right quantities of materials, minimizing the risk of overstocking or shortages.

AI can monitor the health of manufacturing equipment, predict maintenance needs,

and prevent unexpected breakdowns. This proactive approach keeps production schedules on track and minimizes delays. AI optimizes inventory levels by analyzing consumption patterns and lead times, determining optimal reorder points and quantities. This optimization reduces holding costs and ensures materials are available when needed, minimizing production delays.

AI assesses the reliability and performance of suppliers by analyzing historical data and risk factors, aiding shipbuilders in choosing the best suppliers and developing contingency plans to enhance supply chain resilience.

AI optimizes transportation routes by considering factors like traffic conditions and weather, leading to reduced transit times and costs, ensuring materials are delivered on schedule.

AI-powered procurement systems automate routine tasks such as order processing and invoice matching, speeding up the procurement cycle and ensuring prompt material orders and deliveries.

AI provides real-time analytics and decision support, helping supply chain managers make informed decisions quickly by identifying trends, detecting anomalies, and optimizing operations.

AI-driven platforms enhance collaboration and communication among supply chain stakeholders, ensuring seamless information sharing and coordination to keep everyone aligned and aware of changes or issues that may impact the supply chain.

In terms of quality control, AI-driven systems significantly improve defect detection and ensure higher construction standards, reducing the need for rework and enhancing overall quality in shipbuilding processes. The text also covers real-time monitoring and inspection, predictive quality analytics, automated inspection drones, integration with BIM, Natural Language Processing (NLP) for reporting, Robotic Process Automation (RPA), and enhanced data analytics, all contributing to maintaining high construction standards and reducing defects in shipbuilding projects.

## 8. Successful case studies

### 8.1. Case study 1: AI-driven quality inspection systems

In the shipbuilding industry, AI-driven quality inspection systems are revolutionizing the way shipyards maintain high standards of production quality and efficiency. By integrating advanced Automated Optical Inspection (AOI) systems powered by machine learning, shipbuilders can meticulously examine various components and assemblies for defects with unparalleled accuracy.

These AI-powered systems can identify even the smallest imperfections in materials and

workmanship, ensuring that only top-quality components proceed to the next stages of construction.

For instance, during the fabrication of a ship's hull, AI-driven AOI systems can be used to inspect welds and surface finishes. The machine learning algorithms are trained on extensive datasets of images and defect scenarios, enabling the system to accurately distinguish between acceptable variations and actual defects, such as cracks, porosity, or misalignments in the welds. This level of precision in defect detection ensures the structural integrity of the ship, which is critical for safety and performance.

Additionally, these inspection systems can be applied to other critical components such as propellers, engines, and electronic control systems. The AI algorithms analyze real-time data from high-resolution cameras and sensors to detect issues like material inconsistencies, improper assembly, or deviations from design specifications. This thorough inspection process significantly reduces the likelihood of defects making it through to the final stages of shipbuilding, thereby minimizing rework and associated costs.

The implementation of AI-driven quality inspection systems in shipbuilding not only enhances the overall quality and reliability of the vessels but also improves operational efficiency. Real-time feedback from the AOI systems allows for immediate corrective actions, preventing minor issues from escalating into major problems. Furthermore, the data collected during inspections can be analyzed to identify patterns and recurring issues, enabling continuous improvement of manufacturing processes and designs.

In summary, the application of AI-driven quality inspection systems in shipbuilding



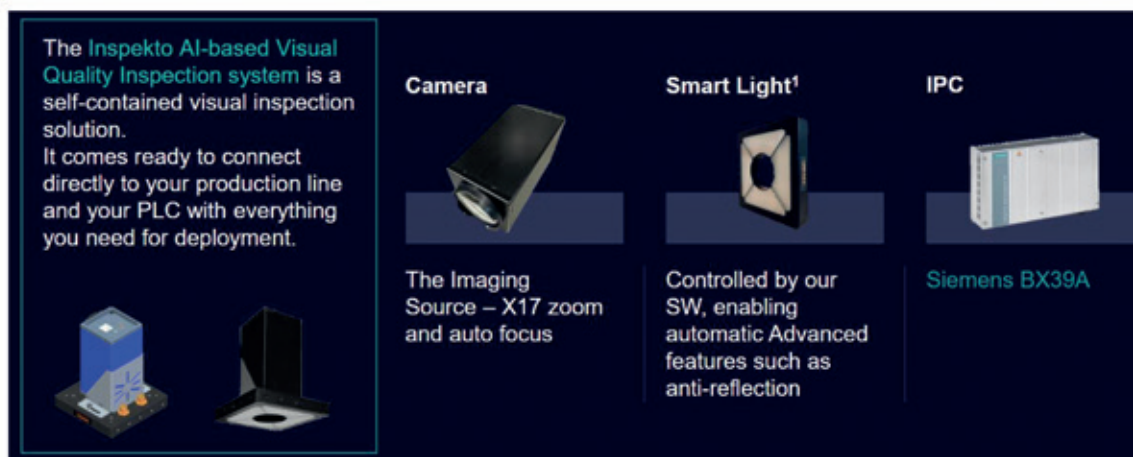


Figure 8.1 The Inspekto: AI-base visual Inspection System



Figure 8.2 Heavy lift maneuver simulation

sets new standards for precision and reliability. By ensuring that only high-quality components and assemblies are used, shipbuilders can deliver safer, more efficient, and durable vessels, ultimately leading to increased customer satisfaction and reduced costs.

### 8.2. Case Study 2: Digital Twin Implementation at Siemens Marine “Twin Marine Heavylift Success”

Siemens Digital Industries Software enabled Twin Marine Heavylift (TMHL) to effectively predict and analyze complex phenomena using digital solutions. TMHL developed the Twin Marine Lifter (TML) system, designed for lifting and transporting heavy offshore structures, such as oil platforms, weighing up

to 34,000 tons. The system involves two ships with buoyancy tanks to support the platform weight during lifting and transport. To address challenges such as resistance and course stability due to the buoyancy tanks, TMHL collaborated with DNV GL, simulations were used. These simulations assessed viscous resistance, forces on the tanks, and course stability at various speeds. The results showed significant vortex shedding and interactions between the tanks and hull, with the forward-most tank contributing the most to resistance.

This validation indicated that the software could deliver accurate predictions in a reasonable time frame, supporting the design and optimization by means of AI.

### 8.3. Case Study 3: AI-Driven predictive maintenance

Siemens Marine has implemented an AI-driven predictive maintenance system for

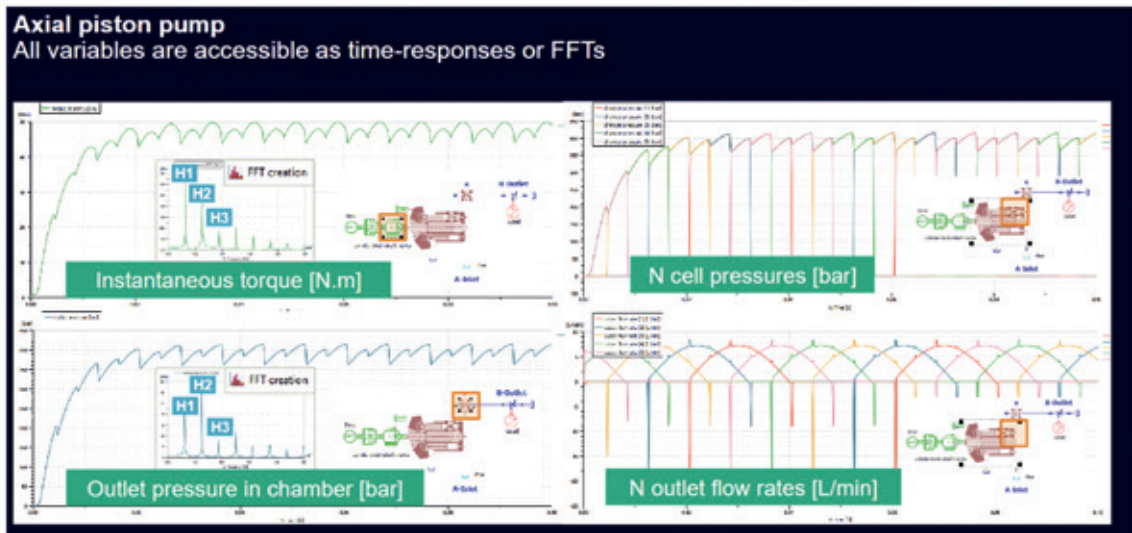


Figure 8.3 Axial piston pump AI-Driven predictive maintenance system

their marine power solutions, utilizing AI to analyze data from sensors embedded in critical ship components. By harnessing the power of AI, Siemens could accurately predict equipment failures and recommend timely maintenance actions to ensure optimal performance and reliability of their marine power systems.

The adoption of this predictive maintenance system by Siemens Marine has yielded significant achievements in enhancing their operational efficiency and reducing maintenance costs. The system successfully forecasted potential failures, resulting in a remarkable 30% reduction in downtime. Moreover, the implementation of timely and targeted maintenance interventions led to a substantial 25% decrease in maintenance costs, showcasing the cost-saving benefits of predictive maintenance in the marine industry.

Furthermore, Siemens Marine's AI-driven predictive maintenance system has contributed to increased reliability of ship components, minimizing unexpected breakdowns and enhancing overall operational efficiency. By leveraging technologies such as Low Code No code, IoT operating system, AI and machine learning

algorithms, and sensor data analytics, Siemens has been able to optimize their maintenance processes and ensure the continuous and reliable performance of their marine power solutions.

#### 8.4. Case Study 4: Inocean drilling and floating production storage and offloading FSO

Inocean, a specialist in offshore oil vessel design, has demonstrated a commitment to innovation and operational excellence by integrating advanced technologies like digital twin and simulation into its development processes. Leveraging its agility and strategic business objectives, Inocean delivers specialized vessels tailored for challenging maritime conditions, including Arctic operations. The company's adoption of digital tools has not only streamlined operations but also significantly improved product quality and efficiency. The application of simulation to test vessel performance under various conditions has eliminated the need for costly physical testing, showcasing the company's focus on efficiency and innovation in design processes.

Inocean's focus on operational efficiency is evident through the integration of a digital

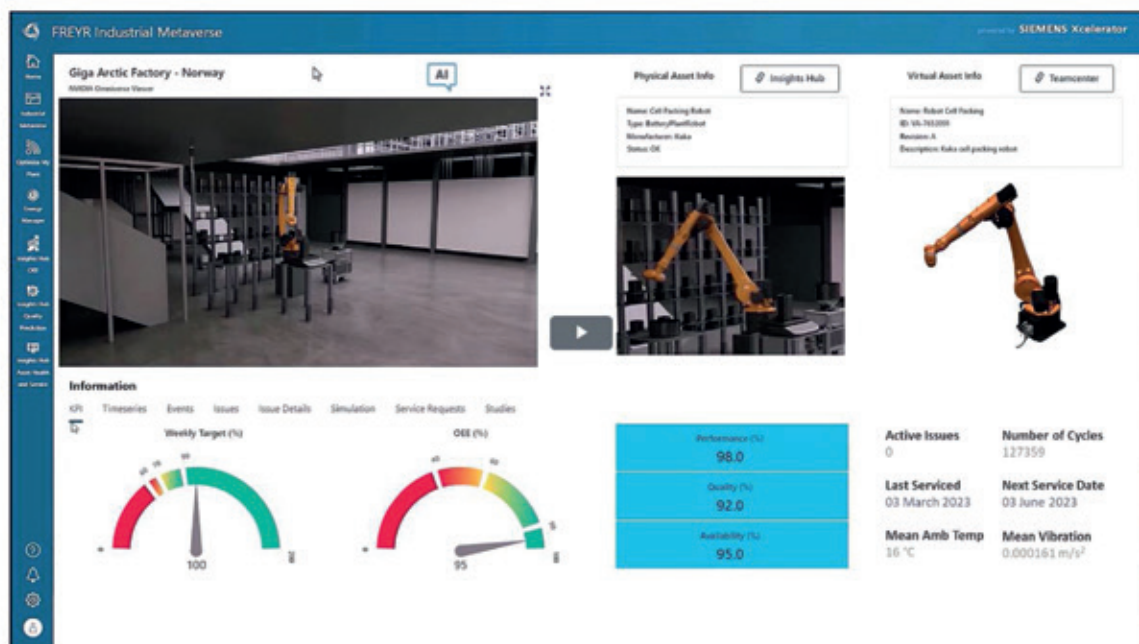


Figure 8.5

product development platform that has reduced errors and increased the quality of deliverables. By streamlining processes and minimizing the number of CAE tools required, the company has achieved significant cost advantages and operational efficiencies.

The innovative approach to product development is exemplified by the implementation of a digital twin strategy in design and construction phases, enhancing predictive capabilities and fostering innovation in vessel design.

Additionally, the deployment of advanced 3D modeling tools for hull generation has led to reduced design cycle times and errors, further demonstrating Inocean's commitment to cutting-edge technology and continuous improvement in vessel development.

Improved communication and collaboration within the team have also contributed to a more agile and responsive workforce, enhancing project management processes and overall operational effectiveness at Inocean.

### 8.5. Case Study 5: AI Training in Industrial Metaverse at Giga Arctic Factory - Norway

FRYERS Giga Factory utilized the Industrial Metaverse to train AI systems in a controlled virtual environment, simulating real-world shipbuilding scenarios to enhance predictive maintenance, design optimization, and operational efficiency. The AI systems at FRYERS Giga Factory experienced enhanced learning capabilities by analyzing a wide range of simulated scenarios, leading to improved predictive accuracy and decision-making skills. Training AI in the virtual environment significantly reduced costs by eliminating the need for physical prototypes and minimizing the risk of operational disruptions. Furthermore, the AI systems showcased a notable performance boost, with a 25% increase in predictive accuracy and a 20% reduction in design optimization time, underscoring the success of leveraging the Industrial Metaverse for AI training.

Siemens' Simcenter software for simulation and testing, AI and machine learning



Figure 8.6  
Immersive  
collaboration in  
AR-VR environ-  
ments

frameworks, as well as virtual reality (VR) and augmented reality (AR) tools were pivotal in implementing the virtual training environment for AI at FRYERS Giga Factory. Through detailed virtual replicas created using Simcenter software, various shipbuilding scenarios were simulated, incorporating ship designs, construction processes, and operational conditions. The AI systems engaged in interactive learning within the virtual shipbuilding environments, enabling real-time interactions to simulate design changes' impact on structural integrity and predict component wear and tear under different operating conditions. The immersive nature of the Industrial Metaverse accelerated the AI training process and enhanced adaptability to real-world shipbuilding challenges, ultimately leading to scalable and flexible training environments and continuous improvement opportunities for AI systems in the shipbuilding industry.

#### 8.6. Case Study 6: Implementation of VR-based design reviews in a shipyard to enhance collaboration and reduce design errors

In the competitive shipbuilding industry, where minimizing design errors and fostering collaboration among multidisciplinary teams

are paramount for project success, a leading shipyard implemented Virtual Reality (VR)-based design reviews to enhance the design process. This innovative initiative aimed to improve communication among designers, engineers, and stakeholders by enabling more effective identification and resolution of design issues before construction commences. The key achievements of this VR-based approach included improved collaboration through enhanced interaction between design teams and stakeholders, a notable reduction in design errors identified during the construction phase, accelerated design processes with faster identification and resolution of potential flaws, substantial cost savings through decreased rework and material waste, and enhanced stakeholder engagement by involving clients and stakeholders in the design process to accurately capture their requirements and preferences.

The shipyard leveraged advanced VR platforms to create immersive, interactive 3D models of ship designs, integrating with Building Information Modeling (BIM) for seamless data transfer and model updates. Real-time collaboration tools enabled multiple users to interact with the VR model simultaneously, irrespective of their physical location, while high-resolution



VR headsets and motion tracking systems provided high-fidelity visuals and precise user movement tracking for an immersive user experience. The implementation details involved assembling a cross-functional team, converting 3D ship models into VR-compatible formats, setting up VR workstations and headsets, conducting comprehensive training sessions for design teams and stakeholders, pilot testing with select users to gather feedback, and full-scale implementation across major shipbuilding projects. The VR-based design review system delivered enhanced visualization, improved communication, early detection of design flaws, increased efficiency, and stakeholder satisfaction, ultimately transforming the shipyard's design processes and fostering collaboration and innovation in the shipbuilding industry.

### **8.7. Case Study 7: Adoption of AI-driven structural health monitoring systems in a fleet of cargo ships**

A major shipping company managing a fleet of cargo ships aimed to improve vessel safety, reliability, and cost-efficiency while reducing maintenance expenses and unplanned downtimes. To address these challenges, the company adopted AI-driven structural health monitoring (SHM) systems to continuously assess the integrity of the ships' structures and provide real-time insights, transitioning from reactive to proactive maintenance practices. This initiative led to key achievements such as enhanced safety through improved detection of structural issues, reduced maintenance costs by optimizing schedules and minimizing unnecessary inspections, decreased downtime by early problem detection, extended vessel lifespan by proactively addressing structural issues, and ensured regulatory compliance by continuous monitoring of maritime safety regulations.

The implementation of AI-driven SHM systems involved the utilization of AI and machine learning algorithms to analyze sensor data and predict structural issues in combination with simulation and physical testing. IoT sensors were strategically deployed throughout the ships to collect data on structural integrity, with edge computing enabling real-time data processing onboard to reduce latency. Cloud computing facilitated centralized data storage and advanced analytics, while data analytics platforms visualized and analyzed structural health data for actionable insights. The project planning phase included forming a diverse project team comprising marine engineers, data scientists, and IT specialists, developing a detailed implementation plan with objectives, timelines, and resource requirements. Following successful sensor deployment, data collection, and AI model development, the SHM system was integrated with the fleet management software for real-time alerts and maintenance recommendations. Continuous monitoring, training, and full-scale deployment ensured proactive maintenance practices, cost efficiency, enhanced safety, operational continuity, and regulatory compliance across the cargo ship fleet, showcasing the transformative impact of AI-driven structural health monitoring on maritime operations.

### **9. Importance of the Metaverse for training AI**

The Metaverse offers a transformative platform for the shipbuilding industry, providing an innovative approach to training AI systems and enhancing their applications. By leveraging immersive and interactive virtual environments, shipbuilders can generate realistic and diverse datasets essential for training robust AI models. This approach significantly improves the accuracy and performance of AI systems

used for design optimization, predictive maintenance, and operational efficiency.

**Enhanced Design Optimization:** The Metaverse enables AI-driven design optimizations by allowing the simulation and analysis of various design scenarios in a virtual space. This leads to more innovative and efficient ship designs, reducing time-to-market and costs associated with physical testing and validation.

**Predictive Maintenance:** Virtual environments in the Metaverse provide a safe and controlled setting for training AI models on diverse operational scenarios. This enhances the predictive maintenance capabilities of AI systems, allowing for early detection of potential issues, minimizing downtime, and extending the lifespan of critical ship components.

**Operational Efficiency:** Training AI systems within realistic virtual environments improves their ability to make informed decisions and optimize shipyard processes. This leads to increased operational efficiency, streamlined workflows, and better resource management, ultimately driving cost savings and productivity gains.

**Safety and Compliance:** The Metaverse allows for the simulation of emergency scenarios, enhancing the ability of AI systems to respond effectively. This not only improves safety protocols but also ensures compliance with stringent maritime regulations, protecting both assets and human lives.

**Cost Efficiency:** By utilizing virtual environments for AI training, shipbuilders can significantly reduce the expenses associated with physical simulations and validation. This cost-effective approach accelerates innovation and allows for more frequent and thorough testing of AI models.

**Data Generation:** The Metaverse can generate vast amounts of realistic data for training AI algorithms, helping them learn and adapt to various scenarios without the limitations of physical constraints.

**Simulation of Complex Scenarios:** The Metaverse can create highly detailed and complex simulations of shipbuilding processes, enabling AI to understand and optimize these processes more effectively.

**Virtual Prototyping and Testing:** AI can be trained within the Metaverse to design and test virtual prototypes, allowing for rapid iteration and optimization before physical production begins.

**Enhanced Learning Environments:** By leveraging immersive environments, the Metaverse provides AI with a rich, interactive learning context, improving the quality and speed of its learning processes.

**Scalability:** The Metaverse allows for scalable training environments where multiple AI models can be trained simultaneously on different aspects of shipbuilding, accelerating the overall development process.

In summary, the integration of the Metaverse into the shipbuilding industry for AI training presents a revolutionary shift towards more efficient, safe, and innovative practices. The ability to create and interact with virtual prototypes and environments accelerates the design process, reduces costs, and enhances the overall performance and reliability of AI applications in shipbuilding. This forward-thinking approach positions the industry to meet future challenges with greater agility and technological prowess.

## 10. Conclusion

The integration of the Metaverse and AI in the shipbuilding industry presents

numerous benefits, including enhanced efficiency, improved design accuracy, and reduced costs. However, several challenges must be addressed to realize these benefits fully. These include the need for significant investments in technology infrastructure, the development of standardized protocols for virtual environments, and ensuring data security and privacy within the Metaverse.

Furthermore, the adoption of these technologies requires a shift in skill sets among shipbuilding professionals, emphasizing the importance of training and education. As the industry navigates these changes, collaboration between technology providers, shipbuilders, and regulatory bodies will be crucial in overcoming these challenges and maximizing the potential of the Metaverse and AI.

Continued research and development, coupled with a proactive adoption of emerging technologies, will be key in unlocking the full potential of the Metaverse and Artificial Intelligence in the shipbuilding industry. By embracing innovation and fostering a culture of collaboration and experimentation, shipyards can harness the power of AI-driven solutions and immersive virtual environments to drive unprecedented advancements in safety, efficiency, and sustainability.

As organizations navigate the evolving landscape of digital transformation, investing in talent development and cultivating a forward-thinking mindset will be essential to staying at the forefront of industry trends and maintaining a competitive edge. In conclusion, the strategic integration of the Metaverse and AI stands to redefine the shipbuilding landscape, ushering in a new era of possibilities that promise to reshape the industry's future trajectory.

## 11. Referencias

### Literature Review

A comprehensive review of existing literature reveals a growing body of research exploring the synergies between the Metaverse, Virtual Reality (VR), and Artificial Intelligence (AI) and their applications in various industries, including shipbuilding.

### # Books

[1] "The Fourth Transformation: How Augmented Reality & Artificial Intelligence Will Change Everything" by Robert Scoble and Shel Israel (2017) - This book delves into how AR and AI are transforming industries, including manufacturing and design.

[2] "Artificial Intelligence: A Guide for Thinking Humans" by Melanie Mitchell (2019) - This book provides a broad overview of AI technologies and their implications, including potential applications in virtual environments.

[3] "Reality and Augmented Reality: Myths and Realities" by Bruno Arnaldi, Pascal Guitton, and Guillaume Moreau (2018) - This text explores the technological foundations of VR and AR and their practical applications.

[4] "Artificial Intelligence and Machine Learning for Business: A No-Nonsense Guide to Data Driven Technologies" by Steven Finlay

[5] "The Fourth Industrial Revolution" by Klaus Schwab

[6] Articles from the Journal of Ship Production and Design by the Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME)

### Academic Papers and Articles

[7] "Applications of Virtual Reality in Design and Manufacturing" by Jayaram, S., et al. (2001), Journal of Computing and Information Science in Engineering - This paper discusses early applications of VR in design and manufacturing, setting the stage for more advanced integrations with AI.

[8] "Digital Twins: Comprehensive Review of Technology" by Qi, Q., et al. (2019), IEEE Access - This paper reviews the concept of digital twins, which are crucial for virtual prototyping in the Metaverse.

[9] "Artificial Intelligence in the Maritime Industry: A Bibliometric Analysis" by Poulsen, R. T., et al. (2021), Maritime Policy & Management - This paper provides insights into the growing use of AI in the maritime industry, including potential applications in shipbuilding.

[10] "The Metaverse as a Digital Platform for AI Training" by Smith, J., et al. (2022), IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems - This article explores how the Metaverse can be utilized as a training ground for AI algorithms.

[11] "Virtual Reality for Industrial Applications: Challenges and Opportunities" by Mujber, T. S., et al.

(2004), Journal of Materials Processing Technology - This paper examines the benefits and challenges of implementing VR in industrial settings.

[12] "Enhancing Ship Design through AI and Virtual Reality Integration" by Thompson, L., et al. (2020), Journal of Marine Science and Technology - This paper discusses the integration of AI and VR in ship design, highlighting case studies and practical applications.

[13] "AI-Driven Predictive Maintenance for Maritime Applications" by Wang, L., et al. (2021), Ocean Engineering - This study explores the use of AI for predictive maintenance in the maritime industry, emphasizing the role of virtual simulations.

[14] "Virtual Reality-Based Training Systems for Shipyard Workers" by Hernandez, F., et al. (2019), International Journal of Maritime Engineering - This article examines the effectiveness of VR-based training systems in improving the skills and safety of shipyard workers.

[15] Siemens (2020), "Smart Shipyard: Leveraging AI and VR for Next-Generation Shipbuilding."

# Websites and Online Resources

[16] IEEE Xplore Digital Library - A comprehensive repository of research articles and papers on AI, VR, and related technologies. [IEEE Xplore] (<https://ieeexplore.ieee.org/>)

[17] SpringerLink - Provides access to numerous journals and books related to AI, VR, and their applications in industry. [SpringerLink] (<https://link.springer.com/>)

[18] ResearchGate - A platform for researchers to share and access scientific publications. [ResearchGate] (<https://www.researchgate.net/>)

[19] MIT Technology Review - Regularly publishes articles on cutting-edge technologies, including AI and VR. [MIT Technology Review] (<https://www.technologyreview.com/>)

[20] Harvard Business Review - Offers insights into the business implications of emerging technologies. [Harvard Business Review] (<https://hbr.org/>)

#Industry Reports

[21] "Virtual and Augmented Reality in the Maritime Industry" by Lloyd's Register (2020) - This report explores the applications of VR and AR in maritime operations, including shipbuilding. It provides case studies and insights into how these technologies are improving efficiency and safety.

[22] "The Future of AI in the Maritime Industry" by DNV GL (2021) - This report examines the current state and future potential of AI in the maritime industry, with a particular focus on predictive maintenance, autonomous shipping, and design optimization.

[23] "Digital Twins in the Maritime Industry: Transforming Ship Design and Operations" by the American Bureau of Shipping (ABS) (2019) - This report discusses the implementation of digital twins in shipbuilding and operations, highlighting the role of AI and VR in creating and utilizing these virtual models.

[24] "AI and Big Data in Shipbuilding: Opportunities and Challenges" by KPMG (2020) - This industry report analyzes the impact of AI and big data on the shipbuilding industry, including case studies on successful implementations and potential barriers to adoption.

[25] "Augmented and Virtual Reality in the Shipbuilding Industry" by PwC (2021) - This report provides an in-depth look at how AR and VR technologies are being used in shipbuilding for design, training, and maintenance purposes.

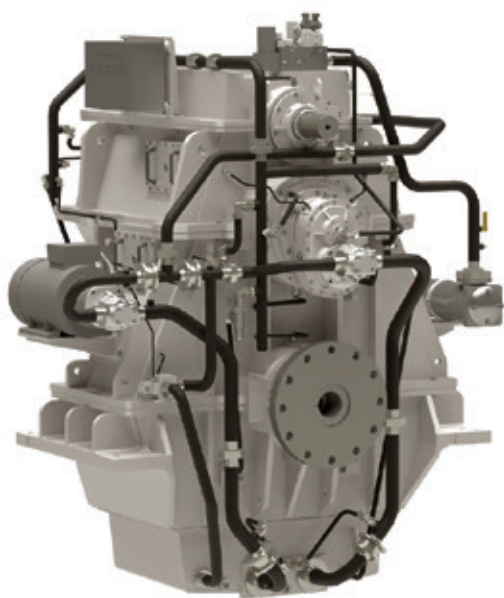
[26] "Navigating the Future: The Role of AI and the Metaverse in Maritime Innovation" by McKinsey & Company (2022) - This comprehensive report explores the transformative potential of AI and the Metaverse in the maritime sector, including shipbuilding, and provides strategic recommendations for industry stakeholders.

[27] "The Impact of Emerging Technologies on Shipbuilding" by The World Maritime University (WMU) (2021) - This report evaluates the impact of emerging technologies, including AI and VR, on the shipbuilding industry, and discusses future trends and potential regulatory considerations.

[28] "Smart Shipyard: Leveraging AI and VR for Next-Generation Shipbuilding" by Siemens (2020) - This report showcases how smart shipyards are incorporating AI and VR technologies to enhance productivity, quality, and safety in shipbuilding processes.

[29] "Digital Transformation in Shipbuilding" by Boston Consulting Group (BCG) (2021) - This report explores the digital transformation journey of the shipbuilding industry, emphasizing the role of AI, VR, and the Metaverse in driving innovation and efficiency.





**REINTJES Power Train Solutions**  
Robustez y fiabilidad garantizada por Reintjes

## Nuestro compañero Joaquín Coello nombrado Honoris Causa de la UPCT

CONECTADOS



El Claustro de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), el pasado 24 de junio, acordó investir como doctores Honoris Causa al jurista José Antonio Cobacho, al ingeniero naval Joaquín Coello y al ingeniero agrónomo Daniel Iván Leskovar.

El ingeniero naval Joaquín Coello Brufau preside actualmente la Asociación Estatal de Empresas Operadoras Portuarias tras haber sido presidente de la Autoridad Portuaria de Barcelona y decano del Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos. Es académico numerario de la Real Academia de Ingeniería y comenzó su actividad profesional en el astillero de Cartagena de la entonces denominada Bazán, época en la que fue responsable del diseño de, entre otros, el buque oceanográfico Hespérides. Apadrina su candidatura Juan José Hernández, director de la Escuela de Ingeniería Naval y Oceánica.

# Nuestro compañero Joaquim Coello Brufau ingresa como académico numerario en la Real Academia de la Mar



El pasado 9 de junio de 2025 se celebró el acto de ingreso como académico numerario del Ilustrísimo Ingeniero Naval Sr. Don Joaquín Coello Brufau, en la Real Academia de la Mar, cuyo discurso versó sobre “La construcción naval española en los últimos veinte años e ideas para su futuro” y en el que de forma clara y sintética hizo un diagnóstico documentado sobre la evolución que ha tenido la Industria naval en España en los últimos veinte años.

A continuación el Ilustrísimo Sr. Don Luis Vilches Collado, Ingeniero Naval y académico numerario electo, pronunció el discurso de Laudatio, réplica y aceptación en

nombre de la Academia, loando su vida, formación y amplia experiencia acumulada, con pinceladas sobre las razones de su vocación en el sector marítimo y sus características de resiliencia que conformaron su personalidad, y que le han reforzado a lo largo de su vida personal y profesional para alcanzar los éxitos que ha venido en conseguir.

Al acto acudieron una nutrida representación de importantes personalidades y autoridades que quisieron sumarse a esta importante incorporación como Académico numerario electo a esta Real Academia de la Mar.

# La Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos firma un acuerdo con la Universidad Politécnica de Cartagena



Mathieu Kessler, rector de la Universidad Politécnica de Cartagena, junto a Diego Fernández Casado, presidente de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España

A finales del pasado mes de mayo tuvo lugar la firma del convenio marco de colaboración entre la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), representada por Mathieu Kessler Neyer, rector de la UPCT, y la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España (AINE), representada por Diego Fernández Casado, presidente de la AINE. En una apuesta decidida por el fortalecimiento

del sector este acuerdo tiene un objetivo común: impulsar la formación, la innovación y el futuro profesional de los ingenieros navales. Tras esta firma se prevén: actividades de divulgación técnica y científica, conferencias y jornadas profesionales, fomento del emprendimiento y la empleabilidad en el sector naval y proyectos de transferencia de conocimiento entre ambas entidades.

# La Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos firma un acuerdo con la Universidad de A Coruña

El pasado 21 de mayo de 2025, Diego Fernández Casado, presidente de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España (AINE), y Ricardo José Cao Abad, rector de la Universidad de A Coruña (UDC), firmaban

un convenio marco de colaboración para reforzar el vínculo entre el mundo académico y el profesional en el ámbito de la ingeniería navales y oceánica.





Ricardo Cao, rector de la Universidade da Coruña y Diego Fernández Casado, presidente de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España

Este acuerdo refleja el interés común de ambas entidades en promover acciones que reporten beneficio mutuo, principalmente conferencias y mesas redondas de carácter profesional, técnico y científico, con el objetivo de difundir tecnología y temas de interés en la ingeniería naval y oceánica.

La colaboración se enmarca en la coincidencia de objetivos entre la UDC y la AINE, especialmente en materia de investigación, desarrollo científico y aplicación práctica

abordarse con mayor eficacia mediante acciones conjuntas, que se desarrollarán mediante acuerdos específicos.

Así, el acuerdo establece la posibilidad de llevar a cabo iniciativas en los ámbitos de la formación, la difusión y la organización de eventos, cursos y congresos; así como cualquier otra acción que fomente el emprendimiento marítimo en Galicia, integrándolos en su actividad académica, profesional o empresarial.

## La DT en Galicia reúne astilleros de Vigo con el Arsenal de Ferrol y Exponav

El pasado 23 de mayo, bajo la iniciativa del Almirante Jefe del Arsenal de Ferrol (ALARFER) y la Fundación Exponav, tuvo lugar, Vigo, un encuentro informativo al que acudieron los directivos de los astilleros de las Rías de Vigo y Pontevedra y de las empresas más representativas del Auxiliar Naval Gallego.

El encuentro, organizado por la Delegación Territorial de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España (AINE) y la Asociación del Clúster del Naval Gallego (Aclunaga), tuvo lugar en el Edificio de Sesiones del Puerto de Vigo que, como muchos lectores recordarán, está ubicado en las antiguas oficinas de Temasa (Telecomunicaciones

Marinas SA) constructora de los tres cableros que se construyeron en España; El Atlantica construido a finales de los 80 en Santander, el Teneo, y el Ibereus construidos por Astilleros H. J. Barreras en los 90, son un claro exponente de la capacidad de construcción de buques altamente especializados y tecnológicamente avanzados que ya tenían los astilleros de la Ría de Vigo en aquel entonces.

La jornada comenzó con un café de bienvenida, seguido de una breve introducción al encuentro a cargo de D. Jorge Dahl, decano territorial de AINE, D. Xoucas Cardama en representación de Aclunaga y D. Carlos Botana, presidente de la Autoridad Portuaria de Vigo y anfitrión del encuentro.

A continuación D. Rafael Suárez, Ingeniero Naval, exdirector de Navantia Ferrol y actualmente gerente de la Fundación Expo-nav, centró su presentación en el presente y el futuro del Museo de la Construcción Naval y sus iniciativas tendentes a convertir Expo-nav en el Museo de la Construcción Naval del Noroeste Peninsular, y en el que los astilleros de Vigo y Pontevedra, como reconocidos representantes a nivel nacional y mundial de la Construcción Naval Española, tienen mucho que aportar.

El encuentro continuó con una presentación, a cargo del CN D. Jamie Perales Garat, jefe del área de Mantenimiento del Arsenal de Ferrol. El CN Perales destacó la capacidad del Arsenal para llevar a cabo las labores de apoyo logístico y de mantenimiento de los buques de la Armada asignados al Arsenal de Ferrol y a su área de influencia, al objeto de asegurar su operatividad, disponibilidad y alistamiento para su participación en misiones individuales, con otras unidades de la Armada o en misiones internacionales.

Finalmente, el CNI D. José Luis López Fresco, jefe de la ICO del Arsenal de Ferrol, centró



su presentación en los programas de nuevas construcciones en curso o en proyecto, que se desarrollarán en Navantia Ferrol o en los astilleros privados de la Ría de Vigo o Pontevedra, así como en las capacidades de la ICO para afrontar esos retos y las oportunidades que los programas de nuevas construcciones, o aquellos tendentes al alargamiento de la vida útil o modernización de las unidades existentes, puede representar para la Industria Civil.

La clausura del encuentro corrió a cargo del Almirante Jefe del Arsenal de Ferrol, VA D. Gonzalo Villar Rodríguez, quien, tras agradecer la presencia a todos los asistentes, recalcó las capacidades del Arsenal de Ferrol como motor del desarrollo de la ciudad y las posibilidades de colaboración con la Industria Naval local que llegaran de la mano de la fuerte inversión prevista para los próximos años en la industria de defensa.

Para finalizar la jornada los asistentes se trasladaron a la Fragata F103 Blas de Lezo, para realizar una visita guiada a la misma, y disfrutar de un vino Español con las Islas Cíes y la Ría de Vigo como telón de fondo. Durante el vino tuvimos la ocasión de entregar al Comandante de la Blas de Lezo una metopa del COIN, como recuerdo y agradecimiento de la visita del CGES (Consello Galego de Enxeñerías) a la Fragata el 12 de abril de 2023.

# Ingenieros navales visitan la primera conexión eléctrica para ferris en Baleares



El compromiso con un futuro marítimo más sostenible ya es una realidad tangible en las Illes Balears. El pasado 19 de junio, la Delegación Territorial del Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos en Illes Balears (COIN – BALEARES) y la Delegación Territorial en Baleares de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España (AINE – BALEARES) organizaron una visita técnica clave. Ingenieros navales y oceánicos, estudiantes y profesionales del sector tuvieron la oportunidad de conocer de primera mano la primera conexión eléctrica a tierra (OPS por sus siglas en inglés, “Onshore Power Supply”) para ferrys instalada en el puerto de Palma, y presenciar la conexión del ferry de alta velocidad Eleanor Roosevelt de la naviera Baleària.

Este sistema, también conocido como «cold ironing», representa un avance crucial en el proceso de descarbonización de los puertos y del transporte marítimo en el archipiélago balear. Es el resultado de los últimos desarrollos tecnológicos diseñados para afron-

tar los desafíos que la sostenibilidad plantea tanto a la ingeniería naval y oceánica como a la ingeniería portuaria. Esta innovadora instalación lleva operando de forma regular desde mayo de 2024 en el puerto de Palma.

La terminal palmesana, en la isla de Mallorca, ha sido pionera al instalar el primer equipo de este tipo

para buques de línea regular que conectan la Península con un territorio Balear.

Otras importantes infraestructuras siguen el mismo camino, iniciado en Palma. El puerto de Barcelona ha replicado esta iniciativa, y desde principios de 2025, los ferris de la naviera Tramed del grupo Grimaldi, que cubren a diario la ruta entre la Ciudad Condal y Baleares, también disponen de conexión a la red eléctrica terrestre mediante un sistema OPS.

## La normativa europea impulsa el cambio

Este tipo de instalaciones no son una simple mejora local; responden a una directriz clara de la Unión Europea. El Reglamento (UE) 2023/1804 del Parlamento Europeo establece la obligatoriedad de que, a más tardar el 31 de diciembre de 2029, los puertos estén equipados para suministrar electricidad a los buques. Esto debe cubrir al menos el 90% del número total de escalas portuarias de buques de pasaje (cruceros), buques de

pasaje de transbordo rodado (ferrys), naves de gran velocidad y portacontenedores.

Este Reglamento obliga a ferris, cruceros y portacontenedores a adaptar sus sistemas para apagar sus motores y generadores mientras están atracados en puerto. Es un desafío considerable al que la ingeniería naval está dando una respuesta efectiva, no solo reduciendo las emisiones de gases contaminantes, sino también eliminando los ruidos molestos para los residentes cercanos a los muelles. Esta medida es parte integral de los esfuerzos de la UE para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y alcanzar la neutralidad climática para el año 2050.

### El papel de la ingeniería naval en este cambio

Detrás de estos avances tecnológicos y su implementación, se encuentra el trabajo fundamental de los ingenieros navales y oceánicos. Organismos como la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España (AINE) y el Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos (COIN) son pilares en este desarrollo.

La Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España (AINE), una entidad sin ánimo de lucro fundada en 1929, agrupa a sus miembros a través de once delegaciones territoriales. Entre sus principales fines, se encuentran el fortalecimiento de los lazos profesionales, la difusión del conocimiento, y la promoción de iniciativas e investigaciones en el ámbito de la ingeniería naval y oceánica. Su objetivo es fomentar y contribuir activamente al progreso del sector naval y marítimo en España.

Por su parte, el Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos es una corporación de derecho público, con personalidad jurídica propia, establecida al amparo del artículo

36 de la constitución española. Su existencia responde a la colegiación obligatoria para el ejercicio de la profesión de ingeniero naval y oceánico. Este organismo es responsable de la ordenación del ejercicio profesional, la defensa de los intereses de sus colegiados y el impulso de las técnicas propias de la profesión. Entre sus funciones esenciales, destacan: la representación que establezcan las leyes, la participación en organismos consultivos de la Administración, la organización de actividades y servicios de interés para los colegiados (profesionales, culturales, asistenciales y de previsión), y la realización de funciones encomendadas por las administraciones públicas.

La instalación de sistemas OPS en puertos como el de Palma, con su plan de inversiones para dotar a más muelles en los puertos de interés general de Baleares, es un claro ejemplo de cómo la colaboración entre la innovación tecnológica, la regulación europea y la experiencia de los profesionales de la ingeniería naval está transformando el sector marítimo hacia un futuro más limpio y sostenible. Estas iniciativas son cruciales para que las Illes Balears sigan siendo un referente marítimo, adaptándose a los nuevos retos ambientales y tecnológicos.

### La experiencia de vivir el proceso de conexión

El evento comenzó en las terrazas de Porto Pi, con vistas al puerto, iniciando como un acto de hermandad y networking entre ingenieros, estudiantes y profesionales del ramo. Uniéndose a los integrantes de la delegación el ingeniero naval Pablo García (director de nuevos proyectos del departamento de flota de Baleària) desplazado desde Madrid para exponer los múltiples avances y planes en sostenibilidad emprendidos por la naviera dianense, y más específicamente sobre el reto que supone la conexión eléctrica de los buques a puerto.



También se unieron a la visita para conocer de primera mano esta nueva tecnología técnicos del departamento de movilidad y del área de innovación del Ayuntamiento de Palma.

Desde allí paseamos hasta el control portuario del muelle de Paraires, donde recibió a la comitiva D. Jorge Martín (Jefe de Área de Explotación y Medio Ambiente de la Autoridad Portuaria de Baleares (APB)).

El técnico directivo de la Autoridad Portuaria de Baleares (APB) explicó como tomaron conciencia de que la conexión era perfectamente posible tras una visita a la base naval de Rota, donde los buques militares se conectan con total normalidad desde hace décadas. Visitando seguidamente otros puertos de Europa, aprendiendo las mejores técnicas.

Conocedores de la importancia de la cuestión, así como del reto que plantea, explicó el directivo, que logran ilusionar con el proyecto obteniendo las necesarias ayudas públicas para acometer la inversión e iniciar los trabajos, con la participación de Puertos del Estado, creando un esquema que premiará a las navieras que usen la conexión a tierra.

Para la realización del proyecto piloto, primeramente, se contó con la compañía Transmediterránea. Pero tras su absorción por parte de Naviera Armas y posterior desaparición de las rutas en los puertos de Baleares provocaron un parón en el desarrollo del proyecto. Baleària tomó el relevo en su compromiso de conexión diaria.

La empresa mallorquina Sampol Ingeniería y Obras, S.A. ha ejecutado en Paraires una subestación OPS (Onshore Power Supply) capaz de suministrar electricidad a los buques amarrados en dicho muelle. Los abastece a través de dos cometidas denominadas Junction Box. Una es de media tensión (1.600 kW – 2 MVA) y suministra a los buques de categoría ferry y la segunda,

de baja tensión (800 kV), a los fast ferry. Esta subestación convirtió al Puerto de Palma en el primer puerto comercial español preparado para conectar en media y baja tensión.

Un técnico especializado de la firma Sampol dio las oportunas explicaciones, presentando las particularidades técnicas de las instalaciones y equipamientos.

La estación de transformación recibe el suministro en alta, que en Baleares es de 15.000 V. A partir de ahí transforma a 400 V, generando la salida que Baleària utiliza (400 V, 50 Hz) y por otro lado, alimentando transformadores de frecuencia que producen 400 V, 60 Hz y tras otra etapa de transformación 11.000 V 60 Hz para otros barcos que visitan Palma.

Unas canalizaciones conectan la estación de transformación con dos puntos de suministro en el muelle.

Por último, se dispone de una grúa móvil que se puede situar junto a cualquiera de los dos puntos de suministro y dispone de un brazo telescópico con un sistema portacable que acerca el cable al punto de conexión en el ferri.

Tras la ejecución exitosa del proyecto piloto, el puerto tiene en la actualidad inversiones aprobadas para aumentar esos puntos de suministro, haciendo instalación también en los muelles comerciales. La ciudad está preparada para abastecer a ferris; para alimentar a uno o varios cruceros aún hay trabajo que hacer.

Siguiendo con la visita, el ferry se acercó a puerto y gracias a sus jets maniobró y atracó rápidamente. Tiene instalados dos jets por patín y un sistema de gobierno que a decir del Capitán le permite un control rápido y seguro y reaccionar casi instantáneamente a rachas de viento o circunstancias cambiantes, ayudado también por las hélices de maniobra portuaria que se instalaron en su primer paso por dique.



Mientras los viajeros y transportistas profesionales desembarcaban desando llegar a sus casas, la primer oficial del buque agrupó al grupo de ingenieros visitantes y parando momentáneamente el desembarque los invitó a subir a bordo.

Subiendo troncos de escaleras y cruzamos salones donde un equipo sorprendentemente animado, para las horas que eran, empezaba a limpiar los espacios. En el puente esperaba el Capitán, para enseñarnos cómo realiza el atraque y el sistema gobierno equipado con cámaras que le permite visión global en un buque rápido, desprovisto, por tanto, de alerones y la visibilidad que proporcionan. Pasó luego el testigo a su Jefe de Máquinas que mostró el esquema de auxiliares, dos a gas y dos diésel que constituyen la planta eléctrica del buque. Habiendo acabado el desembarque, ya se encontraba en operación sólo uno de los diésel, el del patín del costado cercano al atraque, preparado para la maniobra de desconexión.

Explicó como ejecutarían la conexión a tierra que luego pasaron a mostrarnos. Corredores y escaleras hasta llegar a la popa e iniciamos el proceso que es ejecutado en su totalidad por personal de Baleària.

Primero, checklist de seguridad, luego se conecta la grúa porta cables a la toma del

muelle usando 2 de las 5 mangueras disponibles, que se usarían para mayores potencias. Tras eso y con control remoto se acciona la grúa portacables extendiendo el brazo telescópico hasta la estación de popa babor del ferry donde unos marineros enchufaron y aseguraron los conectores.

Luego, desde el PLC de la estación de transformación dieron tensión al conjunto. Vuelta a bordo, a accionar los interruptores que conectan la estación de popa babor con el bus de conexión a tierra. Y último paso, ahora desde un PLC en la misma popa, maniobra de sincronización de fases del generador del ferry con la corriente de tierra, conexión del bus y traspaso de carga desde el generador a tierra. Una vez completada la transferencia de la carga, apertura del bus del auxiliar y puesta en standby hasta la siguiente mañana.

Capitán y Jefe de Máquinas continuaron relatándonos aspectos de su día a día hasta que el sueño y cansancio generalizado impusieron su mandato. Los visitantes iniciáramos el siguiente día, mayoritariamente a las 8, en nuestros puestos de trabajo, pero la tripulación estaría zarpando del puerto a esa misma hora, algunos de ellos a las 6:30 ya estarían arrancando generadores y preparándose para desconectarse de la corriente de tierra. Por ello, su acogida tiene aún más valor.

El equipo de AINE y COIN agradecen a Baleària, APB y Sampol sus amables explicaciones.

Y a los compañeros ingenieros, profesionales del ramo y estudiantes, que se sumaran a esta visita, que nos ha mostrado avances reales hacia la descarbonización del puerto de Palma y hacia una operación con menos ruido.

# La DT en Madrid celebra el VIII Torneo de Pádel

El pasado domingo 22 de junio se celebró la octava edición del torneo de pádel de ingenieros navales y oceánicos en la Ciudad de la Raqueta.

El torneo, formato pozo como la anterior edición, estuvo compuesto por 14 parejas de distintas promociones de ingenieros navales.

Es una actividad, que además de hacer deporte se pasa momentos muy divertidos, además de conocer a nuevos compañeros que trabajan en distintos ámbitos profesionales.

Fueron dos horas de partidos muy disputados cambiando de pista cada 15 minutos.



Finalmente, los ganadores fueron Cristina Mateos y Víctor Guerrero.

Desde la Delegación Territorial de Madrid, queremos agradecer de nuevo a todos los colegiados su asistencia y esperamos que este torneo siga teniendo tan buena acogida en futuras ediciones.

Experts in

## Drivetrain Vibrations Acoustics

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



# VULKAN

**VULKAN Española**

Avda. Montes de Oca, 19 - Nave 7 | 28703 SS Reyes (Madrid)  
Phone +34 91 359 09 71 | [es.info@vulkan.com](mailto:es.info@vulkan.com)



# Construcción naval: sostenibilidad, eficiencia y tecnología de la mano de SIKA



**Cristina Calvo García,**  
Sales Manager  
Transportation  
Sika España

En un contexto industrial cada vez más exigente, donde los retos medioambientales, normativos y económicos obligan a transformar procesos y productos, el sector de la construcción naval se encuentra ante una oportunidad única para evolucionar. Es aquí donde, empresas como Sika, se convierten en un gran aliado.

Las innovaciones tecnológicas de Sika están redefiniendo los estándares del diseño y de la habilitación a bordo, optimizando tanto el

rendimiento como el impacto ambiental de los buques.

## La construcción naval ante nuevos desafíos

La industria naval enfrenta retos globales que ya todos conocemos: reducción de emisiones, eficiencia energética, mejora del confort a bordo y cumplimiento normativo. A ello, se le añade la presión por reducir tiempos y costes de construcción, incorporar nuevos materiales y garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

Se requieren soluciones materiales integradas que permitan responder a estas exigencias, sin comprometer prestaciones estructurales ni operativas. En este escenario, Sika



ofrece un porfolio completo de tecnologías aplicadas a la construcción naval, tanto en nuevas construcciones como en refits.

### Sistema de piso flotante ultraligero: eficiencia y sostenibilidad



Sikafloor® Marine Ultralight Floating Floor

<https://video.sika.com/view/63GAjqNWWEXcEn9xS-jK7ec?start=20>

Una de las soluciones más representativas de esta transformación es el Sikafloor® Marine Ultralight Floating Floor, un sistema de piso flotante que reduce hasta 24 kg/m<sup>2</sup> respecto a su equivalente convencional.

Este aligeramiento contribuye directamente a una disminución del desplazamiento del buque, con el siguiente ahorro de combustible y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Desde el punto de vista técnico, este sistema presenta:

- Certificación OMI A-60 contra incendios
- Prestaciones acústicas optimizadas (> RW 60 dB)
- Alta resistencia a cargas estáticas (> 2500 kg/m<sup>2</sup>)
- Formato modular, prefabricado y de fácil instalación a bordo.

En un estudio independiente llevado a cabo por GSR Service GmbH, se hizo la comparativa de lo que se podría haber conseguido de sustituir los pisos flotantes de acero por la solución Sikafloor® Marine UltraLight Floating Floor en el crucero Costa Smeralda (2019) que a fecha del estudio, era el 6º crucero más grande del mundo.

Las conclusiones del estudio fueron que, la sustitución, habría reducido el consumo de combustible en aproximadamente 1 tonelada diaria, lo que equivale a 560 toneladas de CO<sub>2</sub> menos al año, con un ahorro energético estimado de 1,3 M€/año y un valor prospectivo de ciclo de vida de 45 M€.



Comparado con suelos flotantes de acero ( $\sim 46,3 \text{ kg/m}^2$ ), la versión ultraligera pesa solo  $14,85 \text{ kg/m}^2$ , reduciendo hasta  $33 \text{ kg/m}^2$ , manteniendo un aislamiento acústico equivalente. En el crucero Costa Smeralda, la sustitución por este sistema redujo el consumo de combustible en aproximadamente 1 tonelada diaria, lo que equivale a 560 toneladas de  $\text{CO}_2$  menos al año, con un ahorro energético estimado de 1,3 M CHF/año y un valor prospectivo de ciclo de vida de 45 M CHF.

“Hemos sido pioneros e iniciado una revolución con el sistema UltraLight de piso flotante y es que, en Sika, siempre nos ha gustado poner en valor que, lo que hay bajo la cubierta que pisas, ya sea de vinilo, madera o moqueta, realmente, es lo que más importa” – comenta Cristina Calvo, responsable del mercado marino de Sika España.

### **Acristalamiento estructural marino: tecnología de vanguardia**

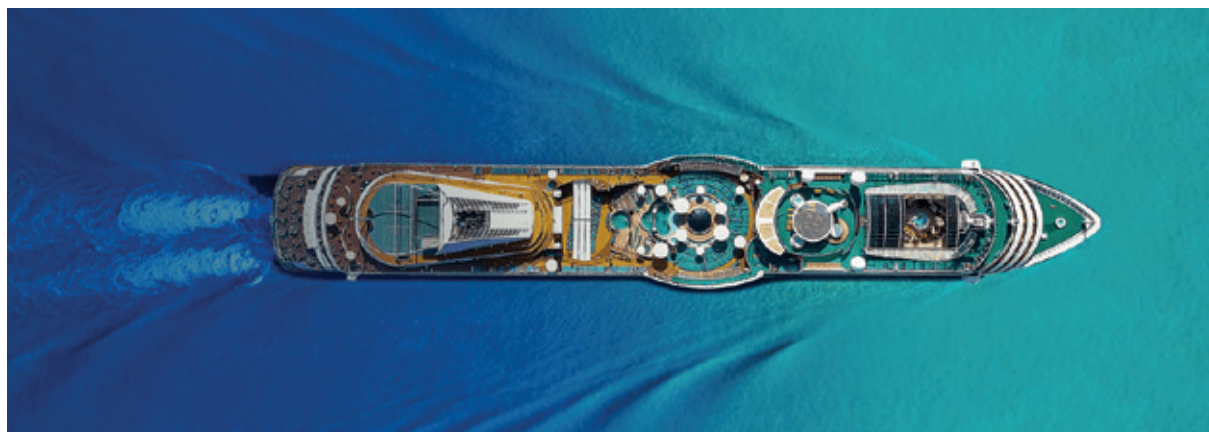
En el mercado de la construcción naval en España, Sika es conocido por sus sistemas acústicos de pavimentos y pisos visco-flotantes, pero también, sin duda, porque lleva años usándose en los astilleros para el acristalamiento de los diferentes barcos.

En este ámbito, Sika lidera el mercado con soluciones adaptadas a las exigencias de



diseño, seguridad y durabilidad. Las tecnologías clave son tres, dos de ellas muy conocidas, y una nueva que está revolucionando el sector en astilleros de yates que producen en serie, el Sikaflex®-268 PowerCure:

- Sikaflex®-296: adhesivo de poliuretano para acristalamiento directo estructural.
- Sikaflex®-295 UV: resistencia UV superior y excelente acabado estético.
- Sikaflex®-268 PowerCure: adhesivo de curado acelerado, gracias a la tecnología PowerCure que es ideal para la producción



en serie y la reducción de tiempos en el astillero gracias a su rápida manipulación y fuerza de adhesión inicial.

### Soporte integral y colaboración sectorial

Pero, pese a todo lo que hemos hablado, lo más importante, sin duda es el hecho de que Sika proporciona soporte técnico local y formación especializada. Trabaja en estrecha colaboración con astilleros, estudios de ingeniería y habilitadores, adaptando sus soluciones a cada proyecto y garantizando la conformidad con las normativas internacionales.

### Conclusión

La transición hacia una construcción naval más sostenible y tecnificada es una realidad. La integración de materiales avanzados como los de Sika permite mejorar la eficiencia estructural, reducir la huella ambiental y responder a las exigencias del mercado.

Estas innovaciones abren nuevas posibilidades de diseño y optimización operativa para los ingenieros navales.

“No hay que elegir entre eficiencia y sostenibilidad. Con Sika, ambas van unidas” – Cristina Calvo.

## Astilleros Cardama pone la quilla del primero de los OPV para Uruguay



A finales de 2023, Astilleros Cardama y el Ministerio de Defensa Nacional de Uruguay, firmaban el contrato para la construcción de dos patrulleras oceánicas (OPV87, siglas en inglés de Offshore Patrol Vessel) por valor de 82.372.000 M€. Se trata de uno de los mayores contratos de barcos militares firmados por el astillero privado.

el subsecretario Rivera Elgue, el comandante de la Armada Nacional, almirante Jorge Wilson, el director general del ministerio, Fabián Martínez, el director de Recursos Financieros del ministerio Damián Galó, José Delpiazzo, director del estudio jurídico, que trabajó en la elaboración del contrato y contralmirantes de la Armada Nacional.

El contrato fue firmado por el ministro de Defensa Javier García y el presidente de Astilleros Cardama, Mario Cardama, en el marco de una reunión que contó con la presencia del embajador de España en Uruguay Santiago Jiménez Martín,



El pasado mes de mayo el astillero ponía la quilla del primero de estos patrulleros. Su construcción n.º 250, es un buque oceánico de vigilancia e intervención marítima. Sus capacidades principales son: defensa costera, protección de fronteras marítimas y de la zona económica exclusiva nacional, lucha contra el narcotráfico, contrabando y piratería, inspección pesquera, operaciones de búsqueda y rescate, control de desastres marinos e intervención en siniestros en alta mar.

### Otras construcciones

A mediados de mayo, el astillero botaba el multipropósito de vigilancia que construye para Haute Autorité Chargée de la Sécurité Maritime (Hassmar), adscrita a la Presidencia de la República de Senegal. Este buque ha sido bautizado con el nombre de *Tekroul*, y su entrega está prevista para los próximos meses. *Tekroul* tiene 50 m de eslora, 12,2 m de manga y 14,5 kn. Su diseño

#### Características principales:

Eslora máxima	86,75 m
Eslora entre perpendiculares	77,25 m
Manga máxima	12,20 m
Puntal a la cubierta principal	4,80 m
Puntal a la cubierta superior	7,50 m
Calado de diseño	3,60 m
Desplazamiento a plena carga	1.700 t, aprox.
Tripulación	más de 90 personas (64 personas dotación estándar + 25 personas dotación adicional)
Velocidad máxima	21 kn al calado de diseño
Autonomía	más de 7.000 millas náuticas a 14 kn
<b>Capacidades</b>	
Combustible (MDO)	350 m <sup>3</sup>
Agua dulce	40 m <sup>3</sup>
<b>Artillería</b>	
Cañón principal	30 mm
Ametralladoras	2 x 12 mm
Sistema de gestión de combate	TEMA

lleva la firma viguesa CNV Naval Architects. Tiene además pendiente activar el contrato del portacontenedores de 63 m de eslora para Angola.

## Fragatas F-110: un nuevo estándar en buques escolta polivalentes

Las fragatas F-110 representan el futuro de la escolta naval, destacando por su versatilidad, su avanzada tecnología y su capacidad para enfrentar los desafíos modernos.

2025 está siendo un año significativo para el programa, en cuanto a los hitos que se están

desarrollando, destacando la botadura de la primera unidad, la F-111 *Bonifaz*, que tendrá lugar en el astillero de Ferrol a la vuelta de las vacaciones estivales. Las fragatas F-110 de la Armada son buques de escolta polivalentes, con capacidades antiaéreas, antisuperficie y antisubmarinas para desempeñar





sus funciones de protección de fuerzas y proyección del poder naval.

Operarán en combinación con otras unidades, y son plataformas versátiles que también pueden realizar funciones relacionadas con la seguridad marítima y el apoyo a las autoridades civiles.

El programa de las fragatas F-110 es mucho más que un proyecto naval; representa una auténtica palanca de transformación digital para Navantia, la empresa encargada de su desarrollo. Este compromiso con la innovación incluye la implementación de conceptos como una Fábrica de Bloques completamente digitalizada y un Centro de Excelencia del Gemelo Digital, que permite optimizar procesos de diseño, construcción y mantenimiento mediante simulaciones virtuales. Además, la división de Navantia Sistemas aporta al programa de las F-110 una amplia gama de sistemas avanzados, entre los que destacan:

- Sistema Integrado de Control de Plataforma: Diseñado para gestionar y supervisar el funcionamiento de los buques.
- Sistema de Ciberseguridad: Garantiza la protección frente a amenazas digitales, un aspecto crucial en la guerra moderna.
- Sistema de combate SCOMBA: Un sistema de gestión de combate altamente sofisticado, desarrollado para integrar y coordinar las distintas capacidades defensivas y ofensivas de las fragatas.

Otra innovación notable es el Sistema de Servicios Integrados (SSI), que comprende numerosos nodos inteligentes distribuidos a lo largo del barco, todos interconectados. Se podría decir que se trata de una red neuronal. Cada nodo ofrece varios servicios, incluyendo iluminación, sistemas de megafonía, circuito cerrado de televisión, entradas sensoriales y conectividad inalámbrica a una amplia gama de dispositivos electrónicos, como teléfonos,

tabletas y tarjetas de identificación personal. Estos servicios permiten el desarrollo de una variedad de aplicaciones tanto para tareas operativas como diarias. La capacidad del SSI, como infraestructura de base para las comunicaciones y la integración de diferentes servicios de usuario, representa una mejora adicional junto con una reducción en volumen, peso y una optimización del cableado.

### Estado del programa F-110

El programa se encuentra a pleno rendimiento en el astillero de Ferrol y alcanzando con éxito todos los hitos clave según lo planificado y con cierto adelanto con respecto al calendario fijado.

La fragata F-111 está en la grada y su construcción alcanza ya el 90%. Su botadura está programada para el mes de septiembre. El inicio de las pruebas de plataforma y la activación del sistema de combate para la primera unidad, F-111, están programados para llevarse a cabo durante 2026 y 2027, mientras que las pruebas de amarre y las pruebas de mar están programadas para 2027, antes de su entrega en 2028. Así mismo, en la grada contigua se puso la quilla de la F-112 *Roger de Lauria*, el pasado mes de abril, fecha en la que también se produjo el corte de la primera chapa de la tercera fragata, F-113 *Menéndez de Avilés*.

Los hitos correspondientes de cada uno de los buques restantes hasta la fragata F-115 se producirán aproximadamente 1 año más tarde que los de cada unidad anterior.

La próxima puesta en marcha de la Fábrica Digital de Bloques acelerará aún más la producción para acometer un programa que no sólo enriquece las capacidades de la Armada, sino que también sitúa a Navantia como líder en innovación tecnológica dentro de la industria naval internacional.

# Gondán entrega del buque *Austri Enabler*



El pasado 11 de junio Gondán hacía entrega del buque *Austri Enabler*, Commissioning Service Operations Vessel, el último de una serie de seis (6) CSOVs fabricados para el armador noruego Edda Wind ASA.

El *Austri Enabler*, diseñado por la empresa noruega Salt Ship Design, forma parte de una nueva generación de embarcaciones concebidas para marcar un antes y un después en el sector de la energía eólica marina. Junto con sus unidades hermanas, ha sido desarrollado con el propósito de optimizar al máximo las operaciones en parques eólicos offshore, actuando como buque de apoyo principal durante los trabajos de puesta en marcha y mantenimiento de aerogeneradores en alta mar.

Con una eslora de 88 metros y una manga de 19,7 metros, esta embarcación está equi-

pada con tecnología de vanguardia tanto en eficiencia operativa como en sostenibilidad.

Puede alojar hasta 120 personas —97 técnicos y 23 tripulantes— y dispone de las últimas soluciones en automatización y asistencia técnica: una grúa offshore con compensación 3D, una pasarela activa con alcance de 30 metros, un ascensor integrado con capacidad para 26 personas y un helipuerto de 21 metros de diámetro.

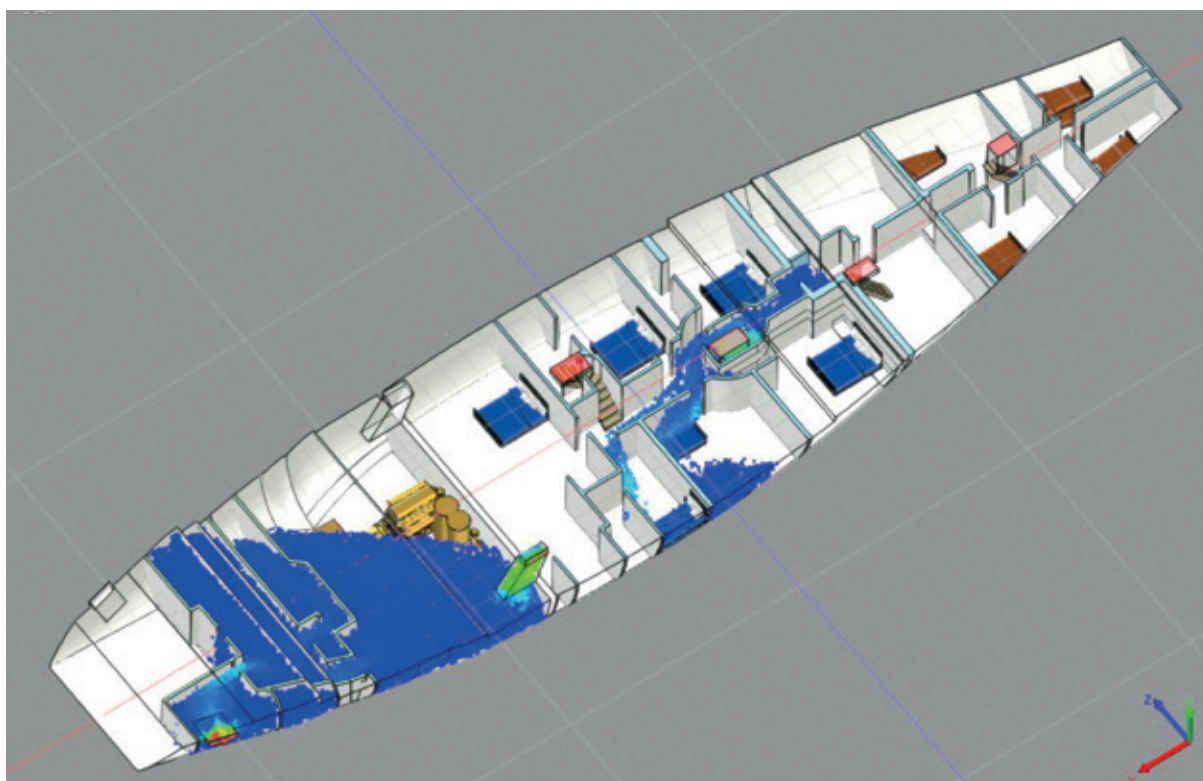
Su innovador sistema de propulsión mediante hélices cicloidaes impulsadas por motores de imanes permanentes, junto con la preparación para operar con tecnología de hidrógeno líquido portador (LOHC), lo posiciona como una plataforma lista para alcanzar operaciones totalmente libres de emisiones, alineada con los más altos estándares de sostenibilidad del sector.

# Large sailing yachts bare mast CFD heeling analysis

**Part two:**  
dynamics of the heeling and flooding

Guillermo Gefaell Chamochín, MSC NA&ME

Juan Manuel López Vázquez, MM & NA.



## Index

D.- Calibrated floodable areas

F.- Knockdown dynamics

G.- Flooding

G.1.- Flooding points and Angles

G.2.- Hydrostatics upright and heeled

G.3.- Deck edge lines and their well

G.4.- Flooding as a function of time

G.4.1.- Visualization of the immersion of openings at 45, 60 and 85 degrees of heel

Summarizing

Large Sailin Yachts bare mast CFD heeling analysis conclusion

Suggestions

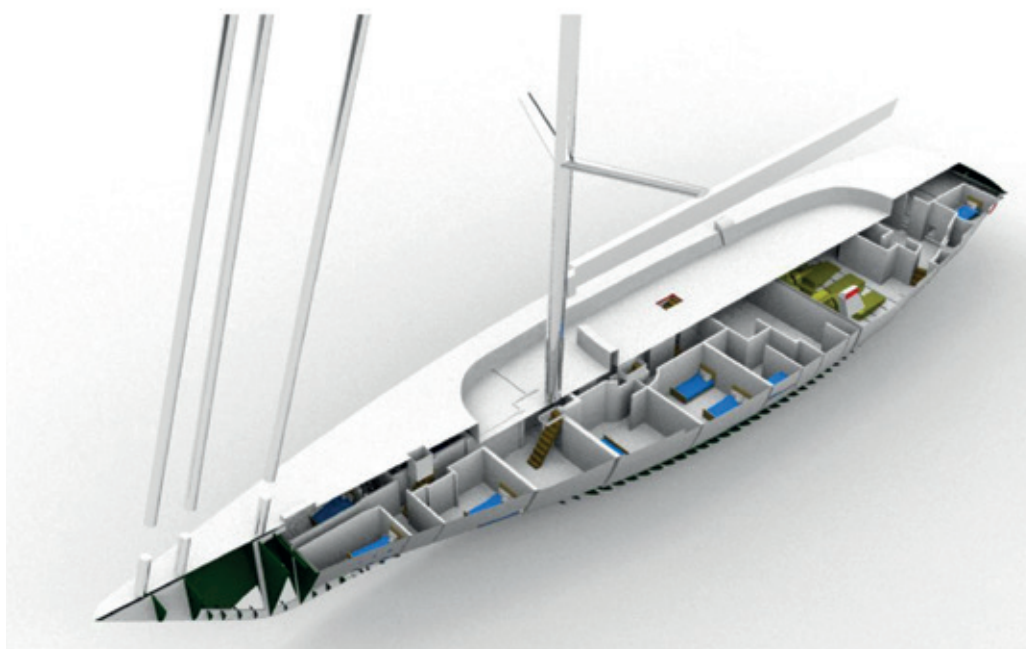


Image 2.1

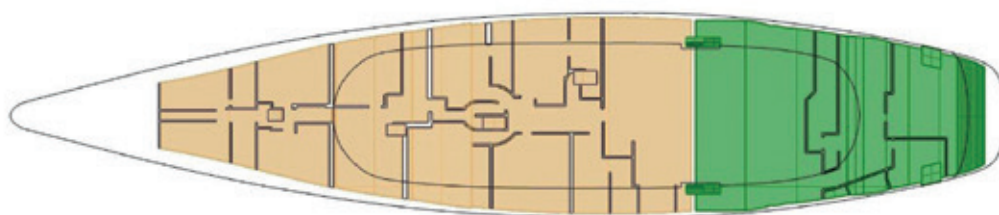


Image 2.2

Green: Engine Room and Lazaretto  
Orange: Cabins and crew fitting out

## D. Calibrated floodable areas

We now model and calibrate the floodable spaces under the main deck, with a distribution with lots of divisions, like the ones this kind of vessels have.

## F. Knockdown dynamics

Masses distribution.

We are assuming a Motoring load condition, with a total mass of:

Disp.	543.000	Kg
	5.325.011	N

We divide the total displacement mass into four components: a) Hull with its furniture

and equipment; b) mast; c) deckhouse and d) ballast. The origin of coordinates has been adopted to coincide with the center of gravity of the ship in the cargo situation considered. All moments of inertia are calculated with respect to that point. The hull has been divided according to the assumed layout bulkheads and the moment of inertia of the mast, deckhouse and hull surfaces have been calculated, assigning mass to the surfaces until they coincide with the weight of the element, with respect to the origin of coordinates that we have defined. The ballast has been calculated as solid or hollow depending on its position in the daggerboard box.

We then calculate the x, y, z components of their moments of inertia and from there



Estimated Mass Moments of Inertia (CG fixed to World coordinates system)								
			Roll	Pitch	Yaw	Roll	Pitch	Yaw
ITEM	Mass Kg	Ix kg m <sup>2</sup>	Iy kg m <sup>2</sup>	Iz kg m <sup>2</sup>	Rx m	Ry m	Rz m	
HULL	331400,0	4605894,3	59773374,2	61918368,1	3,73	13,43	13,67	
MAST	22000,0	28621846,9	31941317,9	3380806,4	36,07	38,10	12,40	
DECKHOUSE	100000,0	1639129,0	7660846,8	7853107,3	4,05	8,75	8,86	
BALLAST	90000,0	1396971,5	4631279,9	4395618,1	3,94	7,17	6,99	
TOT	543400,0	36263841,7	104006818,8	77547899,9	8,17	13,83	11,95	

Table 2.1

euX DEG	euX RADS	Gzo	Mx Ix	a rad/s <sup>2</sup>	d(t)	t	W rad/s
0,41	0,0072	0,000	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5,41	0,0944	0,182	970197,2	0,0268	1,8061	1,8061	2,7685
10,41	0,1817	0,361	1924402,2	0,0531	1,2824	3,0884	3,8990
15,41	0,2690	0,528	2814638,1	0,0776	1,0604	4,1488	4,7154
20,41	0,3562	0,671	3576935,9	0,0986	0,9406	5,0894	5,3158
25,41	0,4435	0,788	4200634,2	0,1158	0,8680	5,9573	5,7606
30,41	0,5308	0,854	4552463,9	0,1255	0,8338	6,7911	5,9970
35,41	0,6180	0,846	4509817,9	0,1244	0,8377	7,6288	5,9688
40,41	0,7053	0,789	4205964,9	0,1160	0,8674	8,4962	5,7642
45,41	0,7926	0,703	3747520,1	0,1033	0,9189	9,4151	5,4410
50,41	0,8798	0,597	3182460,1	0,0878	0,9972	10,4123	5,0141
55,41	0,9671	0,489	2606738,7	0,0719	1,1018	11,5142	4,5379
60,41	1,0544	0,387	2063001,8	0,0569	1,2385	12,7527	4,0370
65,41	1,1416	0,302	1609887,7	0,0444	1,4020	14,1547	3,5662
70,41	1,2289	0,218	1162104,4	0,0320	1,6502	15,8049	3,0299
75,41	1,3162	0,117	623698,2	0,0172	2,2525	18,0575	2,2197
80,41	1,4034	-0,013	-71412,8	0,0020	2,1019	20,1594	2,2156
85,41	1,4907	-0,156	-831123,8	0,0229	1,9513	22,1107	2,1709
90,41	1,5780	-0,298	-1590834,8	0,0439	1,4104	23,5212	2,1090

Table 2.2

we derive the movements of Roll, Pitch and Yaw, using the formulas:

- [ 1 ]  $w = \Delta(B) / \Delta(t)$   
 $a = \Delta(W) / \Delta(t)$   
[ 2 ]  $a = [\Delta(B) / \Delta(t)] / \Delta(t) \rightarrow a = Mx / Ix$   
 $a = \Delta(B) / \Delta(t)^2$   
[ 3 ]  $\Delta(t)^2 = \Delta(B) / a$   $W = \Delta(B) / \Delta(t)$

Where:

B= angle  
a = angular acceleration  
W = angular velocity

Masses, moments of inertia and movements. See Table 2.1.

From here we calculate how the heel and angular velocity vary as a function of time. See Table 2.2.

## G. Flooding

Considering the results obtained in the study of the knocking down process by the action of the wind, now we study the possible flooding through vents and staircase, leading to the final sinking.

### G.1. Flooding points and angles

Although these ships have a variety of openings that are considered flood points, we are going to consider only the three that usually have the largest area, which are:

- Aft Lazaretto ventilation openings (port and starboard)
- Engine Room ventilation/extraction openings (port and starboard)

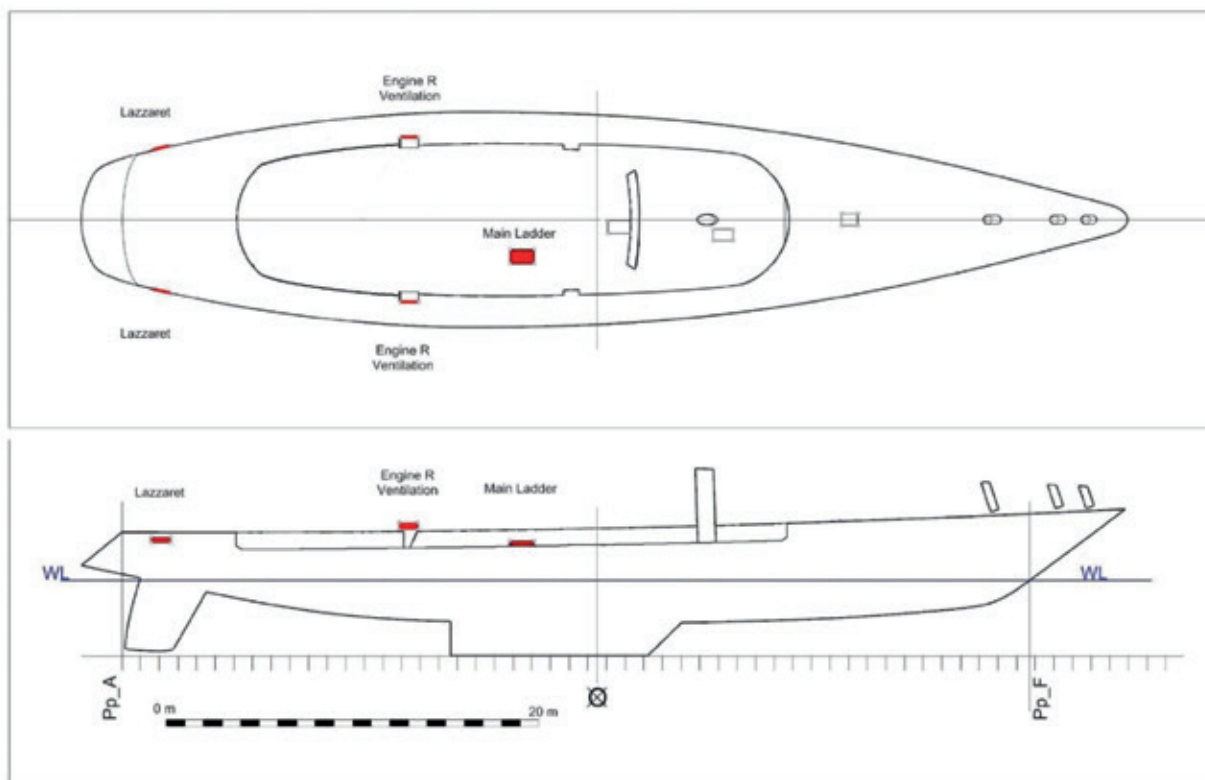


Image 2.3

- Main staircase down to the lower deck (inside the deckhouse towards the starboard side)

The coordinates of the corners of these openings are:

	Long.	Transv.	Vertical
LAZZ F UP	2,35	3,944	6,264
LAZZ F DN	2,35	3,922	5,976
LAZZ A U	1,25	3,663	6,264
LAZZ A DN	1,25	3,625	5,976
Eng ROOM F UP	15,37	4,376	7,023
Eng ROOM F DN	15,37	4,376	6,677
Eng ROOM A UP	14,39	4,376	7,023
Eng ROOM A DN	14,39	4,376	6,677
Centr ladder F P	22,57	1,730	5,689
Centr ladder F S	22,57	2,500	5,689
Centr ladder A P	21,75	1,730	5,675
Centr ladder A S	21,75	2,500	5,675
Deck well	22,15	4,075	6,757
WL Aft	2,46	0,000	4,050
WL Fore	48,51941	0,000	4,050

Table 2.3

Codes:

A Aft  
F Fore  
P Port  
S Starboard

The sizes considered for such openings are as follows (measured in meters and m<sup>2</sup>):

Opening	Long	Vert	Area
LAZZARET	1,10	0,29	0,32
Eng ROOM Vent	0,98	0,35	0,34
	Long	Trans	Area
Central Leader	0,82	1,62	1,33

Table 2.4

## G.2.- Hydrostatics upright And heeled

We calculate the upright and heeled hydrostatics for the hull model we have built.

UPRIGHT MODEL HIDROSTATICS							
Heel deg	0	0	0	0	0	0	0
Draft	4.04	4.10	4.23	4.38	4.62	4.87	4.99
Displacement t	543.40	563.40	612.30	666.07	757.34	848.61	894.02
Draft at FP m	4.04	4.10	4.23	4.38	4.62	4.87	4.99
Draft at AP m	4.04	4.10	4.23	4.38	4.62	4.87	4.99
LCB	22.73	22.70	22.62	22.52	22.36	22.20	22.12
TCB m	0.000	0	0	0	0	0	0
VCB m	3.11	3.15	3.23	3.31	3.46	3.61	3.68
LCF	21.92	21.87	21.75	21.62	21.41	21.20	21.10
KMt m	7.76	7.71	7.59	7.46	7.24	7.01	6.90
KML m	79.40	78.85	77.65	76.21	73.75	71.30	70.08
TPc	3.59	3.64	3.73	3.83	3.99	4.15	4.23
MTc tonne.m	8.41	8.65	9.26	9.91	11.02	12.13	12.68

Table 2.5

HEELED MODEL HIDROSTATICS							
Heel deg	45	60	75	80	85	89	90
Draft	3.06	2.14	0.36	-0.48	-1.31	-2.73	n/a
Displacement t	543.30	563.40	612.30	666.10	757.40	848.60	897.60
Draft at FP m	3.86	3.35	0.78	-3.58	-19.92	n/a	n/a
Draft at AP m	2.26	0.93	-0.06	2.63	17.31	n/a	n/a
Immersed amids	3.49	3.75	4.10	4.43	4.93	5.45	5.74
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	23.28	23.16	22.01	20.80	19.29	18.24	18.60
TCB m	2.681	2.873	2.875	2.722	2.397	2.032	1.924
VCB m	4.06	4.38	4.66	4.70	4.71	4.71	4.71
LCF	24.26	25.00	24.55	23.08	22.95	22.85	23.47
KMt	5.39	5.00	4.97	4.88	4.77	4.72	4.71
KML	57.29	41.00	20.05	14.08	7.99	5.20	4.71
TPc	2.83	2.54	2.40	2.33	2.12	1.95	2.00
MTc	8.09	8.13	7.11	7.01	5.48	4.53	4.81

Table 2.6

Note: The draft in the perpendiculars increases or decreases greatly with high lists because the perpendiculars tilt with the boat.

## G.3.- Deck edge and well lines

We now define the coordinates of the points on the edge of the deck and those of the edge

of the well that houses the deckhouse and the terraces. The red marks are the positions of the flooding openings considered.

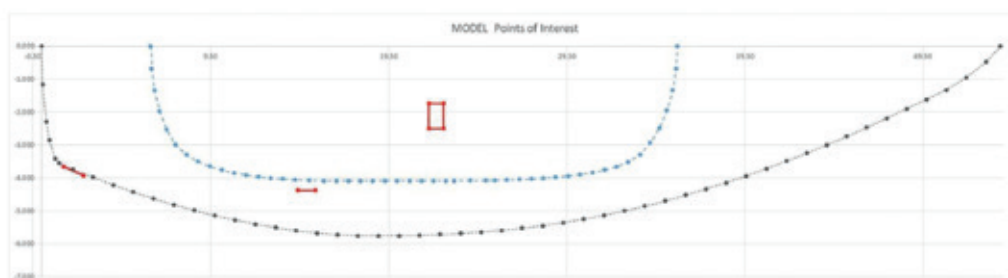


Image 2.4

Coordinates sample (just a few points):

Deck well Line			Deck Line		
L	T	V	L	T	V
6.136	0.000	6.078	0.000	0.000	6.624
6.199	-0.727	6.078	0.065	-1.152	6.624
6.391	-1.432	6.080	0.262	-2.288	6.623
6.708	-2.089	6.082	0.433	-2.842	6.623
6.967	-2.5	6.083	0.762	-3.415	6.623
6.967	-4.032	6.084	0.962	-3.539	6.623
8.123	-4.475	6.095	1.764	-3.727	6.621
Etc...	----	----	Etc.	---	---

With these data we build the curves of the motions as a function of time:

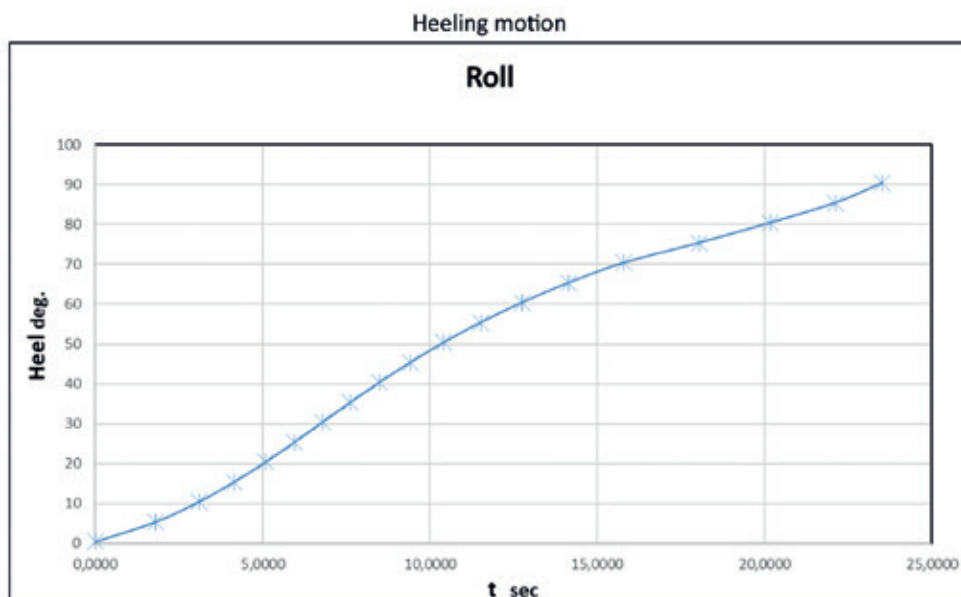


Image 2.5

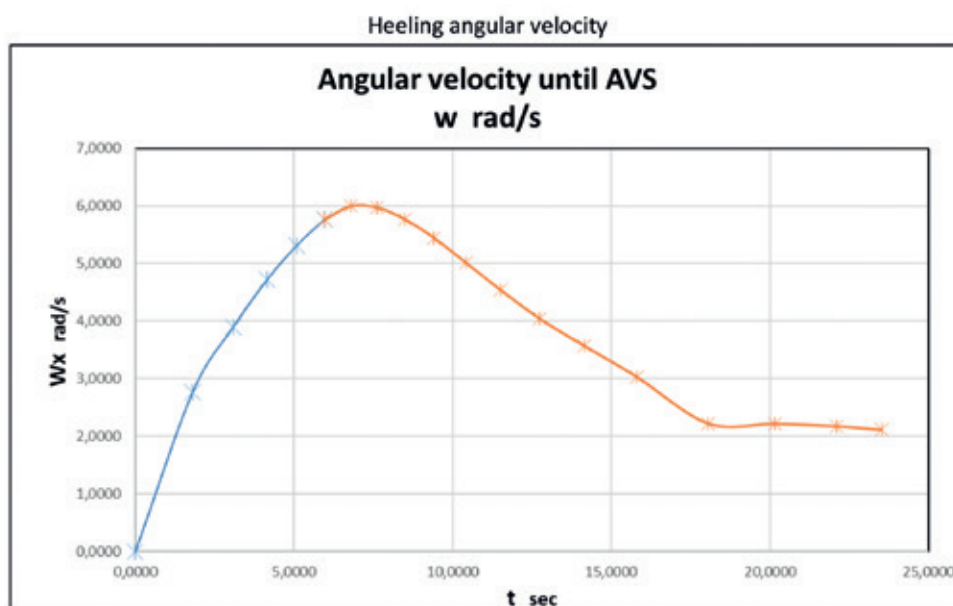


Image 2.6



And the vertical movement and trimming

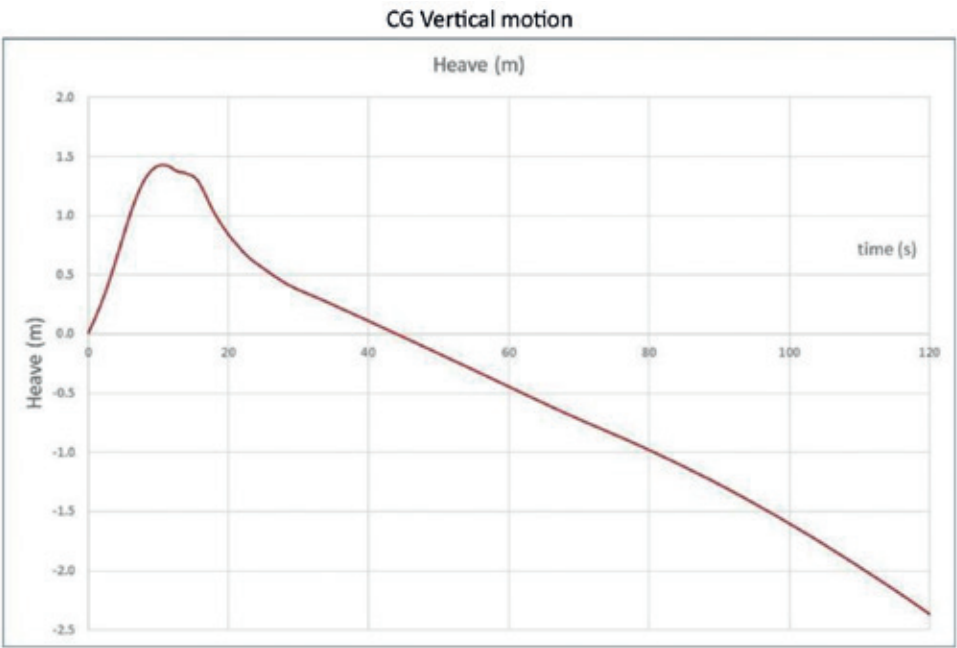


Image 2.7

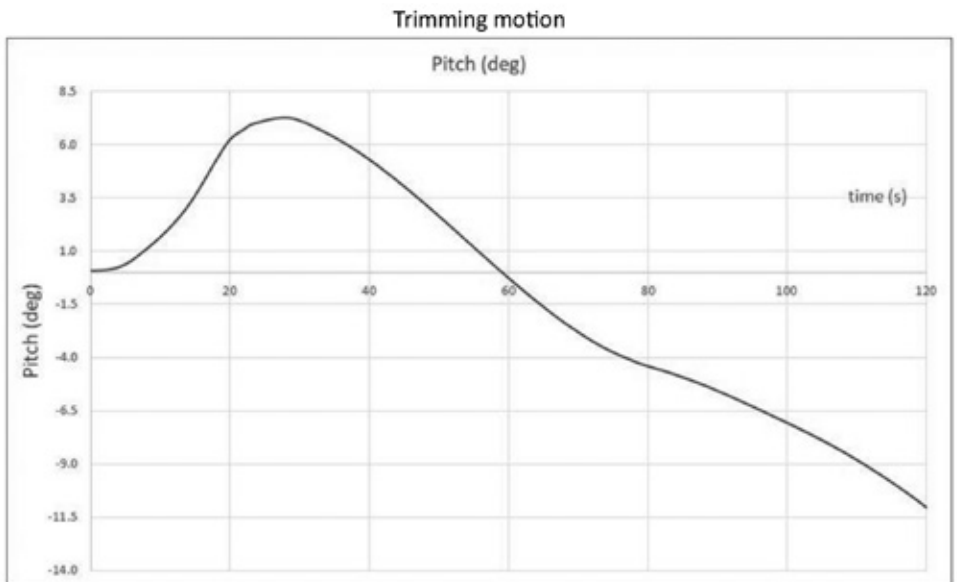


Image 2.8

The knocking down process is very fast. The ship heels up to 90 degrees in 23.4 seconds, with an increasing angular velocity in the first 7 seconds and then slowly descending to approximately 18 seconds, at which point, when the mast touches the water, it continues to list at an almost constant angular velocity of just over two radians/second until 23.4 seconds. In the process of knocking down and sinking, the center of gravity first slightly rises and then falls as the heel and flooding progress. Meanwhile, the boat trims astern and then recovers until the

center plane is almost horizontal when the boat is completely knocked down.

#### G.4. Flooding as a function of time

The measurements and areas of the considered openings are, as we have already seen:

Opening	Long	Vert	Area
LAZZARET	1,10	0,29	0,32
Eng ROOM Vent	0,98	0,35	0,34
	Long	Trans	Area
Central Leader	0,82	1,62	1,33

Table 2.7

We now calculate the tons of water that enter per second through each of them, depending on the time and the heel. With the values found the following table has been constructed:

Flooding through the openings as a function of time

Time sec	Heel Deg	LAZZ. (1)		ER VENT. (2)		TOT 1 + 2 Flood mT	CENTR. STAIR m²	TOTAL ACCOM. mT	FLOODING CONDITION		
		Area m²	Flood mT/s	Area m²	Flood mT/s				DISPLZ mT	VCG m	LCG m
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	543,00	5,341	22,860
1,7	5,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	543,00	5,341	22,860
3,0	10,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	543,00	5,341	22,860
4,1	15,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	543,00	5,341	22,860
5,0	20,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	543,00	5,341	22,860
5,9	25,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	543,00	5,341	22,860
6,7	30,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	543,00	5,341	22,860
7,6	35,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	543,00	5,341	22,860
8,4	40,00	0,11	0,062	0,07	0,032	0,095	0,00	0,000	543,49	5,341	22,859
9,3	45,00	0,32	0,377	0,34	0,402	0,779	0,00	0,000	544,18	5,338	22,848
10,3	50,00	0,32	0,815	0,34	0,939	1,754	0,00	0,000	545,15	5,334	22,832
11,4	55,00	0,32	1,386	0,34	1,648	3,034	0,00	0,000	546,43	5,329	22,811
12,6	60,00	0,32	2,110	0,34	2,556	4,666	0,00	0,000	548,07	5,323	22,783
14,0	65,00	0,32	3,016	0,34	3,694	6,710	0,00	0,000	550,11	5,316	22,746
15,6	70,00	0,32	4,166	0,34	5,140	9,306	0,00	0,000	552,71	5,307	22,697
17,9	75,00	0,32	5,864	0,34	7,270	13,133	0,00	0,000	556,53	5,297	22,621
20,0	80,00	0,32	7,565	0,34	9,403	16,968	0,46	1,008	561,38	5,283	22,537
22,0	85,00	0,32	9,229	0,34	11,486	20,715	1,13	5,121	570,32	5,255	22,440
23,4	89,59	0,32	10,511	0,34	13,077	23,588	1,33	10,193	578,27	5,231	22,371
28,4	89,59	0,32	14,960	0,34	18,588	33,547	1,33	27,826	605,86	5,169	22,19
33,4	89,59	0,32	19,550	0,34	24,229	43,780	1,33	46,086	634,35	5,125	22,05
38,4	89,59	0,32	24,280	0,34	30,001	54,282	1,33	64,961	663,73	5,100	21,93
43,4	89,59	0,32	29,147	0,34	35,902	65,050	1,33	84,439	693,98	5,090	21,83
48,4	89,59	0,32	34,149	0,34	41,931	76,080	1,33	104,507	725,08	5,092	21,75
53,4	89,59	0,32	39,283	0,34	48,086	87,369	1,33	125,154	757,01	5,107	21,70
58,4	89,59	0,32	44,546	0,34	54,364	98,910	1,33	146,365	789,76	5,135	21,67
63,4	89,59	0,32	49,936	0,34	60,765	110,701	1,33	168,131	823,32	5,174	21,66
68,4	89,59	0,32	55,448	0,34	67,284	122,732	1,33	190,426	857,65	5,221	21,66
73,4	89,59	0,32	61,072	0,34	73,911	134,983	1,33	213,208	892,68	5,277	21,68
78,4	89,59	0,32	66,805	0,34	80,644	147,449	1,33	236,462	928,40	5,342	21,71
83,4	89,59	0,32	72,654	0,34	87,490	160,144	1,33	260,217	964,85	5,413	21,75
88,4	89,59	0,32	78,622	0,34	94,454	173,076	1,33	284,491	1002,05	5,493	21,78
93,4	89,59	0,32	84,716	0,34	101,541	186,257	1,33	309,306	1040,05	5,579	21,80
98,4	89,59	0,32	90,940	0,34	108,757	199,697	1,33	334,685	1078,87	5,673	21,82
103,4	89,59	0,32	97,299	0,34	116,107	213,406	1,33	360,645	1118,54	5,773	21,85
108,4	89,59	0,32	103,797	0,34	123,594	227,391	1,33	387,202	1159,08	5,879	21,88
113,4	89,59	0,32	110,437	0,34	131,222	241,658	1,33	414,367	1200,51	5,992	21,90
118,4	89,59	0,32	117,219	0,34	138,993	256,212	1,33	442,149	1242,85	6,112	21,92
123,4	89,59	0,32	124,150	0,34	146,912	271,062	1,33	470,564	1286,11	6,237	21,93
128,4	89,59	0,32	131,233	0,34	154,984	286,216	1,33	499,631	1330,33	6,371	21,92
133,4	89,59	0,32	138,474	0,34	163,215	301,689	1,33	529,378	1375,56	6,510	21,89
138,4	89,59	0,32	145,881	0,34	171,614	317,494	1,33	559,832	1421,81	6,659	21,85
143,4	89,59	0,32	153,457	0,34	180,183	333,640	1,33	591,010	1469,14	6,816	21,78
148,4	89,59	0,32	161,209	0,34	188,932	350,141	1,33	622,941	1517,57	6,983	21,68

Table 2.8

Vents of the lazaretto and the engine room are both completely submerged in just over 9 seconds at 45 degrees heel.

The stair to the lower deck is totally submerged in about 22 seconds at 85 degrees. From 90 degrees approx. (89,59 in

the table), which is reached in 23.4 seconds, we consider that the heel no longer increases and that the boat sinks in that position.

#### G.4.1. Visualization of the immersion of openings at 45, 60 and 85 degrees of heel

AT 45 DEG. THE VENTS OF THE LAZARETTO AND ENGINE ROOM ARE ALREADY SUBMERGED

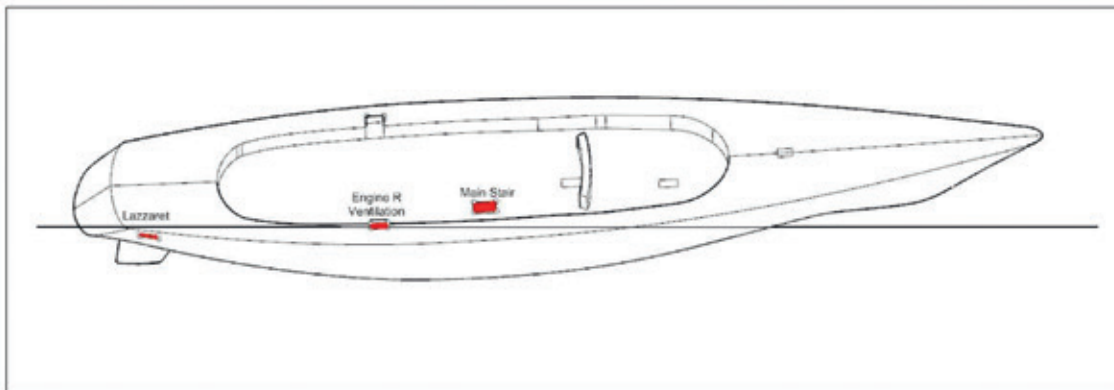


Image 2.9

AT 60 DEG. LAZARETTO AND ENGINE ROOM VENTS ARE CLEARLY SUBMERGED. THE VESSEL TRIMS BY THE STERN WITH THE PROGRESSIVE FLOODING.

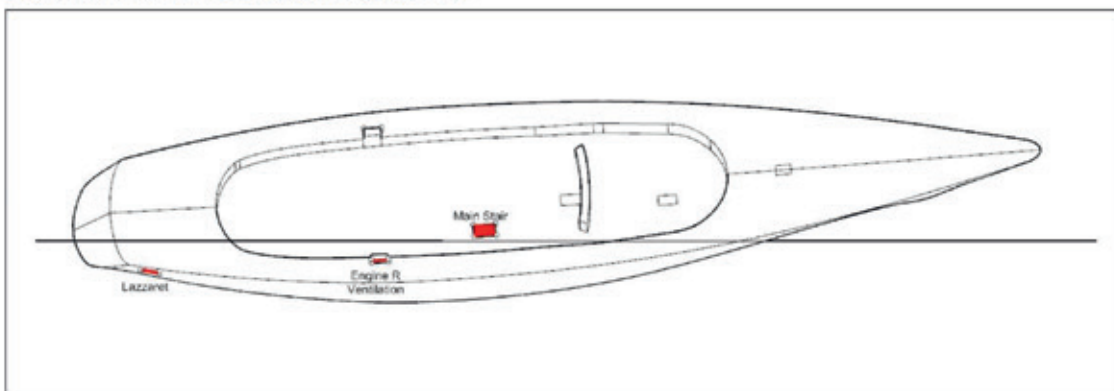


Image 2.10

AT 85 DEG. THE STAIRCASE TO THE LOWER DECK IS ALSO COMPLETELY SUBMERGED. FLOODING IS MASSIVE AND THE YACHT SINKS

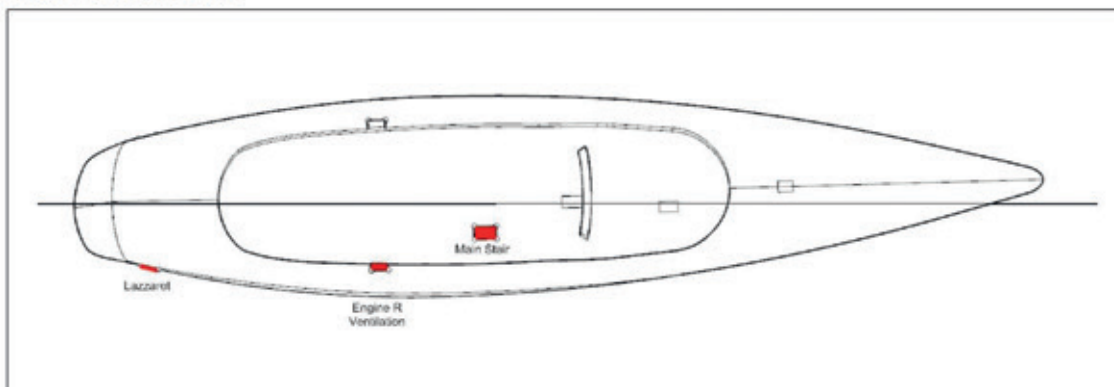


Image 2.11

#### VIDEO: KNOCKING DOWN PROCESS

You may see a 30 seconds video showing the heeling process here:

[https://www.dropbox.com/scl/fi/xth1oupdtgk2cth814qj/Campo\\_Velocidad.mp4](https://www.dropbox.com/scl/fi/xth1oupdtgk2cth814qj/Campo_Velocidad.mp4)

#### VIDEO: FLOODING OF THE MACHINERY SPACES (LAZARETTO AND ENG. ROOM)

[https://www.dropbox.com/scl/fi/01hgjf7ptwgza1xrq4si/Inundacion\\_Maquina](https://www.dropbox.com/scl/fi/01hgjf7ptwgza1xrq4si/Inundacion_Maquina).

In this link a video can be watched of the flooding process of the machinery spaces through the vents of the Lazaretto and the Engine Room.

For simplicity the space is tilted 70 degrees but the flooding times and water entering speed with the heel are the calculated ones. Water begins to enter at around second 9.3 (see left superior corner) when the vessel is heeled 45 degrees and keeps flowing faster and faster as the heel increases and vent is submerged deeper and deeper.

#### VIDEO: FLOODING OF THE ACCOMODATION SPACE IN THE LOWER DECK.

In the next link a video can be watched of the beginning of the flooding process of the accommodation spaces under deck through the main staircase. As before: the space is tilted 80 degrees, but the times and speeds are the calculated flooding ones.

Water begins to enter at around second 19 when the vessel heels to 80 degrees and then keeps flowing faster and faster as the heel increases and the staircase is submerged deeper and deeper.

[https://www.dropbox.com/scl/fi/0vaa47hk5av6l28s92ln8/Inundacion\\_Proa.mp4?rlkey=dwh5hdtq0iolqofs8tf56kxr&st=dxh4yjbv&dl=0](https://www.dropbox.com/scl/fi/0vaa47hk5av6l28s92ln8/Inundacion_Proa.mp4?rlkey=dwh5hdtq0iolqofs8tf56kxr&st=dxh4yjbv&dl=0)

#### G.4.2. Sinking: yacht sinks in less than two and a half minutes

The ship displaces 543.0 t in the assumed loading condition. As per the hydrostatics of the modeled vessel, the total displacement of the hull is about 1.444 tons, so the amount of water necessary to sink it -not considering mast flotation- is 901 tons.

SINKING	Disp (t)	Draft (m)
Load condition (1)	543	4,01
Max. Disp. (2)	1444	6,74
Flood to sink (2-1)	901	---

Table 2.9

This is reached in about 140 seconds (see table 2.8), which is less than two and a half minutes.

In Image 2.12 we see how in 140 seconds enter around 325 tons

#### VESSEL SINKS IN LESS THAN 2,5 MINUTES

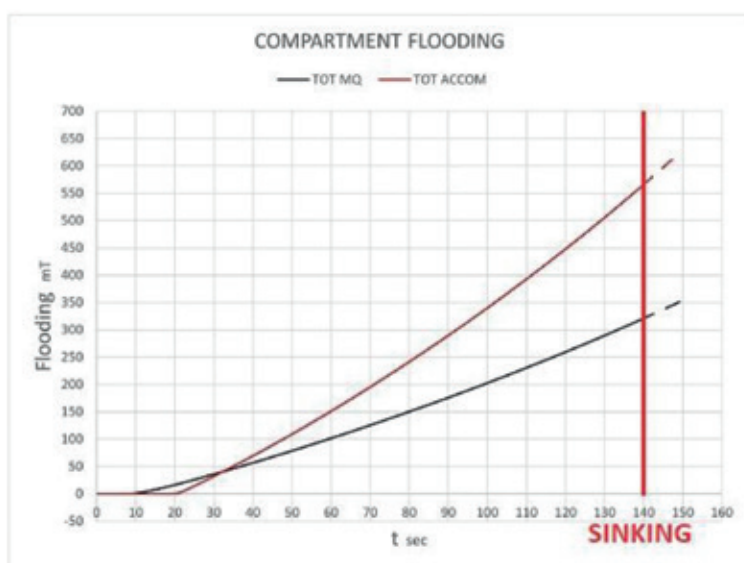


Image 2.12



of water in the machinery spaces and around 575 tons in the accommodation spaces.

Real life sinking time can be somewhat longer or shorter, because on one hand air bubbles may remain and slow the process, but on the other hand as there are other flooding openings it can be faster. According to the statements of the captain of the classic schooner Sir Robert Baden Powell, Karsten Borner, and other witnesses, the sinking of the Bayesian in August last year seems to have occurred in a very few minutes. The available narratives tell how the yacht heeled strongly very quickly and how it disappeared in a couple of minutes, a narrative which matches what we have found in this study.

<https://news.sky.com/video/yacht-sank-in-two-minutes-says-captain-of-vessel-that-rescued-passengers-13200133>

## Summarizing

*Sailing vessels of the type here studied, with openings on or near the sides that must remain open, are susceptible to catastrophic flooding in a very short space of time if when under bare mast and with the daggerboard raised, they are hit from the side by a stormy gust of 60 or more knots.*

## Large sailing yachts bare mast CFD heeling analysis conclusion

In this study (first and second parts) we have found the following:

Sailing monohull vessels of around 55 m length with high masts, folding daggerboards, a maximum GZ of 0.9 m or less at about 35 degrees and AVS angles of less than 90 degrees, have a high risk that, when under bare mast, if the boat is hit from

the side by a wind gust of 60 knots or more, it may knockdown in an unrecoverable manner even when in watertightness condition.

If big vents and other openings close to the sides are open, very dangerous flooding will occur and will become catastrophic if staircases inside a not watertight closed deck house get submerged.

## Suggestions

In our opinion the stability and freeboard standards for large monohull recreational sailing vessels of around 55 m length with very high masts and retractable daggerboards, having GZ curves with the AVS being less than 90 degrees, should be revised in the following aspects when motoring or anchoring without sails set:

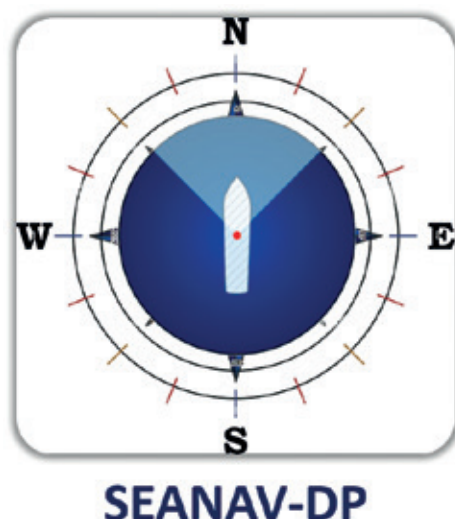
- a) The effect of a side wind of 60 knots or more acting on the rig when the daggerboard is in the up position should be considered in the stability booklet. The dynamic heeling effect of spreaders and other rigging adding to the effect of wind on the mast should be considered in whatever load conditions.
- b) Large ventilation openings on the sides of the hull should be discouraged. Should be as central and higher as possible
- c) The permitting of extending the line of the floor of a central well as a reference to fixing the heights of flooding openings should be avoided.
- d) If vents or other big flooding openings having relatively low freeboards must be located very close to the sides, the installation of fast automatic closing devices or other protecting systems acting when sudden heelings above 35 degrees occur should be considered.
- e) Staircases leading down to the lower decks, even if located inside watertight deckhouses, should be located as central as possible.

# Inteligencia Artificial en el posicionamiento dinámico

Seaplace

En el marco de su compromiso con la innovación tecnológica aplicada al sector marítimo, Seaplace ha desarrollado un avanzado sistema de Posicionamiento Dinámico (DP) asistido por Inteligencia Artificial (IA). Este desarrollo ha contado con el respaldo de la Consejería de Digitalización de la Comunidad de Madrid, a través del programa de ayudas para la implementación de casos de uso de inteligencia artificial en la industria. La iniciativa se inscribe dentro de las Redes Territoriales de Especialización Tecnológica, en el contexto del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea mediante los fondos NextGenerationEU.

Para el desarrollo y entrenamiento del sistema conocido como SEANAV-DP, Seaplace ha desarrollado un entorno optimizado específicamente para el entrenamiento de algoritmos de IA. En este entorno, un agente de IA basado en aprendizaje por refuerzo profundo es entrenado para minimizar los errores de posición, velocidad y consumo ener-



gético durante las operaciones en DP. Al comparar el desempeño del modelo IA con el desempeño de un sistema DP tradicional, se evidencian mejoras en precisión y eficiencia operativa. La Figura 1 muestra la arquitectura comparativa entre un DP tradicional y uno asistido por

IA. En este último, los módulos de Motion Controller y Thrust Allocation se reemplazan por un modelo basado en aprendizaje por refuerzo, como el algoritmo SAC (Soft Actor-Critic), lo que permite aplicar acciones continuas y alcanzar una rápida convergencia en el proceso de control.

Una de las principales mejoras que ofrece el uso de la inteligencia artificial (IA) en sistemas de posicionamiento y control de buques es el aumento en la precisión del Thrust Allocation (asignación de empuje). Esta mejora se logra gracias a la capacidad de la IA para modelar y aprender la interacción compleja entre cada propulsor, la estructura del buque y el flujo generado por otros propulsores cercanos.

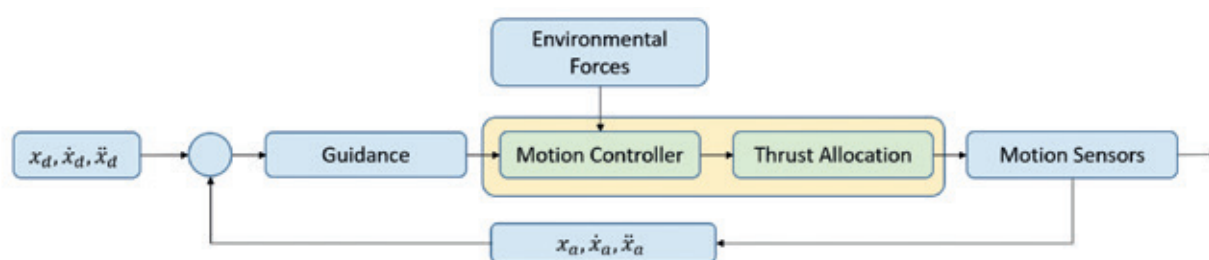


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema de posicionamiento dinámico

Tradicionalmente, el Thrust Allocation se basaba en modelos idealizados que no siempre reflejan con exactitud el comportamiento real del sistema en condiciones operativas. Sin embargo, al entrenar algoritmos de IA con datos obtenidos de simulaciones y mediciones de fluidos reales (real fluid characterization), es posible capturar con mayor fidelidad los efectos hidrodinámicos complejos.

Como resultado, la IA permite realizar optimizaciones más precisas y eficientes en tiempo real, ajustando el empuje de cada propulsor para lograr un mejor rendimiento global del sistema, ya sea para mantener la posición del buque (posicionamiento dinámico) o para maniobrar en entornos complejos. En las diferentes operaciones que realiza un buque, su condición de carga puede variar, afectando a parámetros como el calado y o centro de gravedad, que influyen en las fuerzas y momentos ejercidos por los propulsores, modificando la capacidad de posicionamiento dinámico. A través del modelo de IA, entrenado en diferentes condiciones, se permite actuar con precisión ante los diversos escenarios que puede tener la operatividad del buque.

La Figura 2 muestra la predicción de las fuerzas ambientales utilizando entrenamientos de IA supervisada. A partir del historial de datos ambientales, es posible anticipar

eventos como rachas de viento o aumentos puntuales en la altura del oleaje, lo que permite tomar decisiones preventivas que eviten comprometer la seguridad y el éxito de la misión. El modelo de inteligencia artificial ofrece una mayor adaptabilidad del sistema DP a lo largo de la vida útil del buque, permitiendo un mejor rendimiento y una reducción en el consumo de combustible en distintos escenarios operativos, en comparación con la arquitectura de control clásica de un sistema DP.

El desarrollo del proyecto SEA-NAV representa un paso estratégico hacia la diversificación de aplicaciones del Posicionamiento Dinámico asistido por IA, abriendo la puerta a nuevos mercados como el de la eólica flotante offshore (FOWT, por sus siglas en inglés). En este contexto, el sistema facilita de forma significativa la operativa de los buques de apoyo a parques eólicos marinos, donde la precisión y estabilidad durante las maniobras de posicionamiento son críticas para la seguridad de la operación y del personal que la lleva a cabo. En línea con esta visión, y también en el marco de la convocatoria de la Comunidad de Madrid previamente mencionada, Seaplace impulsa el desarrollo del proyecto norAI. Este nuevo sistema, basado igualmente en inteligencia artificial, tiene como objetivo diseñar una solución de atraque automá-

tico inteligente, capaz de asistir en maniobras complejas como la aproximación y el abarloado de buques a plataformas eólicas flotantes en mar abierto. Esta capacidad resulta especialmente valiosa en condiciones operativas adversas, donde la automatización y la precisión aumentan la seguridad y reducen el riesgo humano.

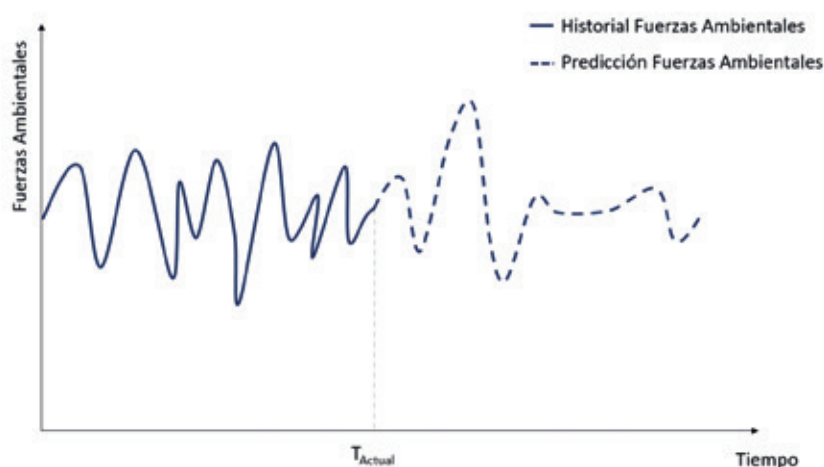


Figura 2. Estimación de fuerzas ambientales a partir de historial

# Janus elaborará el software de seguridad marítima del fast ferry *Mercedes Pinto* que construye astillero Armón



*Margarita Salas*

La empresa Janus Systems ha sido contratada por Astilleros Armón para elaborar el software de seguridad marítima del tercer fast ferry que está construyendo para Baleària. El nuevo buque se encuentra en fase avanzada de construcción en los Astilleros Armón de Gijón y su botadura está prevista para el próximo mes de septiembre. Mantiene características similares a sus dos buques cuasi gemelos: 123 metros de eslora, 28 de manga y una capacidad para transportar 1.200 pasajeros y 425 vehículos.

## Preparado para las energías del futuro

Este barco será el undécimo de Baleària con motores duales a gas natural, perteneciente a la serie de buques de alta velocidad, y con una tecnología versátil. También puede consumir un 100% de biometano, así como mezclas de hidrógeno verde de hasta un

25%, unos gases renovables neutros en emisiones de CO<sub>2</sub> considerados las energías del futuro. Es la energía más limpia y madura que existe actualmente con el horizonte de la descarbonización para 2050. Asimismo, integrará las mejoras en comodidad y servicios a bordo aplicadas en el *Margarita Salas*, con una segunda cubierta con salón de butacas en proa y una terraza en popa con bar en el exterior.

## *Mercedes Pinto*, un homenaje a la poetisa y escritora canaria

La compañía marítima ha apostado por bautizar el nuevo catamarán con el nombre de Mercedes Pinto, en homenaje y recuerdo de una de las notables poetisas españolas. Es conocida como la “Poetisa canaria”, y por ser la primera mujer que pronunció mítines políticos en España, donde destaca especialmente su implicación en el reclamo de la



modernización de la ley del divorcio. Nació en 1883 en La Laguna (Tenerife) y murió en 1976 el exilio, fue una figura destacada en la sociedad canaria de su época, una impulsora de los derechos civiles que luchó por la igualdad de género y la promoción de la educación para las mujeres. Una notable escritora, poetisa, dramaturga, conferenciante y figura cultural en el ámbito hispanoamericano.

Baleària acierta, una vez más, no solo por rescatar el nombre de una gran poetisa española, sino también por poner de manifiesto el activismo por los derechos de las mujeres. La compañía marítima ya había utilizado los dos anteriores catamaranes con los nombres de dos mujeres ilustres: *Eleanor Roosevelt* (2021) y *Margarita Salas* (2023), por lo que

continúa en una senda que le honra. Como dijo su presidente, Adolfo Utor: “Nombrar este catamarán innovador como *Mercedes Pinto* es una forma de honrar a una mujer avanzada a su tiempo, que con su vocación marcó una época en el progreso de los derechos sociales desde la literatura y la poesía, entre otros ámbitos. El legado de Mercedes Pinto refleja los valores de Baleària y nuestro compromiso con las Islas Canarias y su patrimonio sociocultural”.

Con este buque, Janus continua su colaboración tanto con Astilleros Armón como con Baleària, ya que ha superado la docena de buques en los que contribuye a su seguridad marítima. Por ello, Janus Systems agradece a ambos que continúen contando con sus servicios.

## Schottel equipará el ro-ro de ULA para el transporte de cohetes Vulcan

United Launch Alliance (ULA), empresa conjunta entre Lockheed Martin Space Systems y Boeing Defense, Space & Security creada en 2006, como proveedor de servicios para el sector aeroespacial de los Estados Unidos.

ULA, encargó a Bollinger Shipard (Amelia, Luisiana), un buque ro-ro, al que bautizarán como *SpaceShip*. Se destinará al transporte de cohetes desde la fábrica en Decatur (Alabama) hasta Cabo Cañaveral (Florida), y a la base de Vandenberg (California).

Este buque estará equipado con hélices timón Schottel SRP 460 LE y dos hélices transversales Schottel STT 1. Asimismo, todo el sistema eléctrico será diseñado y suministrado por elkon, miembro del grupo Schottel. Está prevista la entrega del bu-

que para 2026. El ro-ro *SpaceShip* tendrá 11 m de eslora, 25 m de manga y podrá navegar a una velocidad máxima de 5 kn.

Cada unidad SRP 460 L-Drive tiene una potencia de entrada de 2.100 kW y una hélice de 2,6 m de diámetro.

Cada unidad STT 1, tiene 373 kW de potencia de entrada y 1,3 m de diámetro de hélice. Unidad ideal para operaciones breves de atraque y amarre en puerto y para mantener el posicionamiento.

Además, se instalará a bordo el sistema de joystick de Schottel, el MasterStick, con el que se pueden controlar las cinco unidades de propulsión simultáneamente de forma precisa y cómoda.



El sistema eléctrico, diseñado y desarrollado por Elkon, incorporará tecnología de vanguardia de accionamiento frontal activo (AFE) para el sistema principal de propulsión eléctrica, lo que mejora la eficiencia de la propulsión, reduce el consumo de combustible y aumenta el rendimiento general del buque.

Se equipará al buque con un Sistema de Control y Monitoreo de Alarmas (ACMS) que garantiza la seguridad operativa mediante diagnósticos en tiempo real y resolución proactiva de problemas, así como con un Sistema de Gestión de Energía (PMS) para optimizar la distribución de energía mediante la integración inteligente de todas las funciones de los generadores y cuadros eléctricos.

Elkon también suministrará los Centros de Control de Motores (MCC) integrados y optimizados para el espacio, paneles del sistema de distribución de energía, así como las

consolas de control de puente y del centro de control de motores.

Con estas soluciones personalizadas, que cumplen con las normas de las sociedades de clasificación y las últimas directrices sobre electricidad marina, el sistema eléctrico de SpaceShip garantizará la máxima seguridad, fiabilidad y rendimiento.

El Vulcan es un cohete de carga pesada de tipo TSTO (dos etapas a órbita) desarrollado por United Launch Alliance (ULA). Lanzado por primera vez en enero de 2024, reemplazará los antiguos cohetes Delta IV y Atlas V de ULA.

Puede equiparse con hasta seis propulsores de combustible sólido para aumentar la capacidad de carga útil, según los requisitos de la misión. El cohete es capaz de soportar una amplia gama de operaciones, incluyendo el transporte de satélites a diversas órbitas.

# 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

## 2.7 Líneas de ejes



#### 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

## 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



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

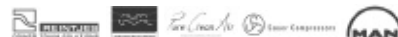
Muelle de reparaciones de Bouzas, s/n

P.O. Box 2.056 - 36208-VIGO (Spain)

Telf + 34 986 23 87 67

FAX + 34 986 23 87 19

Email: coterena@coterena.es



### 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

www.vulkan.com

### 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



Inserte  
aquí su  
publicidad



## 2.13 Componentes de motores



**Repuestos para motores Diesel y Gas. Repuestos y servicio para Cierres de Bocina. Componentes linea 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)



Inserte  
aquí su  
**publicidad**



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

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

## 7. EQUIPOS DE CUBIERTA

### 7.1 Equipos de fondeo y amarre



**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)

## 8. ESTABILIZACIÓN, GOBIERNO Y MANIOBRA

### 8.1 Sistemas de estabilización y corrección del trimado



**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)

## 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>

## 9.6 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

E-mail: [cingal@cingal.net](mailto:cingal@cingal.net)

<http://www.cingal.net>

## 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>

Empresa española con más de 40 años de experiencia en la resolución de problemas de vibraciones y ruido. Especialistas en ingeniería, consultoría, cálculo naval y diseño de buques silenciosos.

Áreas de especialización:

- Gestión integral de vibraciones y ruido.
- Cálculo y simulación naval.
- URN - Ruido Radiado al Agua.
- Medidas y ensayos especiales.
- Industria 4.0 aplicada al entorno naval.
- Pruebas de mar.
- CBM - Mantenimiento predictivo basado en condición.
- Consultoría técnica y análisis causa-raíz de averías.
- Proyectos I+D+i.
- Formación técnica especializada. (acceso link ).

**Confíe en un partner especializado, con experiencia contrastada y comprometido con la excelencia técnica.**

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

 [www.tsisl.es](http://www.tsisl.es)

 [www.tsisl.es/es/formacion](http://www.tsisl.es/es/formacion)

 [infotsi@tsisl.es](mailto:infotsi@tsisl.es)

 +34 91 345 97 30



## 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](mailto:seaplace@seaplace.es)

web: [www.seaplace.es](http://www.seaplace.es)



**GESTENAAL**  
NAVAL ARCHITECTS & SURVEYORS

Design, Engineering, Stability Books, Surveys, Expert Reports, Appraisals. Forensic Naval Architecture UKCA & CE Recreational Craft Marking

ABUC Statements of Conformity

CFD Studies

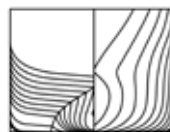
Méndez Núñez, 35 -1º  
36600 Villagarcía de Arosa

Phone: +34 986508436

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

Web: [www.gestenaal.com](http://www.gestenaal.com)

## 12.2 Clasificación y certificación



### ORP MARÍTIMA S.L.

Informes técnicos periciales Naval, Marítimo, Industrial, Energía, Transporte.

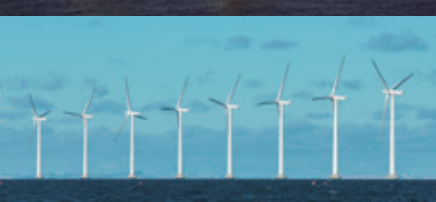
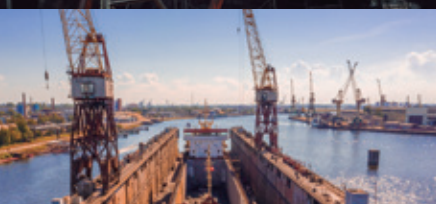
Asistencia en procesos judiciales, arbitrales y de mediación. Nacional e internacional.

Calle Écija 7, Madrid.

Tf. +34 661 83 00 89

[frontdesk@orpmar.com](mailto:frontdesk@orpmar.com)

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



# Programa Editorial 2025

## 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.

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 Automatización

Naval sector. Electronics and Automation

### NOVIEMBRE • NOVEMBER

Offshore • Offshore

### DICIEMBRE | DECEMBER

Energías renovables y Medio ambiente Resumen del Sector Marítimo 2025

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

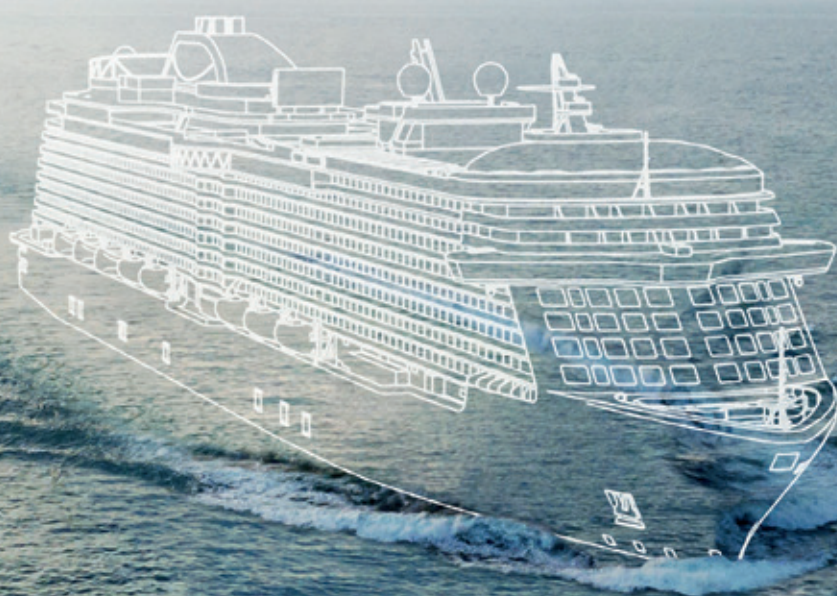


Suscríbete ya en  
**www.sectormaritimo.es**



*Moving Industries Forward*

# CONSTRUCCIÓN NAVAL ULTRALIGERA EL AHORRO QUE ESPERABAS



**El peso es uno de los principales problemas a los que se enfrenta la construcción naval.**

¿Te has preguntado qué pasaría si pudieras ahorrarte cientos de toneladas de acero? Ahora puedes. Gracias al innovador sistema A-60 de piso flotante ultraligero de Sika. Ahorra peso. Ahorra combustible. Emite menos CO<sub>2</sub>. Súmate a la revolución de la sostenibilidad.



Descubre más sobre las  
soluciones Sika para la  
industria marina  
[esp.sika.com](http://esp.sika.com)

**BUILDING TRUST**

