

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





KEY SOLUTIONS AND STRATEGIES FOR ENERGY EFFICIENCY



DNV's latest report on Energy Efficiency Measures and Technologies provides a comprehensive overview of current energy efficiency measures, including their costs and suitability for various ship types.

Download report at dnv.com/eemt



Redacción

Nº 1047 · JULIO - AGOSTO · 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.

VOCALES 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@sectormaritimo.es

ADMINISTRACIÓN

Noemí Cezón López

DIRECCIÓN

Castelló, 66 - 28001 Madrid
Tels.: 915 751 024 / 915 771 678
e-mail: revista@sectormaritimo.es
www.sectormaritimo.es

DISEÑO Y MAQUETACIÓN

DiseñoPar Publicidad S.L.U.
parpubli@parpubli.com
www.parpubli.com

IMPRESIÓN

Imedisa Material de Oficina, S.L.
Tel: 914861606

SUSCRIPCIÓN ANUAL

SUBSCRIPTION FEE (2025):

Electrónica general 90,00 €
Electrónica estudiantes 45,00 €
Papel + electrónica 110,00 €
(sólo España)

SUSCRÍBETE AQUÍ:
sectormaritimo.es



SCAN ME

AÑO XCIV • N.º 1047
julio-agosto 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 Lavalle
D. Rafael Gutiérrez Fraile
D. José María de Juan-García Aguado
D. Nandi Lorenzu Jaesuria
D. Miguel Ángel Palencia Herrero
D. Mariano Pérez Sobrino
D. Jesús Valle Cabezas

511.

artículo técnico

“ISBM. De la espiral de diseño a la espiral de ciclo de vida”, por J. Torres García

“Green Ships of the future. Some recent classification society experiences”; M. Diacakis; G. Koutsoumpas, O. Vlachos, Y. Damianidou, V. Zouzoulas, M. Stavropoulos; C. Leontopoulos

547.

sociedades de clasificación

551.

en profundidad

“Potencia, energía, velocidad y autonomía AIP”, por R. Gutiérrez Fraile



561.

construcción naval

563.

conectados

Resumen de la 15ª edición de las Jornadas Técnicas ENERMAR

Resumen de los actos de celebración por la Virgen del Carmen



575.

tribuna

“Gualdaquivir de “puerta ancha”: proyectos de dragado de la barra de Salúcar en el siglo XX”, por M. Pacheco Morales-Padrón



582.

guía de empresas

570
conectados

Portugal acogió la 15ª edición de las jornadas técnicas ENERMAR





547
sociedades de clasificación

Lo más destacado del 2024 para DNV,
año de su 160 aniversario



563
conectados

Celebración de los
actos institucionales
del Carmen 2025



572
conectados

La DT en Galicia
celebra la festividad de
la Virgen del Carmen

Editorial

Los seis primeros meses del año

Un año más, hemos alcanzado la mitad del año y con ella las tan ansiadas y merecidísimas vacaciones. Y toca hacer balance.

Acabamos de clausurar el último evento de la Asociación. Nos referimos a la 15^a edición de las Jornadas Técnicas Enermar, que por primera vez en su historia, fueron celebradas en Portugal, cuyo resumen y conclusiones encontraréis dentro de estas páginas. También encontrarás el resumen de los actos de celebración por la Virgen del Carmen en los que el Colegio entregó las insignias a los nuevos colegiados, entregó el reconocimiento al nuevo Colegiado de Honor, se hicieron entrega de las medallas a las promociones que cumplen su 25 y 50 aniversario, y la Asociación entregó los premios AINE que le quedaban por entregar, los de la categoría de Asociados, puesto que las categorías de Empresas e Instituciones ya fueron entregadas durante el Congreso Anual.

Un Congreso anual cuya 64.^a edición, celebrada en Gijón, fue todo un éxito de “crítica y público”, del que ya dimos cuenta en las páginas de la edición de abril. 140 fueron los impactos totales en medios de comunicación: 2 en TV, 8 en radio, 12 en prensa escrita y 118 en digital. Y al margen de ello, el programa de radio “Españoles en la Mar” de RTVE se desplazó hasta Gijón un día para hacer el programa en directo.

Y hablando de “Españoles en la Mar”, la participación quincenal del Colegio en este programa no ha cesado. Hemos llevado al programa voces de la experiencia, perfiles jóvenes, las nuevas actualizaciones del Colegio y de la Asociación... Si aún no has escuchado ninguno de los programas, podéis encontrar dichas intervenciones rápidamente en nuestro perfil de Instagram @ingnavales.

Las delegaciones territoriales también han estado muy activas durante esta primera mitad de año, realizando Jornadas Técnicas o como por ejemplo las delegaciones de Cantabria y Asturias realizando talleres y concursos para estudiantes de secundaria, en un esfuerzo por mostrar a las futuras generaciones lo bonita que es nuestra profesión. Casi todas las reseñas están recogidas en estos siete números del año y otras las encontraréis en nuestros perfiles de redes sociales.

No vamos a adelantar nada aún, pero la segunda mitad del año no estará exenta de actividad. Ahora, lo que toca es disfrutar del periodo estival. ¡Nos leemos en septiembre!

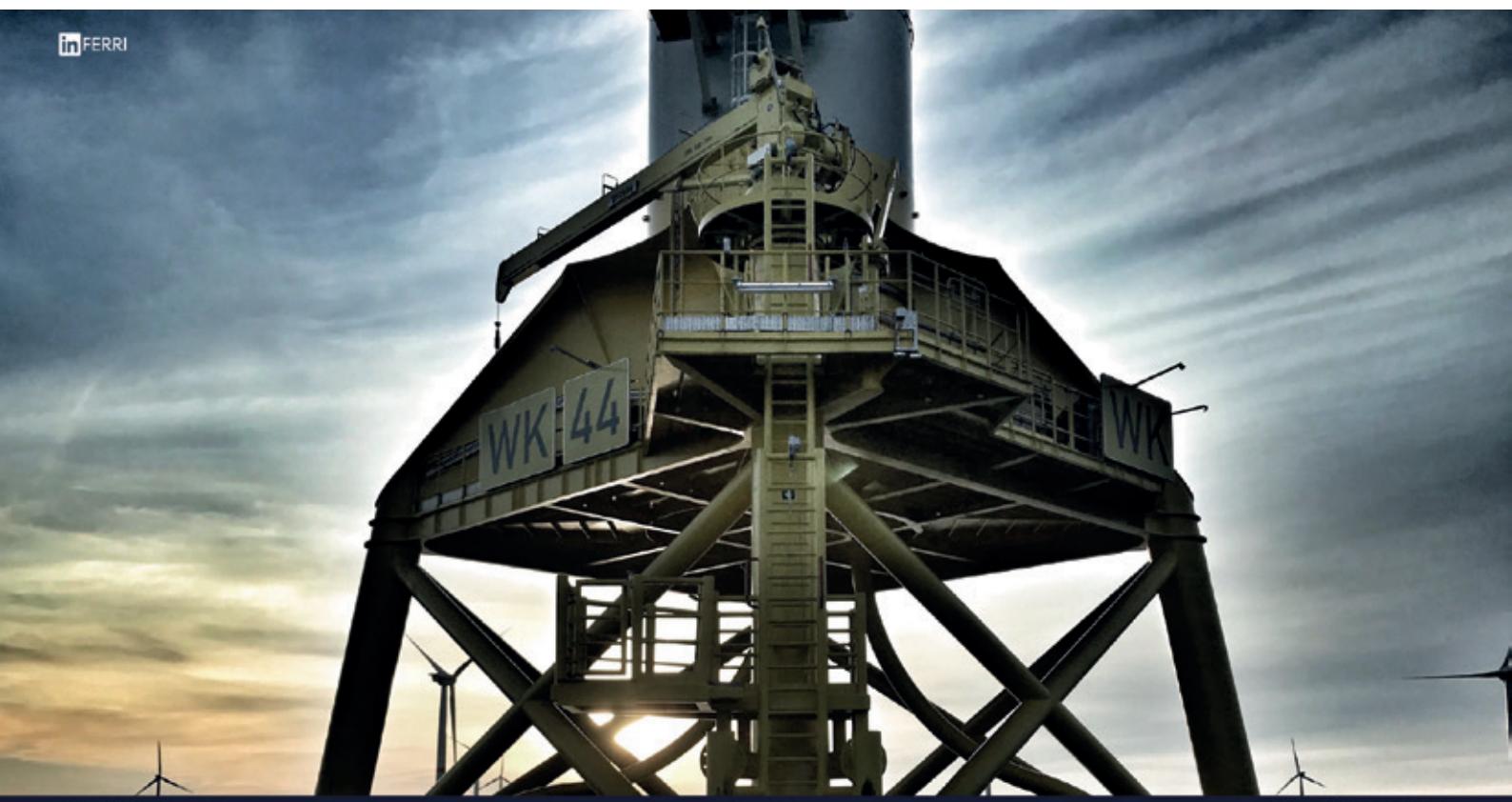


Navantia

Innovation
where it matters



in FERRI



info@ferri-sa.es

www.ferri-sa.es

+34 986 468 201

MAQUINARIA ESPECIALIZADA

 **FERRI**

 Talleres **CARRAL**
1921

ISBM. De la espiral de diseño a la espiral de ciclo de vida



José Torres García, I.N.

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

ÍNDICE

Resumen / Abstract

1. 1. INGENIERÍA DE SISTEMAS

- 1.1. ¿Qué es la Ingeniería de Sistemas Basada en Modelo?
- 1.2. La metodología Arcadia
 - 1.2.1. Análisis Operativo
 - 1.2.2. Análisis del Sistema
 - 1.2.3. Descomposición Lógica del Sistema
 - 1.2.4. Descomposición Física del Sistema
 - 1.2.5. La herramienta “Capella”

2. 2. DISEÑO

- 2.1. El diseño, desde la necesidad operativa hasta el Barco
 - 2.1.1. Modelo de diseño del contrato
 - 2.1.2. Parámetros de entrada para la evaluación del diseño
 - 2.1.3. Parámetros de cumplimiento de las necesidades operativas contractuales
- 2.2. Simulación para el diseño asociada al modelo
- 2.3. Ventajas del diseño basado en modelo

3. LA OPERACIÓN

- 3.1. La operación, cumpliendo objetivos para cada misión
 - 3.1.1. Modelos de misión
 - 3.1.2. Parámetros de entrada del modelo de la misión (digitalización para la operación) 20
 - 3.1.3. Parámetros de cumplimiento de los objetivos de la misión
- 3.2. Simulación asociada al modelo de operación
- 3.3. Ventajas de la operación basada en modelo

4. EL MANTENIMIENTO

- 4.1. El mantenimiento, asegurando la disponibilidad operativa
 - 4.1.1. Modelos de mantenimiento
 - 4.1.2. Parámetros de entrada del modelo de mantenimiento (digitalización para el mantenimiento)
 - 4.1.3. Parámetros de cumplimiento de disponibilidad
- 4.2. Modelos de simulación para el mantenimiento
- 4.3. Ventajas del mantenimiento basado en modelo

5. GLOSARIO

6. REFERENCIAS

RESUMEN

La Ingeniería de Sistemas Basada en Modelo habilita la metodología y las herramientas para evaluar al Sistema de sistemas Barco desde el concepto hasta el desguace. Desarrollar un modelo de arquitectura durante las fases de concepto, diseño y construcción del Proyecto permite disponer de las mejores herramientas para monitorizar y predecir el comportamiento durante la operación y el mantenimiento.

El trabajo desarrolla cómo gestionar desde el concepto al final del ciclo de vida un proyecto usando la metodología Arcadia presentando un caso de uso para un sistema de gestión de energía de un buque en el que se cubren los aspectos de diseño, explotación y apoyo al ciclo de vida asociados a la planta eléctrica del buque.

A través de este trabajo se presenta la utilización de la metodología para la generación de un gemelo digital de operación y mantenimiento de un buque aprovechando el trabajo de Ingeniería desarrollado en la etapa de diseño y construcción y explotándolo para su aplicación durante las fases de operación y la toma de decisiones en el apoyo al ciclo de vida.

Abstract

Model Based Systems Engineering enables a methodology and tools to assess the System of Systems Boat from concept to disposal. Developing an architectural model during the concept, design and building of the Project, allows the availability of the best tools to monitor and predict the behaviour while operating and servicing the boat.

This paper develops the management from concept to the end of the life cycle of a Project using the Arcadia method presenting a use case of a energy management system

of a boat covering the design, operation and through life support.

Through this paper the methodology to create an operation and maintenance digital twin of a boat taking advantage of the Engineering developed during the design and building phase and using it for operation phase and decision making during through life support.

1. INGENIERÍA DE SISTEMAS

1.1. ¿Qué es la Ingeniería de Sistemas Basada en Modelo?

La ingeniería de sistemas supone un enfoque transdisciplinario e integrador que permite conseguir con éxito la realización, uso y retirada de sistemas de ingeniería, utilizando principios y conceptos de sistemas y métodos científicos, tecnológicos y de gestión. (INCOSE, 2025)

Un sistema de ingeniería es un sistema diseñado o adaptado para interactuar con un entorno operativo anticipado para lograr uno o más propósitos previstos, cumpliendo con las restricciones aplicables. Así, un sistema de ingeniería es un sistema, no necesariamente tecnológico, que ha sido o será desarrollado para un propósito (INCOSE, 2025)

Un modelo (digital) representa un sistema real o conceptual e incluye expresiones físicas, matemáticas y lógicas. (DoD, 2025)

Combinando las tres definiciones, ingeniería de sistemas basada en modelo es una metodología que utiliza principios y conceptos de sistemas y métodos científicos, tecnológicos y de gestión para la realización de un modelo de un sistema real o conceptual con expresiones físicas, matemáticas y lógicas para el desarrollo de un sistema para lograr el propósito previsto en su entorno operativo y con las restricciones aplicables.

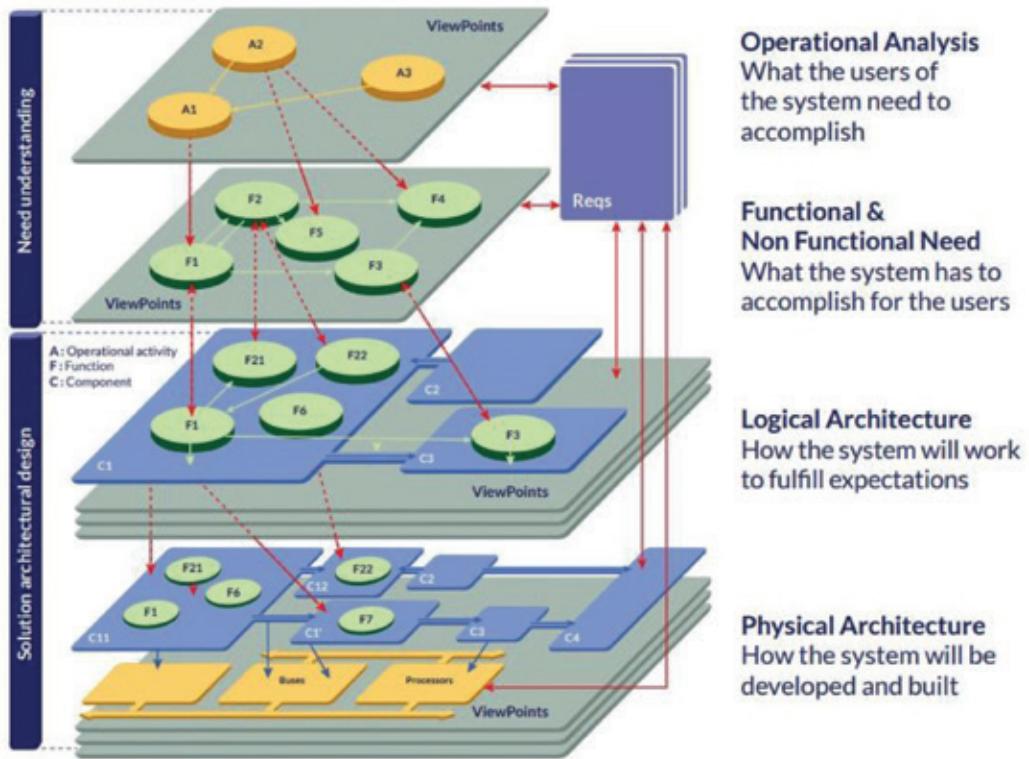


Figura 1. Metodología Arcadia

O de forma más concisa, La ingeniería de sistemas basada en modelo (ISBM) es la aplicación formalizada del modelado para el apoyo de las actividades de requisitos, diseño, análisis, verificación y validación de un sistema empezando en la fase de diseño conceptual y continuando a través del desarrollo y las fases posteriores del ciclo de vida. (INCOSE T. O., 2007)

1.2. La metodología Arcadia

Arcadia proviene de (ARChitecture Analysis and Design Integrated Approach) y se trata de una metodología de ISBM que estructura el trabajo de análisis y diseño de un sistema y acompaña la metodología con una serie de artefactos que representan requisitos, restricciones, entidades, actividades o relaciones que se organizarán en el modelo de una forma estructurada.

La metodología Arcadia se basa en la descomposición del trabajo de análisis, gestión y diseño de un sistema basado en cuatro etapas:

- Análisis operativo. - Es la fase de desarrollo

inicial, donde se capturan las necesidades, actores y procesos que se requieren del sistema desde el punto de vista de los usuarios y otras partes interesadas del sistema. En esta fase se capturan las restricciones de alto nivel del sistema.

- Análisis del sistema. - Es la fase de desarrollo del sistema en la que se diseñan las funciones que debe realizar el sistema para cumplir las necesidades de los usuarios y partes interesadas dentro de las restricciones identificadas. En esta fase se definen los requisitos funcionales del sistema.
- Descomposición lógica del sistema.
- Durante la fase de descomposición lógica del sistema se realiza la asignación de las diferentes funciones a subconjuntos de menor entidad que el sistema mediante una agrupación de funciones que responda, bien a restricciones de fases anteriores, bien a una descomposición que facilite la realización de las funciones. En esta fase se asignan los requisitos a elementos del sistema.
- Descomposición física del sistema. - La fase de descomposición física del sistema define

los componentes del sistema y selecciona las funciones del sistema asignadas a cada componente. En esta fase, los requisitos del sistema son asignados a nivel de componentes.

- Descomposición física extendida del sistema. - Esta fase que es un desarrollo de la fase anterior, añade información de cómo se solucionan los diferentes componentes del sistema mediante criterios de aprovisionamiento, estrategia constructiva o modularización.

1.2.1. Análisis Operativo

El análisis operativo del sistema busca identificar, relacionar y documentar ¿Qué necesitan realizar los usuarios del sistema?

Esta fase del análisis se basa en la identificación, documentación y relación de las siguientes necesidades de los usuarios:

- Misiones y sus objetivos
- Capacidades operativas a las que el sistema debe dar respuesta
- La información de entrada para esta fase del análisis debe incluir al menos:
- Necesidades y/o requisitos de los usuarios o partes interesadas
- Restricciones para el desarrollo del sistema debidas a sistemas existentes, organización de los usuarios, coste de ciclo de vida, formación, doctrina, etc.

1.2.2. Análisis del Sistema

El análisis del sistema busca definir, documentar y asignar las funciones a realizar por el sistema de manera que podamos responder a la pregunta ¿Qué tiene que cumplir el sistema para los usuarios?

Las tareas a realizar durante esta fase son:

- Análisis de alternativas de capacidades
- Análisis funcional y no funcional del sistema
- Redactar y consolidar los requisitos del sistema

Durante esta fase del análisis el objetivo es:

- Definir las funciones a realizar por el sistema y otras necesidades que debe cubrir
- Identificar los requisitos que definen la operatividad del sistema y evaluarlos desde el punto de vista de coste, diseños existentes y factibilidad

1.2.3. Descomposición Lógica del Sistema

La descomposición lógica del sistema se obtiene mediante el diseño de la arquitectura de alto nivel del sistema y responde a la pregunta ¿Cómo el sistema va a cumplir las capacidades exigidas?

En esta fase del desarrollo se desarrollan las siguientes tareas:

- Definir los criterios para la definición de la arquitectura y las reglas para las vistas del diseño
- Describir el comportamiento funcional y no funcional teórico del sistema
- Descomponer el sistema en componentes con el mejor compromiso entre funcionalidad y arquitectura

El objetivo de la descomposición lógica del sistema es:

- Obtener una descomposición de alto nivel del sistema en componentes para gestionar su ingeniería y desarrollo, ponderando los requisitos, intereses y restricciones.
- Definir y validar preliminarmente la arquitectura y el sistema frente a las restricciones no funcionales

1.2.4. Descomposición Física del Sistema

La descomposición física del sistema realiza el último nivel de descomposición en componentes para la Ingeniería de Sistemas, que será ejecutada con las restricciones y

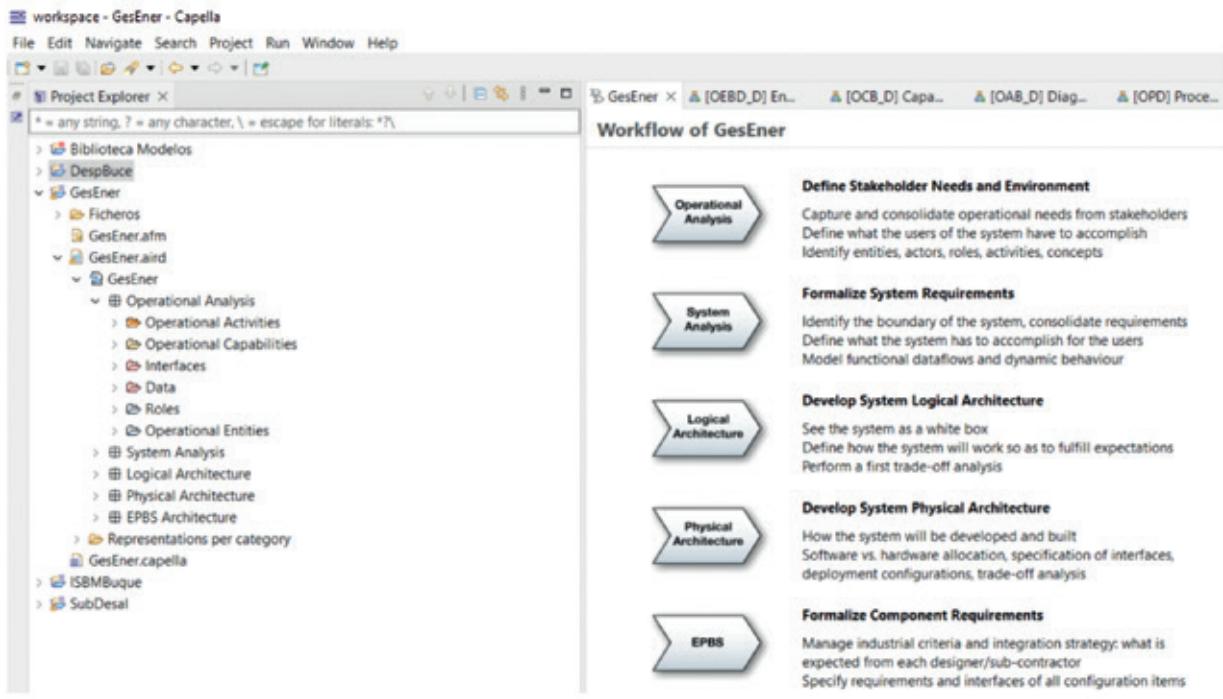


Figura 2. Visualización del Espacio de trabajo Capella

elecciones de gestión, técnicas y tecnológicas de cada sistema, la descomposición debe responder a la pregunta ¿Cómo se va a desarrollar y construir el sistema?

Las tareas fundamentales de la descomposición física son:

- Definir los principios y patrones de la arquitectura, incluyendo la reutilización de diseños existentes
- Definir el comportamiento funcional y no funcional final del sistema
- Diseñar la arquitectura de referencia del sistema
- Esta fase tendrá como objetivos:
- Gestionar la complejidad de la Ingeniería a través de la arquitectura, aislando los riesgos técnicos y el desarrollo de componentes, para completar la integración, verificación, validación y calificación del sistema
- Favorecer el uso de diseños, productos y activos existentes
- Validar de forma temprana la solución de diseño

1.2.5. La herramienta “Capella”

Capella es una herramienta software dedicada a la arquitectura de sistemas e ingeniería específicamente diseñada para aplicar el método Arcadia. (Arcadia, s.f.)

Se trata de un software libre disponible para descarga, la propia página de descarga incorpora otros complementos de software para facilitar tareas específicas como compartir la información de un proyecto o generar información del modelo para ser explotada.

2. EL DISEÑO

2.1. El diseño, desde la necesidad operativa hasta el barco

El diseño es la actividad que típicamente ha estado más ligada a la Ingeniería de Sistemas, de forma que se diseña para cumplir requisitos, y el equipo de diseño trabaja en la trazabilidad de requisitos y en la verificación de los mismos por medios documentales, proporcionando entregables que describen el producto y son

evidencia objetiva del cumplimiento de los requisitos en el diseño. El diseño suele tener a su vez la responsabilidad de definir los procedimientos de verificación de cada requisito adicionales a la verificación de diseño.

En el desarrollo típico de un proyecto de Ingeniería de Sistemas con soporte documental, el punto de partida es una especificación de alto nivel que define las necesidades operativas y las restricciones a las que se va a someter el barco, esta especificación es conocida en el ámbito militar como Requisitos de Estado Mayor (REM), Naval Staff Requirements (NSR) en el caso de barcos mercantes se trataría de una especificación de alto nivel tipo Request For Quotation (RFQ).

Desde esa especificación inicial, se inicia el diseño conceptual, durante el cual se iteran

soluciones de diseño para el barco y se van comparando contra esos requisitos iniciales para verificar la idoneidad de cada solución, después de evaluadas las diferentes soluciones se escoge la mejor valorada. La descripción de esa solución de diseño en forma de requisitos desglosada a nivel de sub-sistema se suele conocer como Especificación De Contrato (EDC) o Contract Specification (CS) y supone la Línea Base Funcional (LBF) que se suele fijar en una revisión del diseño denominada Revisión de Definición del Sistema, (System Definition Review, SDR) (NASA, 2016).

El proceso de diseño continúa desarrollándose hasta ser capaz de definir los requisitos y métodos de verificación que cada elemento final de configuración (equipo, sub-sistema, componente, etc.) debe cumplir, en ese momento, coincidiendo con la Revisión

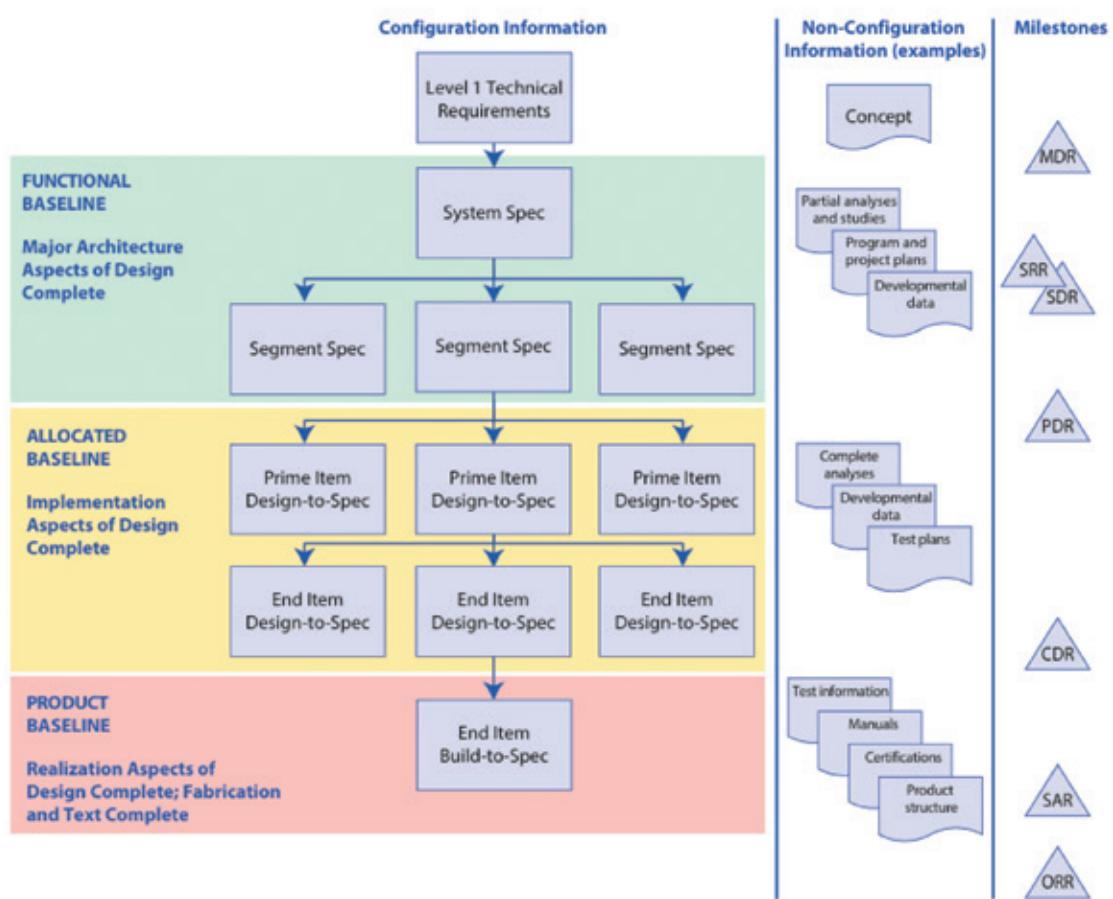


Figura 3. Fases de diseño y revisiones de diseño (NASA, 2016)

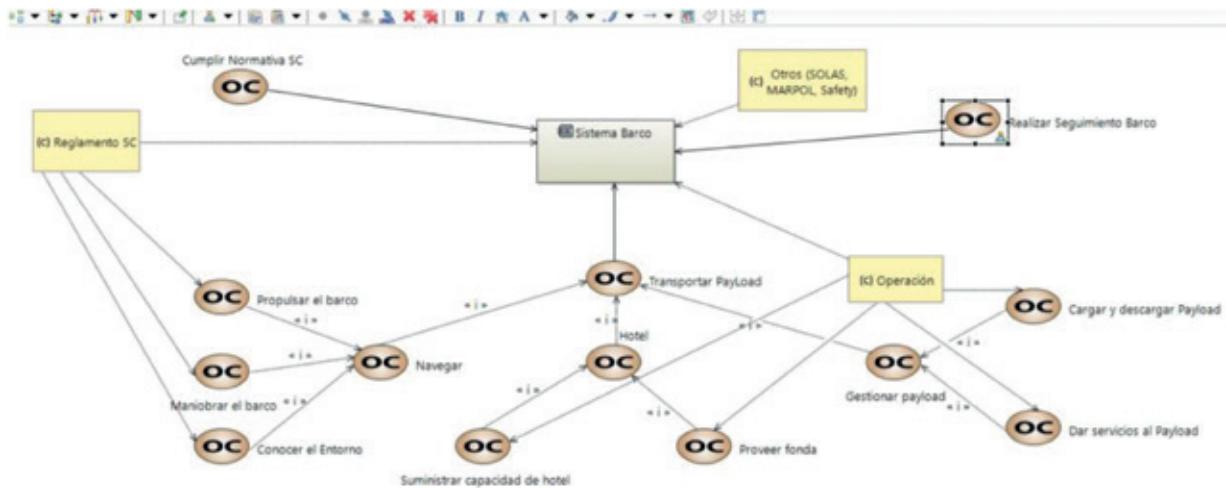


Figura 4. Desglose de capacidades operativas

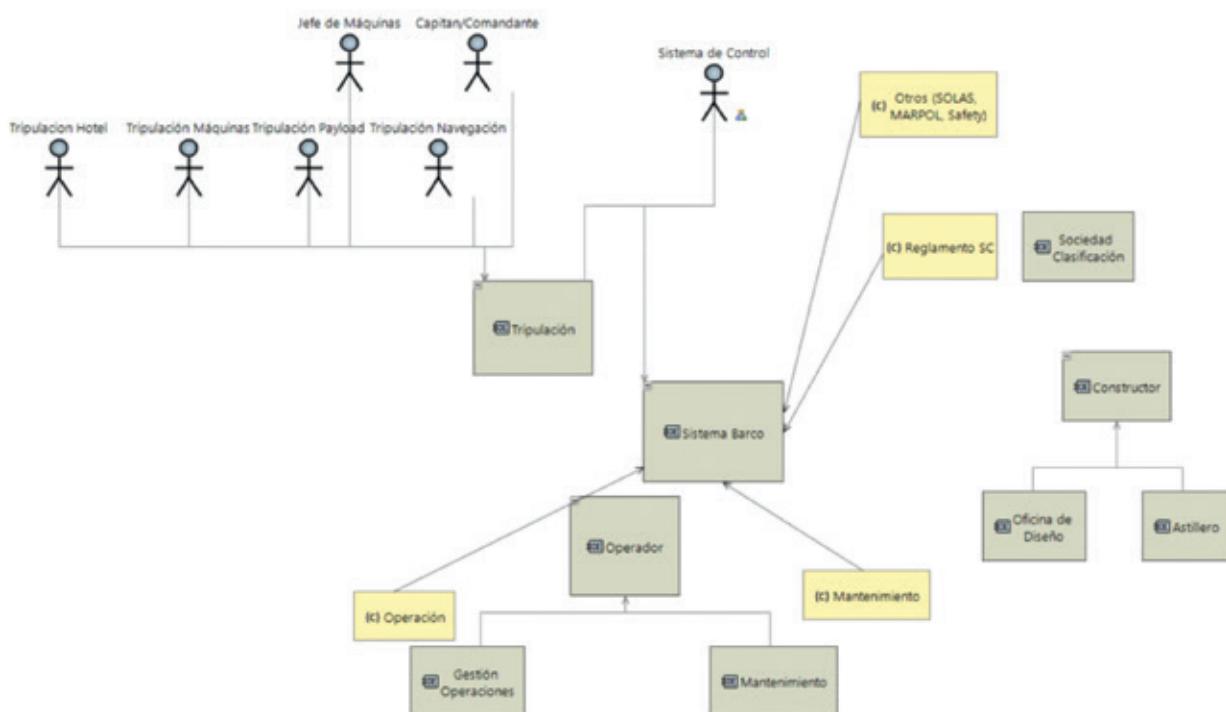


Figura 4. Desglose de capacidades operativas

Preliminar del Diseño (Preliminary Design Review, PDR) se fija la Línea Base Asignada (LBA) (NASA, 2016).

El proceso de diseño finaliza con la definición de detalle y la generación de toda la información técnica que evidencia el cumplimiento de los requisitos por el diseño y la generación de la información necesaria para la adquisición, integración, fabricación

y montaje de todos los elementos del barco, esta etapa finaliza con la Revisión Crítica del Diseño (Critical Design Review, CDR) en la que se fija la Línea Base del Producto (LBP) (NASA, 2016) que caracteriza completamente al barco "As Designed" desde el punto de vista de diseño, requisitos y verificación. Tras la fabricación y pruebas del barco, será necesario actualizar la LBP para incorporar los cambios en la configuración (forma y fun-

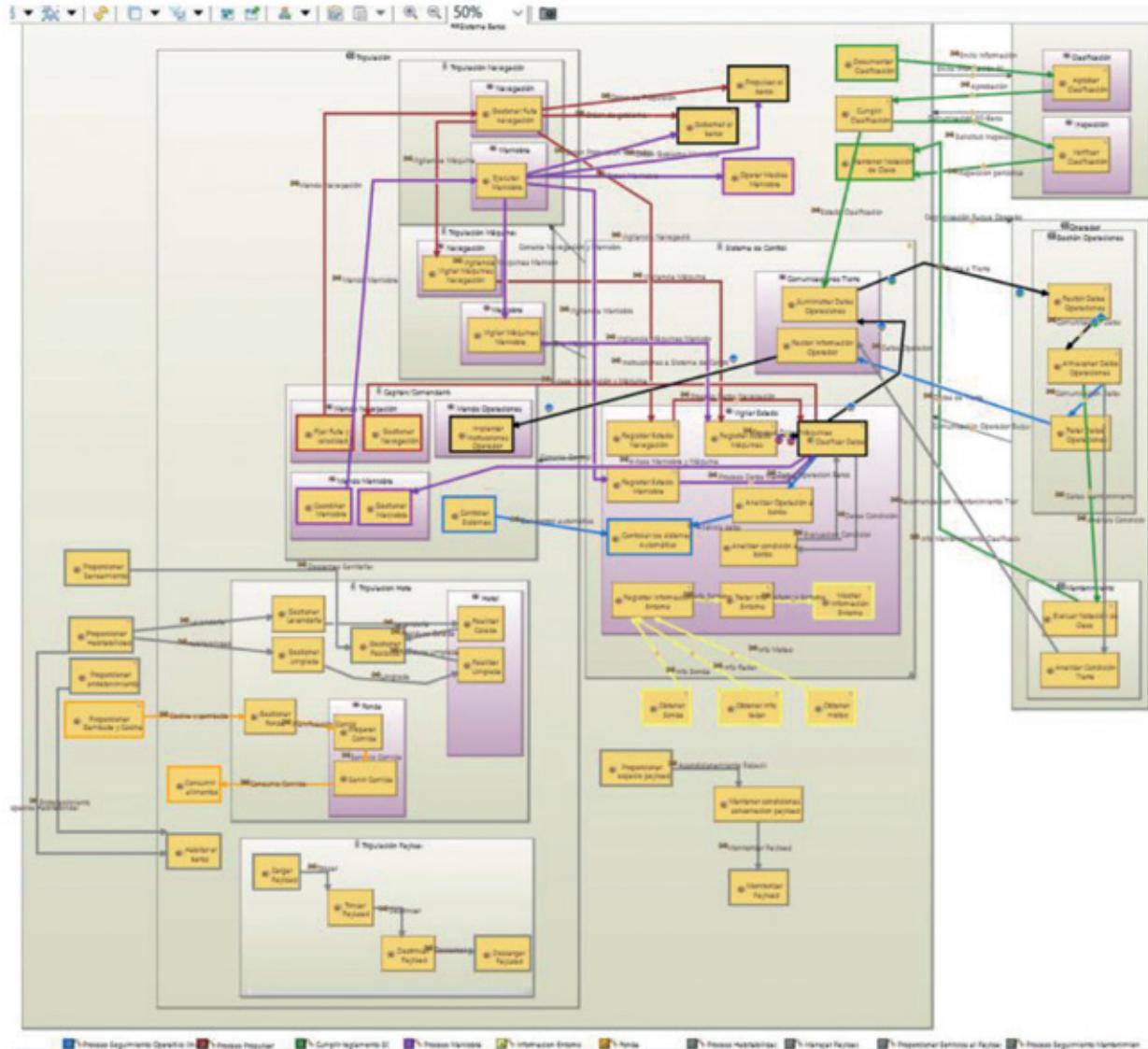


Figura 6. Diagrama de arquitectura operativa

ción) que se hayan incorporado en el barco entregado, para obtener así la línea base que servirá de punto de partida para el mantenimiento y operación del barco.

2.1.1. Modelo de diseño del contrato

Usando la metodología Arcadia, las fases y los objetos del modelo que se desarrollan en las diferentes fases son variados y específicos.

Análisis operativo

Ejecuta la definición de las misiones, capacidades operativas, restricciones y los pro-

cesos operativos que requieren los usuarios del barco, la descripción en forma de requisitos de esas capacidades, restricciones y procesos dan como resultado la especificación inicial del barco (REM/NSR o RFQ), el resumen de las capacidades operativas (Figura 4. Desglose de capacidades operativas) y actividades operativas con sus relaciones (intercambios) se resumen en el diagrama de arquitectura operativa (Figura 6. Diagrama de arquitectura operativa), en el que se muestran las actividades operativas asignadas a los diferentes actores los diferentes roles de los mismos y los intercambios (información, materia, energía, etc.)

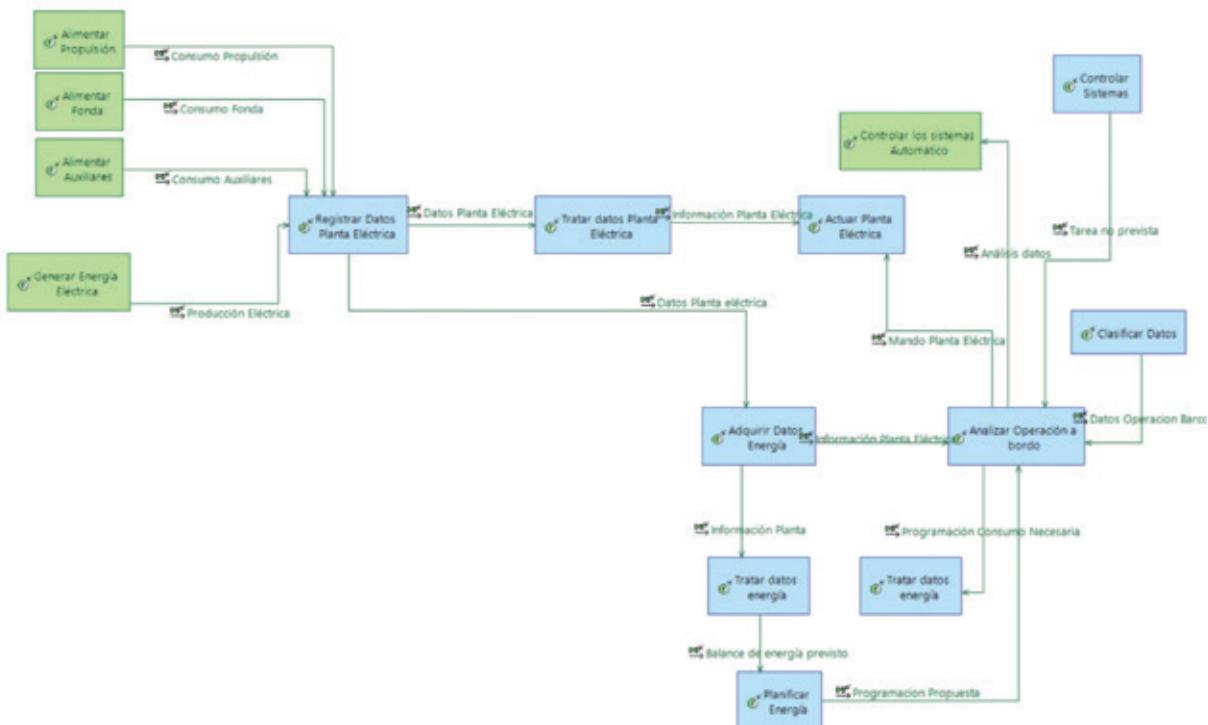


Figura 7. Cadena Funcional de Gestión de Energía

entre ellos en el proceso de completar una capacidad operativa.

Cada capacidad operativa está representada por uno o más procesos que se representan en un diagrama de arquitectura operativa en la que aparecen cada uno de los procesos representado a través de sus actividades operativas y los intercambios entre ellas, identificando actores y roles.

La finalización del análisis operativo da lugar a la especificación de requisitos operativos (REM, NSR, RFQ, etc)

Análisis del sistema

Realiza la definición de las funciones, restricciones y procesos funcionales que ejecutan las capacidades derivadas del análisis operativo, en su caso, puede generar nuevas capacidades no previstas en el análisis operativo, pero que sean parte de la solución de diseño que se está evaluando, en este caso, la capacidad de generar energía no forma

parte de las capacidades descritas en el análisis operativo, pero es necesaria para que el sistema desarrolle las capacidades previstas. El resultado se presenta en un diagrama de arquitectura del sistema en el que se muestran las cadenas funcionales que ejecutan las capacidades representando los actores, funciones e intercambios funcionales.

La finalización del análisis del sistema proporciona una descomposición completa de todas las funciones que tiene que realizar el barco para cumplir con las capacidades operativas, las herramientas de ISBM permiten analizar la trazabilidad de las funciones generadas a las actividades y capacidades operativas y la completitud, de forma que todas las capacidades operativas estén asignadas a las funciones correspondientes.

El análisis del sistema requiere la participación de los especialistas en los dominios de diseño para sancionar que las funciones descritas en el análisis del sistema son compatibles con tecnologías existentes o en proceso

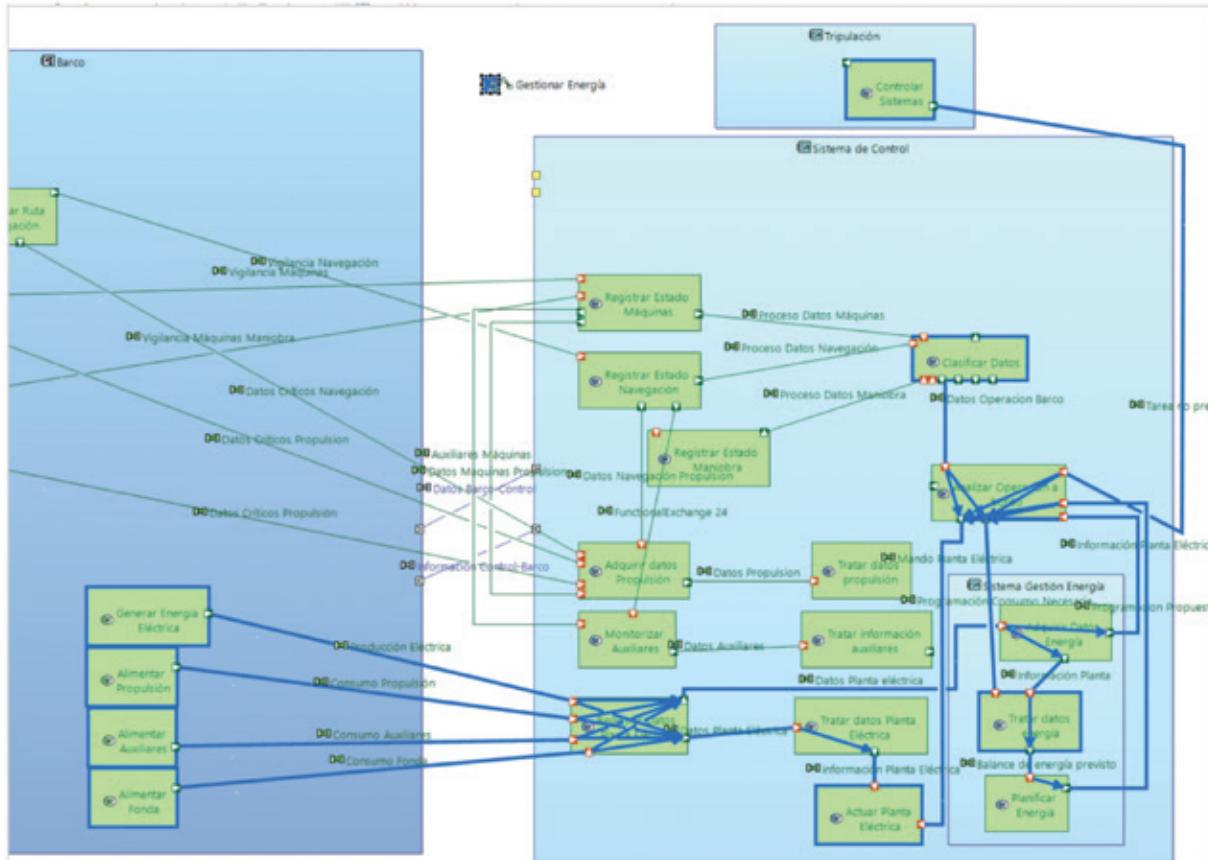


Figura 8. Arquitectura parcial del sistema representando la cadena funcional de Gestión de Energía

de desarrollo consistente con el plazo del desarrollo del sistema.

Los procesos que tiene que ejecutar el sistema se representan en forma de cadenas funcionales, en las que aparecen las funciones básicas y los intercambios entre ellas, llamados intercambios funcionales (de información, de masa, de energía, etc).

Arquitectura Lógica

Una vez que se dispone de la descomposición del barco en funciones, suele ocurrir que la complejidad de los diagramas y cadenas funcionales comienza a ser difícilmente manejable, por lo que se debe proceder a agrupar conjuntos de funciones, esta agrupación de funciones se puede llevar a diferentes niveles. Los procesos que tiene que ejecutar el sistema a nivel lógico se representan en forma de cadenas funcionales ló-

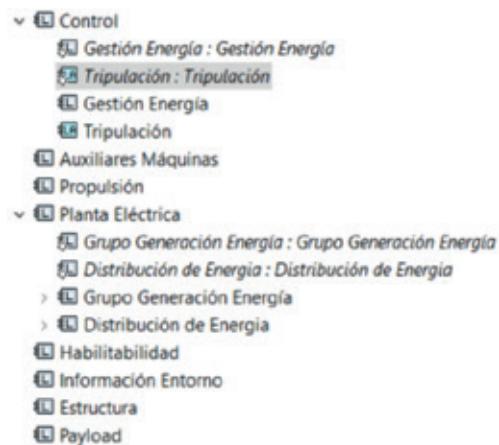


Figura 9. Descomposición Lógica del Sistema

gicas obtenidas de la transición y desarrollo de las cadenas funcionales del sistema.

En este momento, los cálculos y simulaciones de conjunto, a nivel de cadena funcional o capacidad del sistema permiten definir y dimensionar los diferentes componentes lógicos y los intercambios entre ellos, lo que

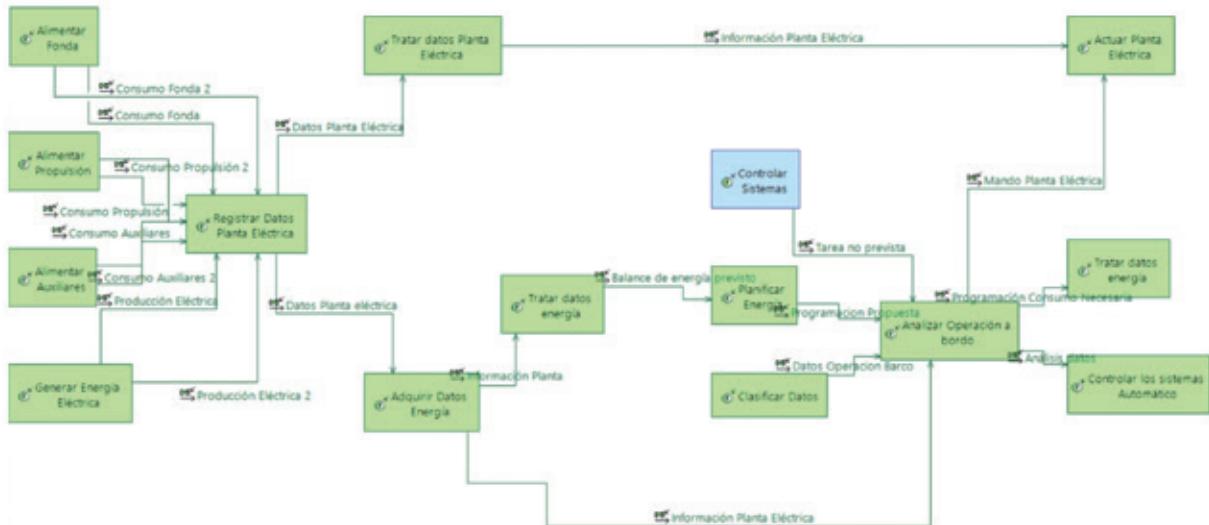


Figura 10. Cadena Funcional lógica de Gestión de Energía

permite la generación de diferentes soluciones de diseño para evaluar la mejor alternativa para el diseño.

La metodología ISBM permite generar las reglas de conexión (traspaso de parámetros y variables del sistema) de diferentes modelos de simulación para generar un modelo global de simulación del sistema, lo que permite que la espiral de diseño para cada solución de diseño se complete en una sola ejecución de ese modelo global.

Del mismo modo, permite el análisis de alternativas de porciones del sistema, de manera que se permita analizar si para los datos de entrada de esa porción del sistema se obtienen las capacidades del sistema esperadas.

La arquitectura lógica del sistema se dará por finalizada cuando se haya completado el análisis de alternativas del sistema y se haya encontrado la solución de diseño más adecuada para el sistema.

La arquitectura lógica es la arquitectura de la Línea Base Funcional, y en este momento, se dispone de la información para generar la especificación de contrato, que es la descripción de esa solución de diseño.

Arquitectura Física

Con la solución de diseño elegida se completa la arquitectura física del sistema, en la que se fija el desglose de componentes y sus funciones asociadas para la definición de los componentes físicos. El resultado de la arquitectura física es la asignación de las funciones a los diferentes elementos definidos en el sistema, la descomposición engloba componentes de comportamiento (fondo azul) integrados en componentes físicos (fondo amarillo), las funciones se asignan, en general, sobre los componentes de comportamiento.

Los componentes de comportamiento se asimilarán a átomos de simulación pues ejecutan funciones a partir de los intercambios funcionales de entrada y entregando al sistema los resultados de dicha simulación como los intercambios funcionales de salida. Los tipos de relaciones mostrados en la Figura 12. Arquitectura física de las cadenas funcionales Gestionar Energía y Distribución Principal son:

- Intercambios funcionales entre funciones físicas
- Intercambios entre componentes de comportamiento (DC X para intercambios de

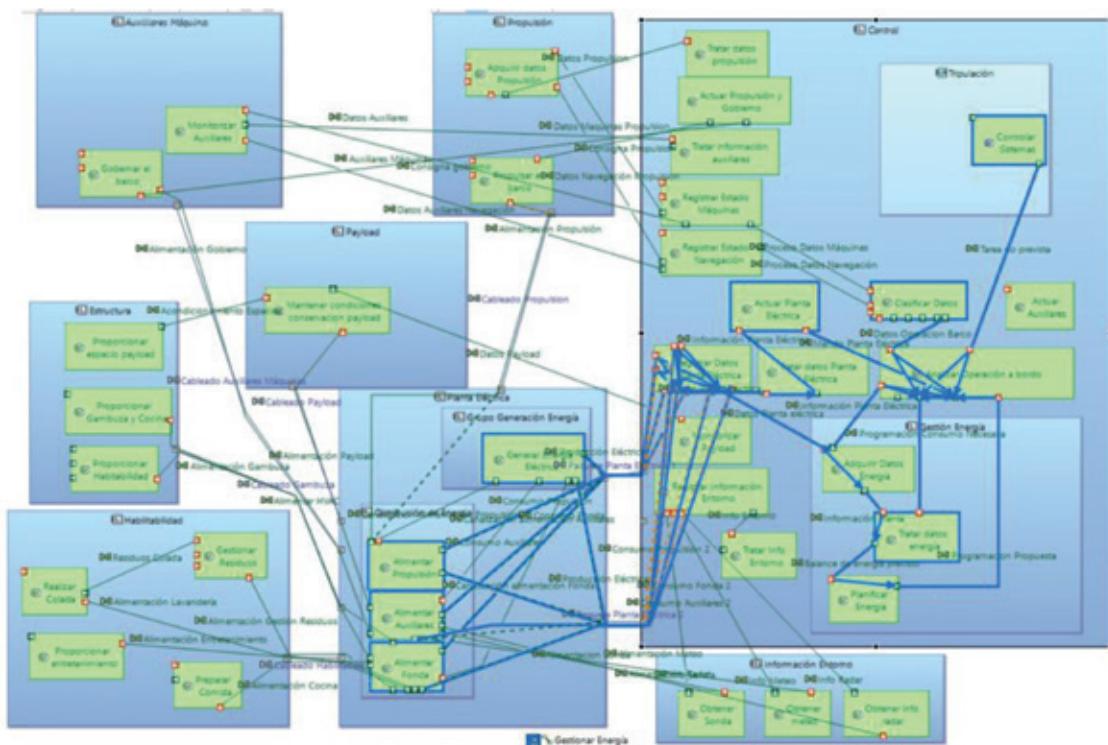


Figura 11. Arquitectura lógica parcial mostrando la cadena funcional de gestión de energía

datos y EL X para intercambios de energía eléctrica) que corresponden a interfaces entre componentes de comportamiento, cada intercambio de componente está trazado a los intercambios funcionales que ejecuta

- Enlaces físicos correspondientes con interfaces físicas entre componentes físicos, contienen la trazabilidad a los intercambios de componentes que circulan por ellos

La definición completa de la arquitectura física y la simulación asociada corresponderá con el diseño preliminar del sistema y por lo tanto con la Línea Base Asignada del sistema, permitiendo la incorporación a dicha línea base de los componentes físicos definidos en la misma.

Arquitectura Física Extendida

La arquitectura física extendida fija los requisitos para el diseño de detalle y la fabricación, montaje y pruebas del sistema, el re-

sultado es la Línea Base de Producto y por lo tanto el diseño listo para la CDR.

En este caso, de la capacidad original definida en el análisis del sistema, de gestionar la energía, se podría obtener una especificación de alto nivel del sistema como descripción funcional de la arquitectura física.

Descripción funcional del Sistema de Gestión de Energía

El sistema de gestión de energía es un sistema software que será parte del Sistema de Control del Barco. El sistema de gestión de energía entregará al Sistema de Control una planificación por guardia del consumo de la planta eléctrica para la guardia en curso y todas las guardias en las próximas 24 horas de la fecha del sistema, el control de la planta y los consumidores lo realizará el sistema de control.

El sistema de gestión de energía supervisará en tiempo real la planta eléctrica y los datos

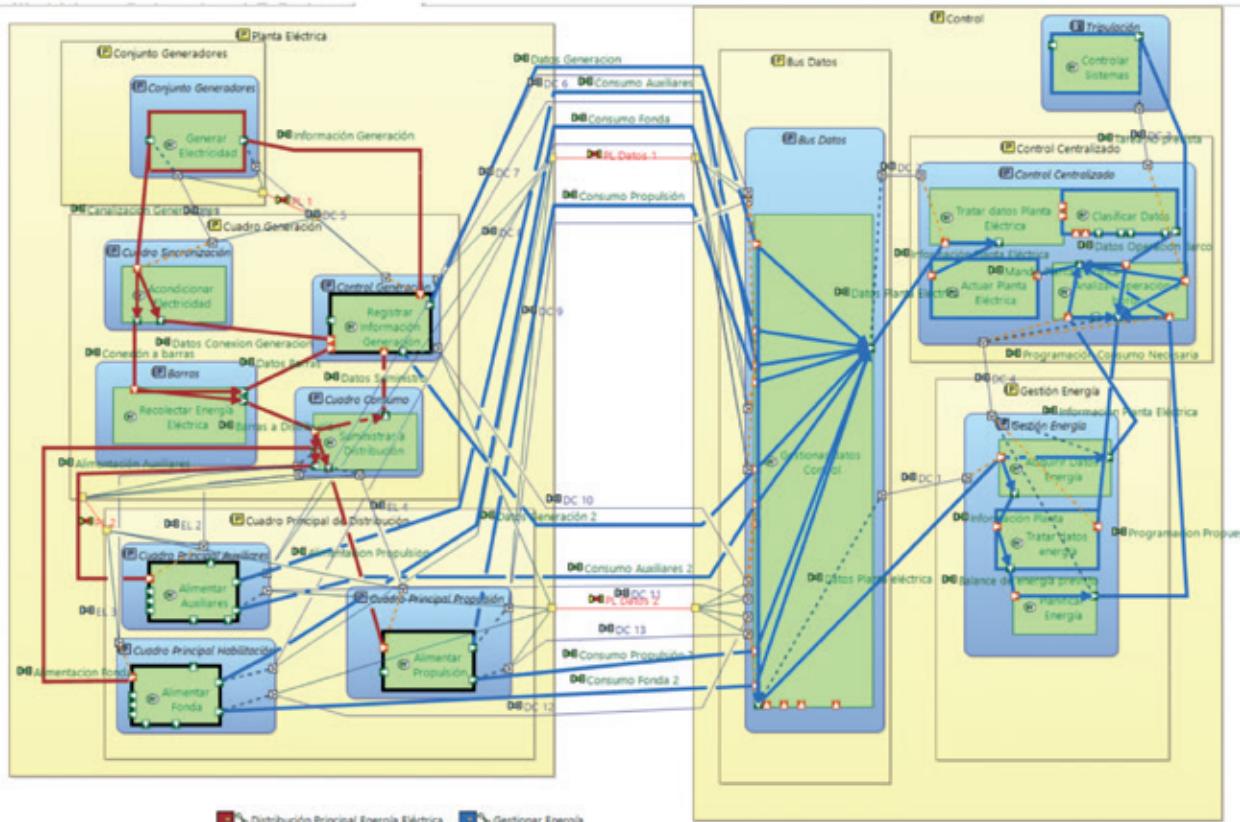


Figura 12. Arquitectura física de las cadenas funcionales Gestión Energía y Distribución Principal

de operación del sistema de control para adaptar la planificación de consumo eléctrico de manera instantánea.

El sistema de gestión de energía dispondrá de un módulo de adquisición de datos que recibirá datos del sistema de control de la programación de consumo necesaria para el periodo de planificación y de los datos en tiempo real de la planta eléctrica, tanto de generación como de consumo.

El sistema de gestión de energía dispondrá de un módulo de tratamiento de datos en el que comparará con las reglas y criterios definidos instantáneamente el consumo y la generación de energía.

El sistema de gestión de energía dispondrá de un módulo de programación de energía que suministrará una programación de energía en tiempo real al Sistema de Control.

2.1.2. Parámetros de entrada para la evaluación del diseño

Los parámetros de entrada para la evaluación del diseño serán los necesarios para realizar la planificación de consumos, en principio, para la etapa de diseño son:

- Generación. Potencias, tensiones, corrientes, estado generadores, estado interruptores por generador, suministrados al sistema a partir del intercambio de componentes DC1, que a su vez provienen de DC6 y DC 10 que provienen de DC5
 - Distribución. Potencias, tensiones, corrientes y estado interruptores por cuadro de distribución, suministrados al sistema a través del intercambio de componentes DC1, provenientes de DC7, DC8, DC9, DC11, DC12 y DC13.
 - Consumos. Potencias nominales, factores de uso, estado interruptores por consumidor, función paramétrica de consumo

provenientes de la información de control transmitida por el intercambio de componentes DC4.

2.1.3. Parámetros de cumplimiento de las necesidades operativas contractuales

Los parámetros de cumplimiento para el sistema de gestión de energía vendrán dados por los parámetros de dimensionamiento de la planta, que serán los requisitos de alto nivel de la cadena funcional Gestionar Energía de la Figura 12, en la que serán básicamente las potencias instaladas de generadores y consumidores y las cargas máxima y mínima fijadas para el contrato, en los diferentes escenarios operativos.

2.2. Simulación para el diseño asociada al modelo

El cálculo clásico detrás de la cadena funcional Gestionar Energía es el Balance Eléctrico del barco, que se trata de un método determinístico, en el que se acuerda una o varias condiciones de cálculo para el barco en la que los consumos no se definen por situaciones operativas reales sino por unos criterios de buenas prácticas que son aceptados por las partes y que probablemente nunca se den en la realidad de la operación del barco.

Disponer de un modelo de simulación de la planta que permita aplicar unas reglas de simultaneidad, de potencias o de tiempos de uso más ajustados a una situación operativa real, por lo que una vez obtenido el modelo se pueden simular, en el periodo de desarrollo de la Ingeniería, situaciones más cercanas a la verdadera operación de la planta.

Ese modelo puede prepararse, bien para correr una lista de casos cerrados (determinista) que es el enfoque del balance eléctrico, o dotarle de otras propiedades, como un mo-

delo estocástico, que genere aleatoriamente (siempre en los límites de uso del sistema) situaciones posibles y evalúe si la planta se comporta dentro de los parámetros de diseño o no usando métodos estadísticos.

El modelo que se presenta, que pretende programar el consumo eléctrico, necesita además de la variable temporal, por lo que deberá tener la capacidad de evaluar las variaciones de generación y consumo a lo largo del tiempo.

2.3. Ventajas del diseño basado en modelo

Las ventajas fundamentales del diseño soportado por ISBM son:

- Generar una especificación de requisitos con representación gráfica de la trazabilidad de las capacidades (necesidades de las partes interesadas) a cada una de las funciones elementales
- Generar las relaciones entre las diferentes funciones identificando los intercambios entre ellas
- Generar una estructura de producto con las funciones asignadas a uno de los nodos de producto
- Generar la lista de interfaces lógicos y físicos entre los componentes de un sistema por los que se producen los intercambios
- Soportar la estructura e interfaces de modelos de simulación e identificar sus parámetros de entrada y de salida
- Soportar una mayor variedad de cálculos de Ingeniería basados en modelos de simulación
- Permitir a los diferentes dominios de la Ingeniería evaluar la estructura del sistema sobre el modelo, independientemente de su dominio
- Generación de bibliotecas de modelos de Ingeniería y de Simulación asociados, parametrizados en base a métricas clave

- (Numeral de equipo, Potencia requerida, N° de tripulantes, etc)
- Diseño de pruebas del sistema mediante arquitecturas específicas con trazabilidad a los componentes y funciones de estos a evaluar
 - Durante la etapa de diseño y desarrollo, el modelo, por su enfoque funcional, facilita los análisis de “safety”, identificando las funciones de seguridad como un subconjunto de las definidas, y permitiendo vistas adicionales del modelo con las cadenas funcionales correspondientes a los riesgos y peligros “safety”, cuyas funciones principales se habrán definido en el desarrollo del barco.
 - Del mismo modo las cadenas funcionales facilitan el estudio de fiabilidad de los sistemas, identificando los modos de fallo de las cadenas funcionales y su evaluación tanto cualitativa como cuantitativa.

Los principales inconvenientes de ISBM son:

- Capacitación de los equipos en herramienta y en metodología poco extendida
- Coste inicial de la Ingeniería, por requerir un trabajo previo al diseño de alta especialización

3. LA OPERACIÓN

3.1. La operación, cumpliendo objetivos para cada misión

La metodología se basa en la definición de misiones que requieren de ciertas capacidades operativas a cierto nivel de desempeño, este enfoque que durante la fase de diseño se centra en unas misiones con parámetros diferentes a los de diseño, y que pueden ser variables en función de la misión o ciertas restricciones operativas.

Para el apoyo a la misión, cada vez es más habitual el apoyo a la tripulación de siste-

mas de información en tierra con capacidad para la planificación de la misión.

3.1.1. Modelos de misión

Para cada misión, el modelo tendrá que adaptarse a las circunstancias operativas del barco en cada momento, si el modelo se va a usar para la operación, será preciso actualizar ese modelo con las circunstancias reales de ejecución de la misión.

En este sentido, el modelo deberá tener la posibilidad de considerar la situación real de los activos a bordo, las condiciones ambientales en las que se va a realizar la misión y la situación de la carga real.

En el caso particular de un sistema de gestión de energía, el modelo debe ser capaz de evaluar todos estos parámetros.

Estos y otros factores implican además que el modelo de diseño debe ser capaz de adaptarse a las diferentes situaciones operativas, por lo que el modelo debe ser configurable, si en la etapa de diseño se tuvieron en cuenta los parámetros que se presentarán más adelante, la arquitectura del modelo de operación puede usarse sin modificaciones, pues solo se trata de modificar los parámetros que se consideraron fijos y coincidentes con las condiciones contractuales en los modelos de simulación.

Por esta razón, la evaluación del modelo de operación debe realizarse en la fase conceptual para que de este modo, los modelos de simulación de diseño sean aprovechables para la fase de operación.

3.1.2. Parámetros de entrada del modelo de la misión (digitalización para la operación)

De acuerdo con el modelo de la misión establecido, el modelo tendrá que ser capaz de

adquirir, evaluar y usar en las estimaciones, por ejemplo, los siguientes parámetros adicionales a los parámetros de diseño:

- Parámetros de configuración física. Condición real del barco como activo
 - Elementos configurados y su condición cualitativa (Nominal o degradada)
 - Métricas de desempeño de los activos
 - Payload real de la misión
- Parámetros de condiciones ambientales. Escenario de condiciones ambientales en las que se desarrolla la misión
 - Temperaturas del aire y del agua en las que se desarrolla la misión
 - Estado de la mar
- Parámetros de planificación de la misión. Escenario de prestaciones previsto a priori para la ejecución temporal de la misión
 - Ley temporal de métricas de las capacidades operativas planificadas
 - Ley temporal de métricas de las capacidades operativas real
- Nivel de prioridad de las tareas que requieren consumo eléctrico
 - Horizonte temporal para la realización de la tarea (una guardia, diaria, en las próximas X horas, ejecución a demanda)
 - Capacidad exigida de la tarea respecto a la nominal, habrá tareas que se puedan regular en carga, bien porque los sistemas disponen de carga variable, bien porque los sistemas disponen de varios elementos para el servicio que pueden ejecutarse separadamente.

En función del nivel de la simulación previsto, estos parámetros pueden verse incrementados o no ser usados.

3.1.3. Parámetros de cumplimiento de los objetivos de la misión

Los parámetros que nos devuelva el modelo de simulación son los que evalúan el nivel de

cumplimiento de los objetivos de la misión, que básicamente son:

- Capacidad de la planta para suministrar la energía en todas las situaciones de la misión
- Energía consumida durante la misión respecto a la prevista

3.2. Simulación asociada al modelo de operación

El modelo de simulación asociado a la operación puede estar compuesto por un modelo más pesado (que gestione más parámetros) y que puede no ir embarcado, sino que corre en tierra para planificar la misión, tarea para la que el tiempo de ejecución no es tan exigente.

El modelo de simulación instalado a bordo puede ser más ligero y gestionar un número inferior de parámetros en favor de la agilidad de cálculo que se requiere.

Los modelos de simulación deben analizarse de manera sistemática para verificar que mantienen los niveles de fidelidad y confianza esperados.

3.3. Ventajas de la operación basada en modelo

La operación soportada en modelo permite un mejor seguimiento de la operación del barco, la capacidad de evaluar el barco en diferentes situaciones operativas y la mejor planificación de los costes operativos.

4. EL MANTENIMIENTO

4.1. El mantenimiento, asegurando la disponibilidad operativa

La definición de la arquitectura del sistema mediante modelo permite el apoyo al análisis

de mantenimiento desde la etapa de diseño, apoyando el análisis de fallos y el análisis de seguridad operativa.

El objetivo de los modelos para el mantenimiento es garantizar que el mantenimiento se realiza de forma predictiva, es decir, ser capaces de evaluar en base a parámetros medidos en los activos, la condición de los activos y así determinar si el activo requiere o no el mantenimiento programado o si el activo requiere un mantenimiento inmediato.

En general, existirá un plan de mantenimiento programado, basado en los períodos de mantenimiento aconsejados por el suministrador y el modelo de mantenimiento ajustará ese plan de manera que adelante los mantenimientos necesarios y posponga o elimine del plan los mantenimientos de aquellos equipos cuya evaluación de la condición prediga un periodo mayor entre mantenimientos.

4.1.1. Modelos de mantenimiento

Los modelos de mantenimiento son modelos generados específicamente para este fin, en los que habrá que añadir las capacidades y sus cadenas funcionales asociadas necesarias para vigilar y evaluar la condición de los activos.

Al suponer un esfuerzo adicional relevante respecto al modelo de diseño y operación, conviene que el alcance de estos sea claramente establecido en base al análisis de los activos por el coste, criticidad en la seguridad de los fallos y efecto de estos en la disponibilidad operativa.

Es habitual además que determinados equipos de entre los candidatos a incluirse en el modelo de mantenimiento dispongan de modelos generados en algún formato por los suministradores, pero que otros equipos no dispongan de esos modelos, por lo que

es necesario evaluar si un análisis de modos de fallo y criticidad de estos debe realizarse para crear un modelo de fallos. En el caso de que el modelo sea suministrado por el suministrador, es posible además que el modelo se pueda integrar en un modelo global de predicción, pero en otros casos, se suministre una caja negra que sea difícilmente integrable.

4.1.2. Parámetros de entrada del modelo de mantenimiento (digitalización para el mantenimiento)

El modelo de mantenimiento requerirá los parámetros que sean resultado del análisis de los modos de fallo del componente, en el caso además de que el modelo sea construido por los suministradores, los parámetros pueden tratarse dentro de la caja negra y no ser accesibles.

Parámetros típicos que digitalizar para el mantenimiento son:

- Parámetros de uso.
 - Tiempo de funcionamiento
 - Ley de carga durante el periodo de funcionamiento
- Parámetros de funcionamiento interno de los activos
 - Temperaturas interiores y exteriores
 - Vibraciones para máquinas con partes móviles, especialmente rotativas
 - Medida de elementos extraños en aceites lubricantes (agua, hidrocarburos, partículas metálicas, etc)
 - Presiones internas de trabajo
 - Presión diferencial en filtros
 - Presión diferencial en bombas, ventiladores y compresores
 - Régimen de funcionamiento
- En aparatos eléctricos, y en particular para un sistema de gestión de energía
 - Diferencias de tensión en los extremos de las líneas

- Factor de potencia
- Potencias en los extremos de las líneas
- Desequilibrio de corriente o tensión entre fases
- Temperatura de cuadros
- Temperatura de devanados de motores
- Medida de aislamiento
- Inspecciones visuales
 - Fugas de fluidos
 - Corrosión
 - Deterioro de elementos de fijación
 - Daños mecánicos en cubiertas, pintura o en los aislamientos

A excepción de las inspecciones visuales, cuya digitalización es más complicada, el resto de los parámetros puede medirse mediante sensores conectados a los sistemas de control para su proceso.

4.1.3. Parámetros de cumplimiento de disponibilidad

Los parámetros de cumplimiento de disponibilidad o de mantenimiento que habrá que simular son:

- Probabilidad de fallo del equipo en un periodo
- Condición del activo
 - Reparación inmediata si alguno de los parámetros obtenido o calculado sobrepasa el límite aceptable
 - Inferior/igual o superior a la esperada que recortará/mantendrá o alargará el plazo de mantenimiento

4.2. Modelos de simulación para el mantenimiento

De este modo tenemos los modelos de simulación de la condición que serán capaces de evaluar la condición del activo y compararla con una curva de evolución que podría estimarse con una distribución de probabilidad y un MTBF (tiempo medio entre fallos) o mé-

trica similar, y en la que usaremos cálculos basados en los parámetros medidos para estimar en qué posición de la distribución se encuentra nuestro activo.

En el caso de que no se esté evaluando el activo, con un MTBF y la distribución de probabilidad adecuada, se puede estimar la probabilidad de fallo puramente estadística para un componente en el periodo deseado, por ejemplo, para componentes mecánicos es habitual emplear una distribución de Weibull.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Ecuación 1. Probabilidad de fallo en función del tiempo

Donde R es la fiabilidad, β es el parámetro de Weibull que depende de cada componente y η el tiempo para que falle el 63,2% de la población.

Para otra parte de los activos, la medida no requerirá de cálculo, sino que el sistema pondrá la reparación o sustitución en cuanto alguno de los parámetros clave no alcance el umbral definido, como puede ser el caso de la caída de presión diferencial de un filtro o una bomba.

4.3. Ventajas del mantenimiento basado en modelo

El mantenimiento basado en modelo permite la estimación de los períodos de mantenimiento y corregir los períodos de mantenimiento programado, mejorando la eficiencia del mantenimiento y la disponibilidad operativa del barco.

5. GLOSARIO

Actividad operativa. Tarea o servicio identificada por el usuario o parte interesada del

sistema que es necesario ejecutar por el sistema o un usuario del sistema durante la operación del sistema.

Intercambio funcional. Salida de una actividad operativa o función que es la entrada a otra actividad operativa o función y que intercambia datos, señales, información, masa, energía, etc.

Proceso operativo. Sucesión de actividades operativas y sus intercambios funcionales necesarios para la realización de una capacidad operativa.

Capacidad operativa. Necesidad de un usuario o parte interesada del sistema que tiene que ser cubierta por el mismo mediante la ejecución de uno o varios procesos operativos.

Función. Tarea o servicio que ejecuta el sistema o un usuario de este, definida durante el desarrollo del sistema.

Cadena funcional. Sucesión de funciones e intercambios funcionales necesaria para la realización de una capacidad del sistema.

Capacidad del sistema. Cualidad del sistema de transformar una serie de variables del sistema y de actuaciones del sistema o sus usuarios en un resultado requerido por los usuarios, una capacidad del sistema se obtiene mediante la ejecución de una o varias cadenas funcionales.

Intercambio entre componentes. Conexión lógica entre componentes de comportamiento o funciones por la que tienen lugar los intercambios funcionales entre ellos, corresponde con las interfaces lógicas entre componentes de comportamiento.

Enlace físico. Conexión física entre componentes físicos por los que tienen lugar los intercambios entre componentes, corresponde con las interfaces físicas entre componentes físicos.

6. REFERENCIAS

- Arcadia, T. (s.f.). Capella MBSE Tool - Arcadia. Obtenido de Capella: <https://mbse-capella.org/arcadia.html>
- DoD. (2025). <https://www.cto.mil/sea/dems/>. <https://www.cto.mil/>: DoD.
- Hutchison, N. (2024). Systems Engineering Body of Knowledge (SEBok) v. 2.11. <https://sebokwiki.org/>: INCOSE, EEE Systems Council, Stevens Institute of Technology.
- INCOSE. (2025). <https://www.incose.org/about-systems-engineering/what-is-systems-engineering>. <https://www.incose.org/>: INCOSE.
- INCOSE, T. O. (2007). SYSTEMS ENGINEERING VISION 2020. https://sdincose.org/wp-content/uploads/2011/12/SEVision2020_20071003_v2_03.pdf: INCOSE.
- NASA. (2016). NASA Systems Engineering Handbook. Obtenido de www.nasa.gov: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2018/09/nasa_systems_engineering_handbook_0.pdf
- Voirin, J.-L. (2017). Model-based System and Architecture Engineering with the Arcadia. Oxford: ISTE Press, London & Elsevier.

Green ships of the future. Some recent classification society experiences



Spyros Hirdaris



Minas Diacakis

Georgios Koutsoumpas, Orestis Vlachos, Yvonne Damianidou, Vassilis Zouzoulas,
Michail Stavropoulos, Chris Leontopoulos

American Bureau of Shipping – ABS

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

ÍNDICE

Abstract / Resumen

1. INTRODUCTION

2. WIND ASSISTED PROPULSION (WASP)

3. EMERGING FUELS

3.1. Methanol

3.2. Biofuels

3.3. Ammonia (NH_3) as fuel

3.4. Hydrogen (H_2) as fuel

4. MARINE NUCLEAR PROPULSION

5. ADVANCED POWER TRAIN SYSTEMS

5.1. Sterntubeless vessels

5.2. Shaft Alignment

6. REMOTE SURVEYS AND INSPECTIONS

7. EPILOGUE

ACKNOWLEDGMENT

8. REFERENCES

Abstract

In recent years shipping endeavored to mitigate a noteworthy reduction in fuel consumption on a capacity basis as well as reduce GHG emissions along the lines of the International Maritime Organization's (IMO) 2050 sustainability agenda. At the same time novel autonomous technologies that can be

used for remote surveys and advanced green propulsion systems are under development.

BS plays an important and well-established role in these efforts by introducing assurance standards of safety and sustainability through the suitable development or application of technology and the implementation of green solutions for

innovative green ship designs. This paper reviews recent experiences of ABS with focus on wind-assisted propulsion, alternative fuels, nuclear shipping, autonomous ship surveys and sea water lubrication. The fast pace of modern innovation activities and technological advancements implies that there can be no trade-off between safety and sustainability priorities.

Consequently, as shipping pursues a path toward decarbonization, a rethink of risk management with renewed focus on the impact of emerging technologies should remain top priority.

RESUMEN

En los últimos años, el transporte marítimo se ha esforzado por mitigar una notable reducción del consumo de combustible en función de la capacidad, así como por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en línea con la agenda de sostenibilidad 2050 de la OMI.

Al mismo tiempo, se están desarrollando nuevas tecnologías autónomas que pueden utilizarse para estudios remotos y sistemas avanzados de propulsión ecológica. ABS desempeña un papel importante y bien establecido en estos esfuerzos mediante la introducción de estándares de garantía de seguridad y sostenibilidad a través del desarrollo o la aplicación adecuada de tecnología y la implementación de soluciones ecológicas para diseños innovadores de buques ecológicos.

Este artículo revisa las experiencias recientes de la Sociedad con enfoque en la propulsión asistida por el viento, los combustibles alternativos, el transporte nuclear, los estudios de buques autónomos y la lubricación con agua de mar.

El rápido ritmo de las actividades de inno-

vación modernas y los avances tecnológicos implican que no puede haber un compromiso entre las prioridades de seguridad y sostenibilidad. En consecuencia, dado que el transporte marítimo sigue un camino hacia la descarbonización, un replanteamiento de la gestión de riesgos con un enfoque renovado en el impacto de las tecnologías emergentes debe seguir siendo la máxima prioridad.

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 unpThe maritime industry is transporting about 90 % of world commerce and it is estimated that they contribute to approximately 2.7% of the global Green House Gas (GHG) emissions.

In recent years the increasing pressure on the sector to reduce their carbon footprint required the development of specialized energy-efficient technologies. GHG emissions can be reduced by technical and operational measures that may improve energy efficiency and market-based measures that are designed to provide economic incentives for emission reduction. Examples of technological development include emerging fuels (e.g. ammonia, hydrogen, etc.), wind and nuclear propulsion.

While the development of technological solutions with a focus on controlling ship air emissions are ongoing, the use of a new wave of technologies for sea pollution prevention and functional safety measures for unmanned surveys are also becoming increasingly prevalent. This is supported by advances in maritime automation,

digitalization, and conventional propulsion systems. Examples of application include the significant shift towards the adoption of emerging autonomous ship survey technologies (e.g. drones) that can collect data in extreme marine environments without direct human intervention and the use of water lubricated bearing systems in ship power train applications.

The fast pace of technological advancements implies that there can be no trade-off between safety and sustainability. Consequently, as shipping pursues a path towards decarbonization, a rethink of safety risk management with a renewed focus on the impact of emerging technologies remains top priority. While rethinking marine technology key areas of work may involve advances in automation and digitalization, the Internet of things (IoT) and the marinization of big data science, new fuels and engines, nuclear technology, modern risk management methods, sensorisation and miniaturization, advanced materials and remote inspections including state of the art non-destructive techniques, etc.

This paper draws an outlook on some of the ongoing developments with a focus on emerging fuels, green marine propulsion and remote surveys. The scope is to underscore the value of ongoing strategic research initiatives undertaken by the American Bureau of Shipping (ABS). Key information of relevance to emission abatement technologies, namely wind assisted propulsion (WASP), and marine fuels are discussed in Sections 2 and 3. Section 4 briefly outlines recent developments in marine nuclear propulsion. Innovations of relevance to conventional power train systems (shaft alignment, sea water lubrication) are highlighted in Section 5 followed by an outlook on remote surveys in Section 6. Conclusions are drawn in Section 7.

2. WIND ASSISTED PROPULSION (WASP)

WASP systems harness natural wind energy to generate thrust. Their performance is inherently variable and is influenced by the type and number of units installed, ship design, operating conditions, and environmental factors.

IMO has recognized wind assisted propulsion technology and its potential impact on energy savings and has included the effects of wind propulsion into the Energy Efficiency Design Index (EEDI) calculation in (IMO, 2013), in which wind assisted propulsion technology is considered a method of reducing main engine power requirements. An ABS lead review of wind assisted propulsion for shipping has been published by EMSA in 2023 (Laursen, et al., 2023).

Key technologies include Flettner rotors, rigid wing sail systems, soft sails, and kites. Flettner rotors are vertical, spinning cylinders that use the so called ‘Magnus effect’ to produce thrust. They operate effectively across various wind conditions and can be integrated with existing propulsion systems to achieve significant fuel savings. Rigid wing sails mitigate aircraft wings to provide high aerodynamic efficiency and encompass adjustable settings for optimal wind capture.

Their implementation requires careful consideration of vessel stability and hydrodynamic performance. Soft sails are usually constructed from advanced high-performance materials and are thought to be particularly advantageous for vessels that encounter variable wind conditions. Finally, remotely controlled kite systems can reach higher altitudes where wind speeds are stronger, offering a low-drag, deployable solution that enhances propulsion efficiency.

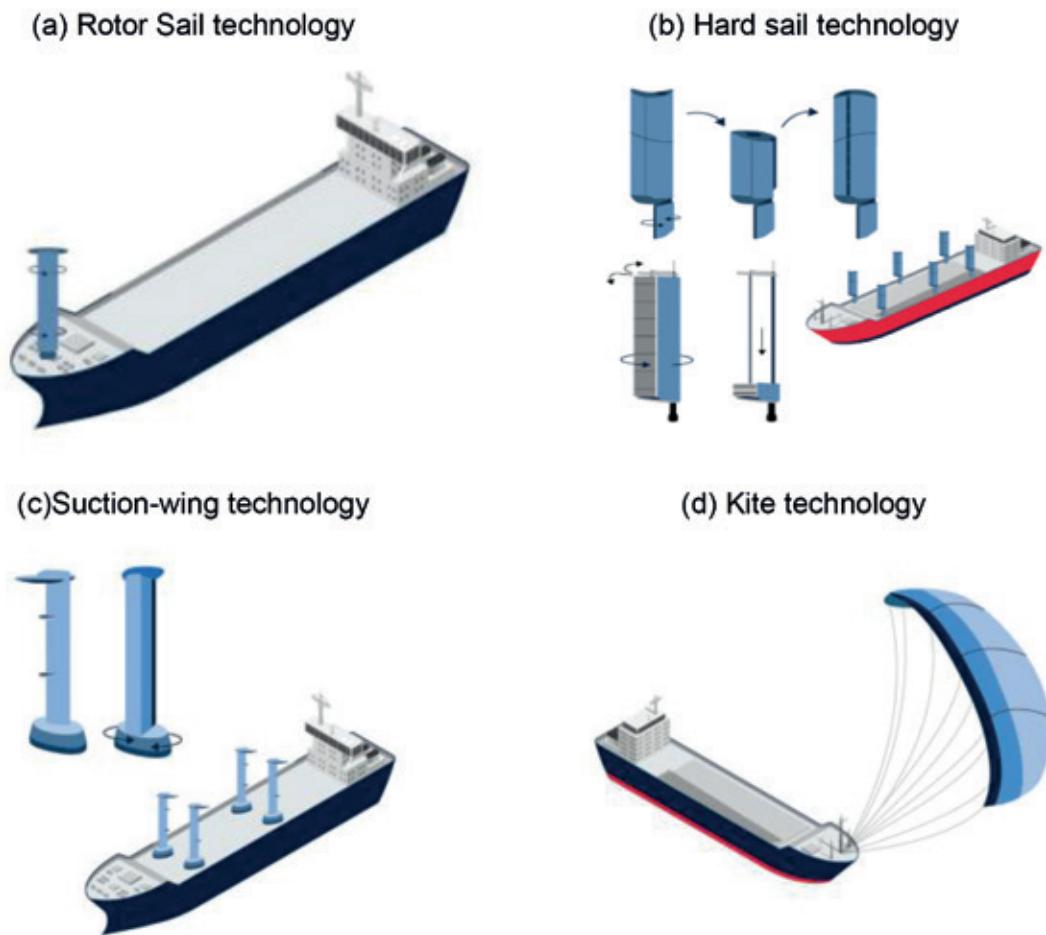


Figure 2.1. WASP propulsion idealizations (Laursen, et al., 2023)

Integration of WASP systems poses challenges related to vessel stability, maneuverability, increased air draft, and potential interference with navigational operations. Additional concerns include ice accumulation, fire, and lightning hazards, as well as noise and vibrations.

The economic attractiveness of WASP is contingent on capital expenditure (CAPEX), expected fuel savings, and vessel-specific operational parameters. For example, bulk carriers may require multiple units which may entail higher upfront costs but may yield greater fuel savings. On the other hand, cruise ships might only need one or two units. Although initial costs are a significant factor, projected cost reductions and the growing adoption of renewable fuels could improve the financial case for WASP, even as their relative carbon savings may decrease over time.

The existing regulatory framework lacks comprehensive guidelines for WASP integration. Critical factors such as navigational safety, ship maneuverability, stability, and compliance with standards like the IMO's Energy Efficiency Design Index (EEDI) must be addressed to facilitate broader adoption. Structural reinforcement for safe force transmission, though sometimes necessary, is not seen as a major technical or financial barrier. Determining the feasibility of WASP installations requires ship-specific numerical simulations that factor in vessel characteristics, trade routes, and prevailing weather conditions. Additionally, effective crew training is essential to optimize performance. Space constraints are of key relevance to container and passenger ships. They may also interfere with cargo operations and port infrastructure (e.g., bridges, cranes). Innovations such

as foldable or tiltable WASP solutions and containerized systems are promising approaches to overcome these limitations. The ABS Guide to Wind-Assisted Propulsion System (ABS, 2022b) Installation provides class safety standards for the installation of wind-assisted systems. It is applicable to two leading wind-assisted propulsion technologies: Flettner rotors and wing sails, including both rigid and soft sails. The guide covers structures, machinery, stability, navigational safety, maneuverability, fire safety, emergency systems, materials and non-destructive testing. It introduces the notations Wind-Assisted in respect of vessel safety and Wind-Assisted+, which additionally addresses the safety of the system and machinery.

Over the medium-term policy initiatives such as the IMO Revised GHG Strategy and the EU's Fit-for-55 package are anticipated to drive WASP adoption by incentivizing renewable

energy and low-carbon technologies. With appropriate safeguards, updated regulations, and continued investment, WASP systems are well positioned to play a significant role in the maritime industry's transition to sustainable propulsion solutions.

3. EMERGING FUELS

3.1 Methanol

A summary of key issues on the use of methanol as marine fuel has been published (ABS, 2021c). Methanol (methyl or wood alcohol) is a clear, odorless chemical compound that has an additional oxygen atom compared to methane, with the chemical composition CH_3OH (often abbreviated to MeOH). It is water soluble, biodegradable, with a low flashpoint of approximately 12°C and is corrosive to certain materials. Methanol can be produced

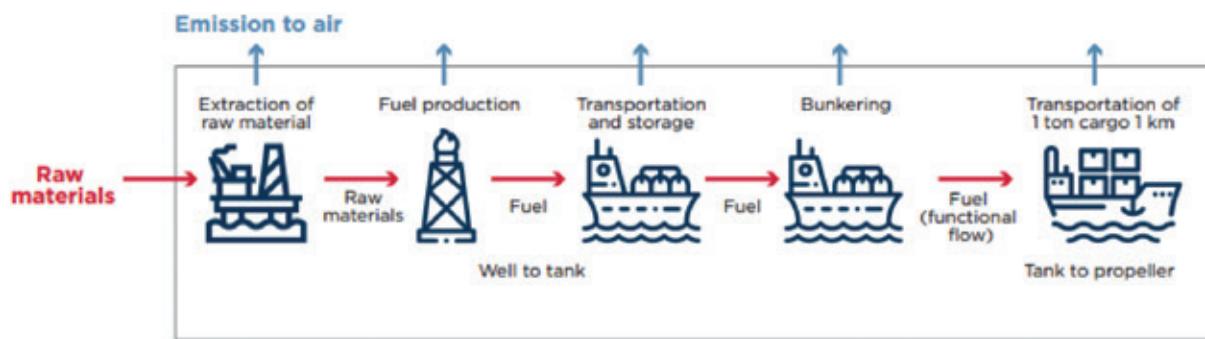
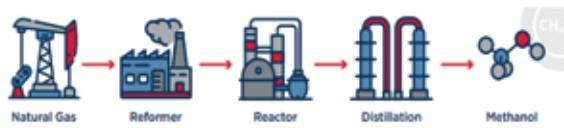


Figure 3.1. Life cycle analysis of marine fuels from well to propeller (ABS, 2021c)

(a) Methanol production from natural gas



(b) Biomass (Wood) to methanol process

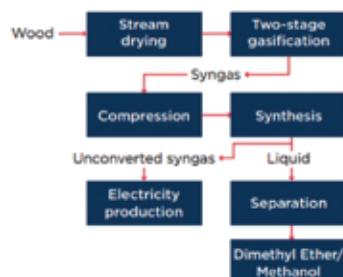


Figure 3.2. Methanol production formations (ABS, 2021c)

from renewable sources such as biomass or an electrolysis process, named bio-methanol and e-methanol, respectively, and may be delivered on a commercial scale. It is a widely shipped commodity, being used in a variety of applications such as the chemical industry for many decades. The supply chains already exist and are well-positioned to reliably supply methanol as a marine fuel in many ports around the world. As methanol is a liquid at ambient temperature, the existing liquid fuel infrastructure may also be leveraged for the supply of methanol with limited conversion. Bunker vessels may also be a viable option for maritime bunkering (see Figures 3.1,3.2).

Methanol may be used onboard ships as fuel for internal combustion engines or as a fuel source for fuel cell operation. It has cleaner burning properties enabling reduced exhaust gas emissions such as Sulfur Oxides (SO_x) and particulate matter (PM) and emits less nitrogen oxides (NO_x) than conventional fuel oils. It is classified as toxic by the IMO's International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk (IBC Code). The United States National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH) value is 6,000 parts per million (ppm). The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Permissible Exposure Limit is 200 ppm over an 8 hours' time-weighted average (TWA).

ISO 6583:2024 is a standard on general requirements and specifications for the use of methanol for marine applications (ISO, 2024). It considers all forms of production at the point of custody transfer, prior to any onboard required treatment, for use as fuel in marine diesel engines, fuel cells and other marine applications. The specifications in this

document can also be applied to methanol used as fuel in land-based applications of the same or similar type as those used for marine purposes. Agreements for fuel supply should also take into consideration the International Methanol Producers and Consumers Association (IMPCA) Methanol Reference Specifications (IMPCA, 2025) and the required specifications of the equipment manufacturers, i.e., the engine and fuel supply system designers, e.g. (Wärtsilä, 2025).

3.2 Biofuels

A summary of key issues on the use of biofuels as marine fuel has been published in (ABS, 2021a). Biofuel is a general term encompassing a wide variety of liquids or gases derived from biomass or bio-waste. These include fatty-acid methyl ester (FAME) biodiesel, hydrotreated renewable diesel, Fischer-Tropsch (FT) diesel, dimethyl ether (DME) and bio-methanol. For this document, only the liquid drop-in biofuels are discussed that are most likely to be compatible with distillate and residual marine fuels such as marine gas oil (MGO) and heavy fuel oil (HFO). A drop-in fuel alternative is one that can blend with or fully replace an existing fuel with no required modifications to fuel storage, transfer systems or end consumer. Unblended fuel replacements can be known as 'neat' fuels, indicating a fuel sourced from 100% biomaterials. Drop-in biofuels are attractive for their non-toxic biodegradable properties and reduced GHG emissions profile when combusted, especially regarding sulfur oxides and particulates. The similar properties between drop-in biofuels and conventional petroleum fuels allow biofuel to take advantage of existing fuel transport and bunkering infrastructure. As such, they can provide logically and economically attractive solutions for current and future marine vessels.

Biofuels are inherently sulfur-free. This contributes to a reduction in sulfur oxide (SO_x) emissions. However, nitrogen oxides (NO_x) emissions can vary significantly based on the type of fuel and the engine configuration. Notably, bio-methanol and bio-methane exhibit superior reductions in NO_x and particulate matter (PM), especially in Otto-cycle engines. Pathways that utilize lignocellulosic biomass, such as bio-methanol, dimethyl ether (DME), and Fischer-Tropsch (FT) diesel, offer the most substantial greenhouse gas (GHG) reductions throughout the well-to-tank emissions lifecycle.

Several biofuels, including bio-methanol and bio-LNG, can effectively replace their fossil fuel counterparts without necessitating additional modifications. Diesel-like fuels, such as hydrotreated vegetable oil (HVO) and fatty acid methyl esters (FAME), are increasingly being tested in blends and are gaining traction in the marketplace. However, emerging fuels like FT diesel and pyrolysis oils still require further development to enhance their calorific value and to improve

compatibility with marine engines. The projected availability of biomass remains uncertain due to various technical, economic, and sustainability challenges. Estimates indicate potential biomass availability of between 6.3 and 8.0 exajoules (EJ) in the EU by 2030, with an increase to between 6.7 and 14.7 EJ by 2050. Global projections vary widely, with sustainability criteria playing a crucial role in determining the viability of biomass volumes.

Despite these constraints, biofuels are positioned for greater adoption as one of the most immediate solutions for decarbonizing the shipping industry. Their compatibility with existing fossil fuel infrastructure facilitates regulatory alignment, although updates to regulations and enhanced knowledge-sharing will be essential to streamline their implementation.

3.3 Ammonia (NH₃) as fuel

A summary of key issues on the use of ammonia as marine fuel has been published in (ABS, 2020), (Laursen, et al., 2023) and more recently

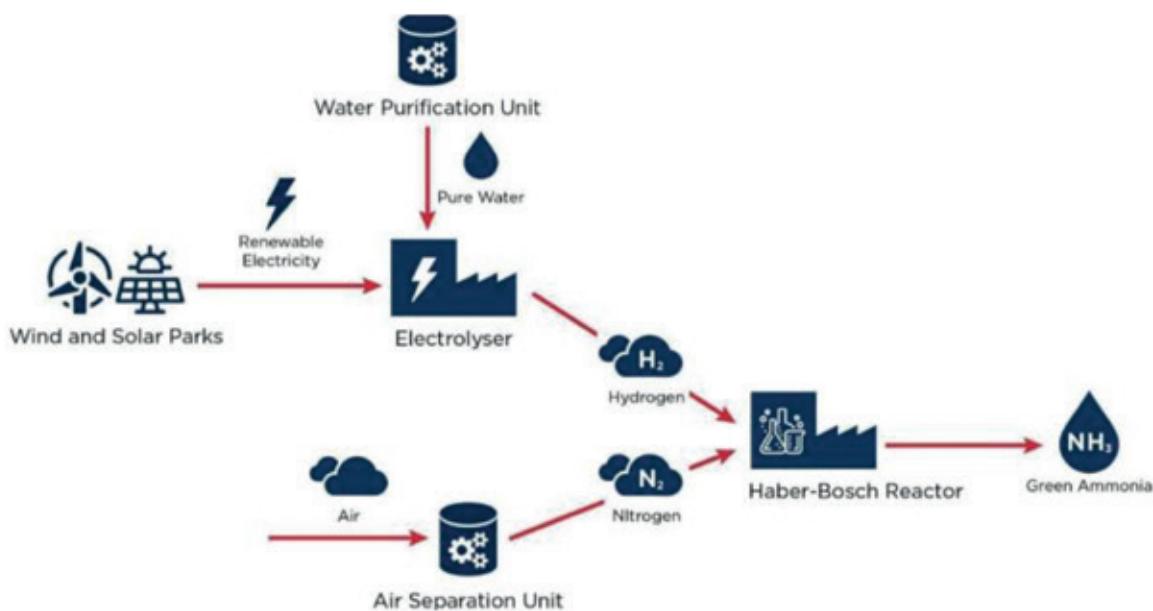


Figure 3.3. Production process of green ammonia using electrolysis and Haber-Bosch synthesis (Laursen, et al., 2023).

in the Society's requirements on ammonia fueled vessels (ABS, 2023). Ammonia is typically created by combining nitrogen with hydrogen. Therefore, the emissions from producing hydrogen as feedstock and the emissions arising from the synthesis of ammonia should be considered as part of the life cycle emissions of ammonia fuel.

Ammonia is a well-established feedstock within the fertilizer and chemical industries produced predominantly via electrolysis and the Haber-Bosch process with extensive operational experience and robust safety protocols. Ammonia's routine global transportation in gas carriers underscores its maturity as a commodity. Building on this foundation, marine propulsion technologies that utilize ammonia are advancing rapidly. However, its inherent toxicity and associated risks demand stringent design and safety measures as compared to conventional fuels or other low-flashpoint alternatives.

For ammonia to become a viable large-scale marine fuel, its production capacity must expand dramatically alongside increased availability of renewable electricity and green hydrogen. Currently, the global installed capacity for wind and solar power and the associated electrolyzer infrastructure are insufficient for large-scale ammonia synthesis. The most efficient pathway to green ammonia involves co-locating hydrogen production with ammonia synthesis facilities to minimize transportation distances and associated losses. When generated using renewable electricity, ammonia can be carbon-neutral on a well-to-wake basis. This means that sulfur and carbon monoxide, heavy metals, hydrocarbons, and polycyclic aromatic hydrocarbons emissions are eliminated. Particulate Matter (PM) emissions remain significantly lower primarily because of their lack of carbon and sulfur atoms.

Despite the above-mentioned advantages, challenges persist. In addition to the highly toxic nature of the fuel demanding challenging fuel supply and use systems and engines, Nitrogen Oxide (NO_x) and Nitrous Oxide (N_2O) emissions, along with ammonia slip, require targeted mitigation strategies potentially via advanced fuel-cell technologies to ensure cleaner operation. The use of ammonia as a fuel may also increase human exposure during bunkering, handling, and onboard operations, making the implementation of robust training programs and safety protocols imperative for both seafarers and onshore personnel. Some of the enhanced safety regulations in this area that should be addressed are:

- Leakage detection systems and concentration thresholds
- Personal protective equipment (PPE) standards
- Emergency response and containment procedures
- Fire protection and firefighting strategies
- Ventilation and gas dispersion control
- Bunkering and decontamination processes

Currently alternative fuels and technologies are addressed by the International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code), Section 16.9 which entered into force on 1 January 2017. The IGC states that if acceptable to the administration, other cargo gases may be used as fuel, provided that the same level of safety as natural gas is ensured. However, the use of cargoes identified as toxic products is not permitted and consequently, since NH_3 is considered a toxic product, it is currently not permitted to be used under this code. To resolve this issue an amendment to align with what is already permitted under the International Code of Safety for Ships Using Gases or other Low-Flashpoint Fuels (IGF Code) should be

achieved over the long term. In the short-term further discussions similar to those hosted by the IMO Sub-Committee on Carriage of Cargo and Containers (CCC) and the IMO Maritime Safety (MSC) committee will be necessary. The IGF Code applies to ships to which Part G of International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended (SOLAS) Chapter II-1. To date, the IGF Code has been developed on a prescriptive basis for the burning of natural gas. Consequently, other low flashpoint fuels may also be used as marine fuels, provided they meet the intent of the goals and functional requirements of the IGF Code and provide an equivalent level of safety by application of the Alternative Design methodology as specified in International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) Chapter II-1 Regulation 55 and guidelines referenced by MSC.1/Circ.1455. This procedure enables the introduction of new ship designs and marine technologies in a safe manner. However, it does not allow for the fast harmonization of ship design standards across the industry.

During its 10th session in September 2024, the IMO Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers (CCC 10) approved the first interim guidelines for using ammonia as fuel, bridging the gap for its official adoption as an alternative fuel. These guidelines provide high-level, goal-based guidance for ammonia use, acknowledging that not all provisions are detailed and recognizing the need for future revisions based on practical experience. The interim guidelines are closely aligned with the International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF Code), with modifications to reflect their recommendatory nature.

Regulatory initiatives, such as the EU Fit-for-55 legislative package, aim to incentivize alternative fuels like ammonia, though significant economic challenges remain.

Projections suggest that by 2030 and 2050, the total cost of ownership for ammonia-fueled vessels could be up to 3 to 3.5 times higher than that for conventional vessels. Market evolution, driven by increasing demand for low-carbon freight and supportive policy interventions, may help bridge this cost gap, further bolstered by the IMO work on fuel lifecycle analysis guidelines.

In summary, ammonia represents a promising pathway for shipping decarbonization primarily because of its carbon-free nature and the potential for near-zero emissions when produced sustainably. Achieving commercial viability will require a coordinated global effort, including advancing engine and fuel-cell technologies to minimize NO_x emissions and ammonia slip. The expansion of renewable electricity and green hydrogen production to support cost-competitive ammonia synthesis and the strengthening of regulatory frameworks and safety protocols to ensure secure handling and bunkering are also considered essential. Economic incentives to bridge the total cost of ownership gap with conventional fuels and the development of comprehensive training programs and risk mitigation strategies for the maritime workforce may enable practical use.

3.4 Hydrogen (H₂) as fuel

A summary of key issues on the use of hydrogen as marine fuel has been published in (ABS, 2021b) and (Laursen, et al., 2023). Hydrogen is not yet widely adopted as a marine fuel. However, it draws on experience from the land-based industries, that can offer a strong foundation for integration into shipping hydrogen production, storage, and application. Notwithstanding this, challenges such as low energy density, high storage requirements, and the urgent need to scale global green hydrogen production remain significant obstacles.

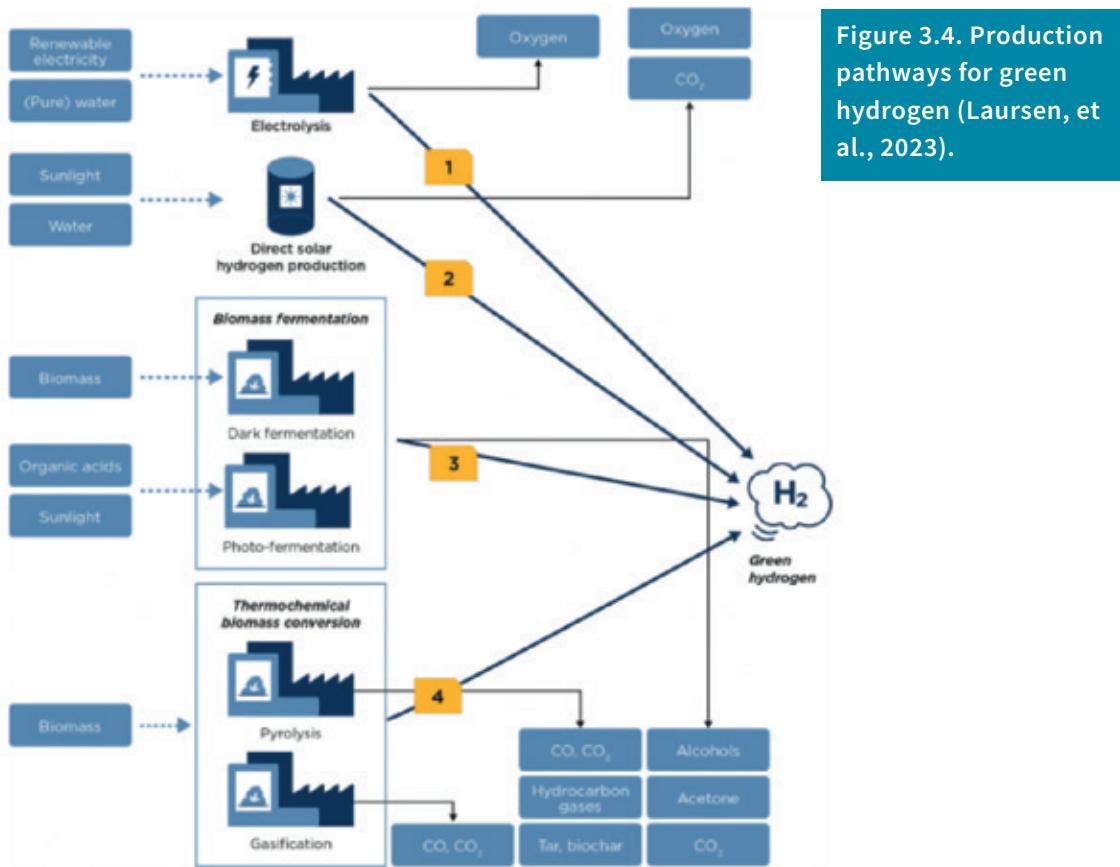


Figure 3.4. Production pathways for green hydrogen (Laursen, et al., 2023).

Hydrogen's current use is limited to a small number of coastal vessels. Compressed hydrogen storage suffers from low energy density, even at high pressures, while liquid hydrogen demands advanced, insulated storage systems. Alternative carriers like Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHCs) offer potential for long-distance transport, but their onboard applications still require technological refinement. Despite storage challenges, hydrogen combustion offers high efficiency and minimal emissions, positioning it as a crucial player in future decarbonization efforts.

Hydrogen's major safety risks include its wide flammability range, high leakage potential, rapid flame speed, and detonation risk. Remedies include enhanced leak detection systems, advanced ventilation, blast-resistant structures, and firefighting technologies specific to hydrogen. Fossil

fuel-based methods currently dominate production, with green hydrogen output still below 0.1 million tons annually, significantly short of the 95 million tons required to achieve maritime decarbonization. Large-scale adoption will demand a significant increase in renewable electricity generation and electrolyzer capacity, with potential competition from other industrial sectors for green hydrogen posing supply concerns.

Economic feasibility remains a challenge with projections suggesting that the Total Cost of Ownership (TCO) for hydrogen-powered vessels could be three times higher than conventional fuel alternatives by 2030, with cost parity potentially achievable by 2050. Blue hydrogen produced from natural gas with carbon capture, could serve as a transitional option with a lower TCO than green hydrogen. Green hydrogen, produced via electrolysis powered by renewable energy,

offers near-zero well-to-tank greenhouse gas (GHG) emissions, with minimal emissions during fuel combustion. However, hydrogen slip when unburned hydrogen escapes into the atmosphere could partially counter its climate benefits. While fuel cells eliminate NO_x, SO_x, and particulate matter (PM) emissions, hydrogen used in internal combustion engines may require additional mitigation strategies, such as Selective Catalytic Reduction (SCR) and/or Exhaust Gas Recirculation (EGR) to control NO_x formation.

Compressed hydrogen storage is hampered by low energy density even at high pressures, while liquid hydrogen demands complex, insulated storage systems. Alternative carriers such as Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHCs) and ammonia offer promising solutions for long-distance transport, though their onboard integration still requires further technological development. Despite these storage challenges, hydrogen combustion delivers high efficiency with minimal emissions, positioning it as a key player in future decarbonization strategies. Additionally, Thermo-Catalytic Decomposition (TCD) offers a novel approach by converting hydrogen into solid carbon (with potentially valuable byproducts like graphite), though this technology remains at a low Technology Readiness Level (TRL) and needs further refinement.

Regulatory frameworks for hydrogen in maritime applications remain underdeveloped. Although risk-based alternative design approvals exist, international standards are still evolving. Initiatives like the EU Fit-for-55 package and the IMO Marine Fuel Life Cycle GHG Guidelines signal progress, but further regulatory development is essential for broader adoption. The maritime sector can adapt existing hydrogen best practices as it develops ship specific safety, storage, and

operational standards. Short-sea shipping is expected to be the earliest adopter of hydrogen, while deep-sea shipping will require significant advancements in storage technology, infrastructure, and regulatory alignment. Despite economic and technical hurdles, hydrogen remains a promising option for long-term maritime decarbonization.

4. MARINE NUCLEAR PROPULSION

While alternative fuels and their associated technologies show promise, they face limitations, including low energy densities, high costs, and frequent refueling needs. In contrast, nuclear propulsion offers long refueling intervals and energy independence, eliminating these constraints. Nuclear energy presents an ideal near-zero-emission and low-carbon footprint solution for commercial shipping, offering a promising pathway for addressing the maritime industry's decarbonization challenges. Its modern adoption hinges on the development of Generation IV reactors that have the potential to ensure safe integration into vessels while maintaining cost-effectiveness (Pioro & Duffey, 2019). A recent concept design application of Generation IV small modular reactor technology on a tanker vessel is presented in (Hirdaris, et al., 2014).

Historically limited to military and polar applications, nuclear energy has been recognized as a sustainable power source eligible for green financing in Europe. The feasibility of nuclear-powered vessels depends on reactor availability, fuel supply, and regulatory acceptance. The most promising Generation IV reactor types include:

- Pressurized Water Reactors (PWRs): A well-established technology that requires thorough adaptation in commercial shipping.

- Molten Salt Reactors (MSRs) & Very High-Temperature Reactors (VHTRs/HTGRs): Reactors that provide extended refueling cycles, high efficiency, passive safety features, and compact design, making them suitable for bulk carriers and tankers.
- Lead-Cooled Fast Reactors (LFRs): A niche option requiring extensive shielding for specific applications.

Following a series of concept studies on ocean-going vessels, an ABS lead review of modern nuclear marine propulsion for shipping has been published in (Patel, et al., 2024). Recently the Society published the first comprehensive set of requirements for floating nuclear power plants (FNPP) (ABS, HEC, 2024), (ABS, 2024b). The requirements provide the first classification notation for nuclear power service assets such as floating nuclear power plants or nuclear-powered floating production, offloading and storage units. Uniquely, the requirements allow designers to consider any type of reactor technology and propose a framework for nuclear regulators to collaborate with Flag administrations and ABS for complete regulatory oversight and licensing. Key safety concerns include radiation control, vessel stability, collision risks, and external threats (e.g. piracy or terrorism). While certain safeguards are already built into regulatory requirements, additional design adaptations will be necessary for operational continuity and risk mitigation.

The mainstream adoption of nuclear propulsion in commercial shipping calls for modernized international regulatory frameworks addressing safety, liability, environmental protection, and operational oversight. An overview of key regulatory requirements is given in (Hirdaris, Toward a new ecosystem of regulations for nuclear shipping, 2025). Collaboration among flag administrations, regulatory bodies, and classification societies will be crucial in

terms of establishing consistent operational guidelines. Furthermore, public perception remains a barrier, particularly in regions with low acceptance of nuclear energy. Developing a well-structured international regulatory framework, particularly one aligned with the Non-Proliferation Treaty (NPT), will be essential to address concerns and gain broad support.

An economic analysis suggests that while nuclear vessels entail higher initial capital expenditure (CAPEX) with operational expenses (OPEX) on the other hand being lower than traditional fossil-fuel-powered ships due to constant fuel costs and reduced carbon emissions associated costs since, over time, rising costs of ultra-low sulfur fuel oil (VLSFO) and carbon pricing will amplify nuclear propulsion's cost advantage. The financial feasibility of nuclear shipping relies on advancements in reactor technologies, economies of scale, and evolving regulatory frameworks.

5. ADVANCED POWER TRAIN SYSTEMS

5.1.1. Sterntubeless vessels

Most ocean-going ships rely on oil-lubricated stern tube bearings for both deck and underwater machinery. While air emissions have been a primary focus in recent years, concerns over oil leakage have received comparatively less attention. In 2022, ABS granted Approval in Principle (AiP) to the innovative sterntubeless design concept. This groundbreaking design was developed through a collaboration between CSSC, Shanghai Merchant Ship Design & Research Institute (SDARI), the National Technical University of Athens (NTUA), and Thordon Bearings Inc (Leontopoulos, 2023).

The design eliminates the traditional sterntube, replacing it with an irregularly

shaped chamber (Figure 5.1) that enables a shorter propeller shaft, supported by a seawater lubricated bearing and seal.

This system allows for inspections and maintenance while the vessel remains afloat, eliminating the need for drydock shaft withdrawals. Compared to conventional oil-lubricated shaft lines, the sterntubeless concept offers several advantages namely (i) elimination of the stern tube casting which allows for the potential reduction of shaft line length and consequently engine room space and increasing cargo capacity; (ii) enhanced environmental compliance, eliminating oil leakages and reducing friction losses by reducing the number of bearings; (iii) improved propulsion efficiency, allowing continuous operation across the full RPM range without speed restrictions leveraging the advantages of torsional vibration dampers. Benefits of Seawater-Lubricated Bearings include:

- Zero Pollution Risk (no oil leakage / water ingress)

- Lower Operational Costs (no oil changes required)
- Easier Maintenance (bearings can be replaced afloat without disassembling the shaft line or propeller)
- Improved Efficiency (a shorter shaft line potentially reduces engine room space and enhances EEDI ratings)
- No Barred Speed Range or Fatigue issues
- Minimized Drydock Requirements (depending on vessel type, bearing replacement can be performed while afloat with the ship forward ballasted)
- Reduced carbon footprint due to no stern tube oil purchase over a vessel's lifetime

This innovative system complies with all existing ABS Rules and represents a significant step toward cost-effective, environmentally sustainable ship design (Rossopoulos, et al., 2023). Further information is available on ABS requirements for Sterntubeless Vessels with Water Lubricated Bearings (ABS, 2024a). This guide provides design details required to be assigned the optional STBLess-W Notation.

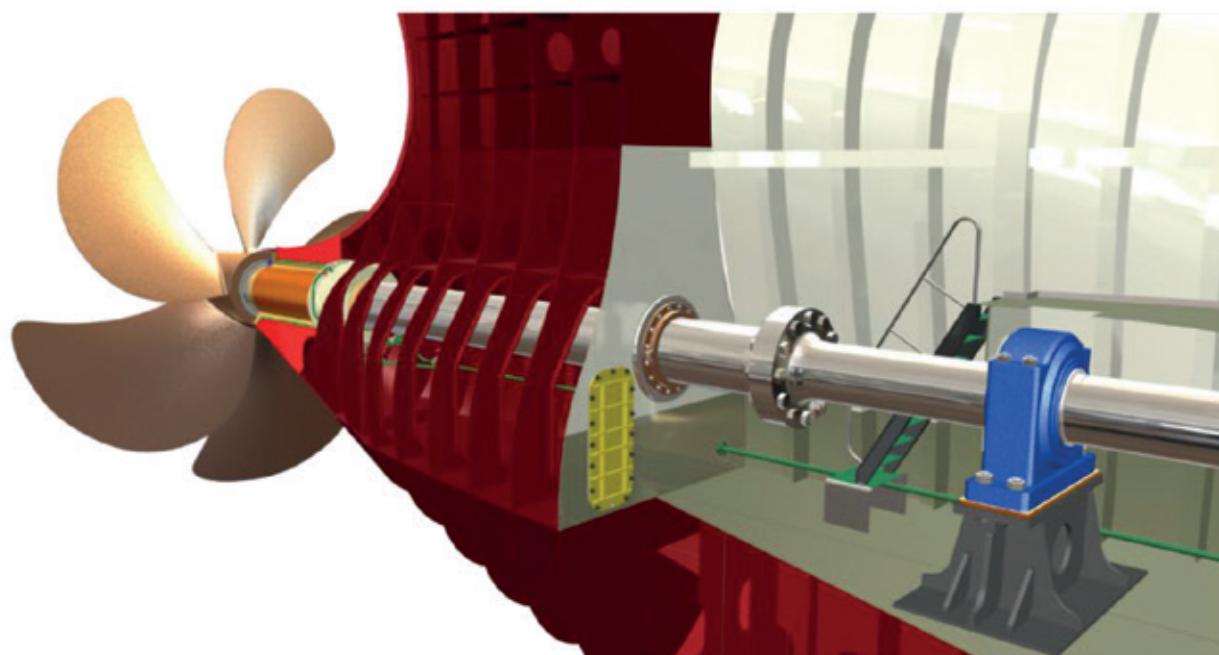


Figure 5.1. Rendering of the stern inspection chamber of a sterntubeless vessel

5.1 Shaft Alignment

Modern shipbuilding designs are continuously evolving to meet the IMO energy efficiency targets. To accommodate increasing power demands while maximizing cargo capacity, propulsion system shafts are becoming larger, shorter, and stiffer, thus reducing the engine room required. While the introduction of high-strength steels is making hull structures more flexible, hull flexing due to external forces can cause fluctuating bearing reactions, potentially leading to shaft misalignment and uneven load distribution. To address these challenges, ABS leveraged its experience in ship design and repair to develop engineering tools that optimize shaft alignment and enhance stern tube bearing designs. These tools include:

- Advanced shaft alignment analysis, accounting for hull elasticity and bearing interactions.
- Aft stern tube bearings with multiple slopes, improving load distribution and mitigating misalignment risks.
- Propulsion shafting vibration response studies, ensuring system reliability and efficiency.
- Rules and Guides to enhance shafting

system performance, including the Enhanced Shaft Alignment (ESA) and ESA+ Notations), ensuring optimal shafting system performance through rigorous design and operational criteria.

These advancements contribute to more reliable, efficient, and durable propulsion systems, thus supporting the maritime industry's push toward sustainability and compliance with evolving regulatory standards. More information is available in the ABS Guidance notes for propulsion shafting (ABS, 2019).

6. REMOTE SURVEYS AND INSPECTIONS

Hull thickness measurements are critical for assessing the structural integrity and longitudinal strength of marine vessels. Traditionally, these measurements are conducted using a handheld ultrasonic thickness (UT) probe and a corresponding reading device. This method requires assistive access solutions, such as scaffolding, permanent means of access platforms, rope access, cherry pickers, or rafting, to inspect large hull structures. However, these approaches present significant

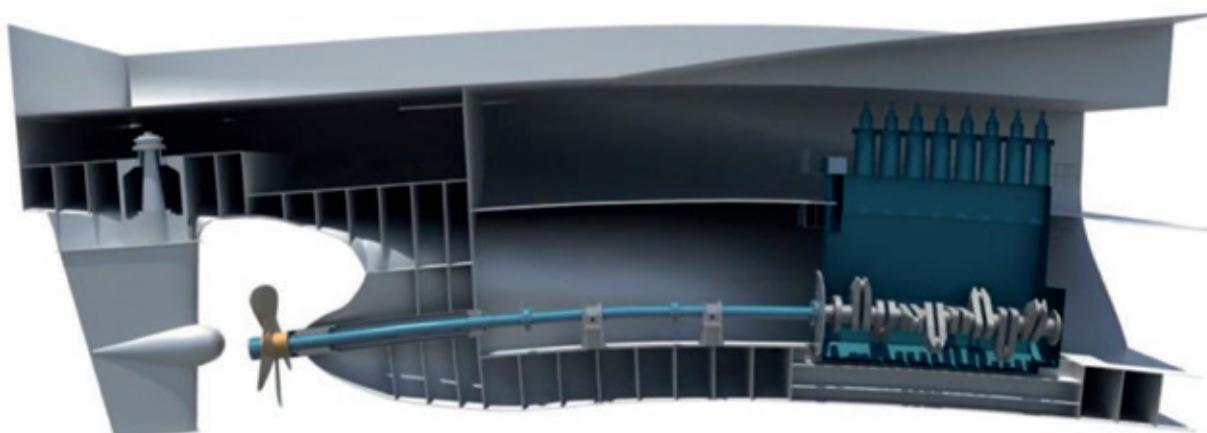


Figure 5.2. Hull Deflections and shaft alignment interaction

drawbacks, including (i) high costs and time consumption, particularly for scaffolding erection; (ii) potential damage to protective coatings, leading to additional repairs, especially in chemical and product tankers, (iii) safety risks associated with working at height (rope access, cherry pickers) or inside confined spaces (rafting); (iv) manual data entry, increasing the likelihood of human error in thickness measurement records.

To address these challenges, the maritime industry adopted Remote Inspection Technologies (RIT), such as Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Remotely Operated Underwater Vehicles (ROVs), and robotic crawlers. Since 1999, the Naval Surface Warfare Center Carderock Division (NSWCCD) has used ROVs for underwater hull surveys and investigated magnetic climbing robots for ship hull maintenance. Recent advancements in UAV technology enabled the integration of ultrasonic thickness (UT) devices in drones, thus allowing them to perform hull thickness measurements remotely. These drone-based inspections mark a significant breakthrough by overcoming two major limitations of traditional methods, namely (i) enhanced safety which eliminates the need for human personnel to work at dangerous heights; (ii) improved data accuracy and automation.

Digital data collection includes precise measurement locations, photos/videos of inspected areas, and A-scan records, facilitating a more comprehensive post-inspection review. The digitalization of thickness measurement further enhances inspection accuracy and efficiency. Collected data can be automated and standardized according to the International Association of Classification Societies (IACS) reporting requirements or integrated into Computer-Aided Engineering (CAE) hull management software, allowing for visualization in real-

time and monitoring of thickness loss and corrosion trends over time.

ABS marine vessel hull inspections involve overall surveys, where the class surveyor assesses the vessel's general structural condition and close-up surveys, where structural components are examined at close range. Thickness Measurements (TM) are performed by an approved service supplier and witnessed by the Class Surveyor to determine if the vessel is fit for continued service. They may also be conducted independently during Condition Assessment Program (CAP) surveys or damage assessments (ABS, 2022a).

Recently, the American Bureau of Shipping (ABS), in collaboration with FLYABILITY and DROBOTIQS Maritime Services, is actively researching UAV-based thickness measurement solutions (Koutsoumpas, Leontopoulos, & Zampieri, 2024). The key benefits of drone-assisted inspections include:

- Reduced safety risks – Eliminates the need for high-risk operations at height.
- Improved inspection accuracy – Digital data capture allows for automated reporting and better documentation of structural conditions.
- 3D visualization capabilities – Enables enhanced post-inspection review, assisting surveyors in making more informed decisions about hull integrity and necessary repairs.

Additionally, hull management software can be utilized to prepare for inspections, analyze post-inspection data, and assess structural strength in real time. While UAV technology has proven effective in accessing the most required inspection areas, current Classification Rules impose restrictions of relevance to:



Figure 6.1. Drone taking Ultrasonic Thickness measurements
(Koutsoumpas, Leontopoulos, & Zampieri, 2024)

- Coating Condition Requirements – Presently, thickness measurements using drones are permitted only if the coating condition is classified as "GOOD". While UAVs can carry brush payloads to remove light rust, further testing is needed to determine their effectiveness.
- Automation & Digital Integration – Full process automation and direct drone to software integration require further development.
- Preexisting Digital Models – Efficient flight planning and data processing depend on the availability of a vessel's 3D point cloud, which may not always exist before the first drone inspection.

The integration of UAVs in hull thickness measurements represents a major advancement in maritime inspection practices.

By enhancing safety, improving data accuracy, and enabling seamless digital integration, drones are set to revolutionize the hull assessment process.

As technology continues to evolve, further refinements in regulatory frameworks, automation capabilities, and data processing will drive its widespread adoption across the industry.

of economic growth and environmental sustainability converge and should be balanced against safety. Through innovative technologies and strategic initiatives, the maritime sector is actively embracing a multifaceted approach to safe and sustainability targets. Actions include the integration of alternative fuels, wind assisted and nuclear marine propulsion, alongside the adoption of advanced ship designs and technologies that aim to pave the industry's innovative landscape without compromising safety.

In the years to come, the IMO will continue to play a central role in setting global standards for environmental protection, safety, and the adoption of new technologies. The ongoing shift towards sustainability will be guided by new regulations that aim to reduce emissions, improve fuel efficiency, and promote greener technologies.

The fast and emerging range of technologies available requires suitable management of innovative activities, the consistent development of pertinent rules and the facilitation of risks management practices. In this sense, the role of the American Bureau of Shipping (ABS), as a leading Classification Society cannot be overstated. As the guardians of safety and compliance,

7. EPILOGUE

The maritime industry stands at a crucial crossroads, where the dual imperatives

they facilitate the adoption of innovative technologies while ensuring that regulatory frameworks evolve in tandem with industry advancements.

ACKNOWLEDGMENT

It is acknowledged that some of the concepts and ideas presented in this paper are the result from various gratis, EMSA or EU Horizons funded R&D initiatives undertaken by ABS in association with the broader industry.

The views and opinions expressed in this paper are those of the authors and do not necessarily reflect the opinions of their respective organizations.

8. REFERENCES

- ABS. (2019). Guidance Notes on Propulsion Shafting Alignment.
- ABS. (2020). Ammonia as a marine fuel, The American Bureau of Shipping white paper.
- ABS. (2021a). Biofuels as a marine fuel, The American Bureau of Shipping white paper.
- ABS. (2021b). Hydrogen as a marine fuel, The American Bureau of Shipping white paper.
- ABS. (2021c). Methanol as a marine fuel, The American Bureau of Shipping white paper.
- ABS. (2022a). Guidance notes on the use of Remote Inspection Technologies.
- ABS. (2022b). Requirements for Wind Assisted Propulsion System Installation.
- ABS. (2023). Requirements for Ammonia fueled vessels.
- ABS. (2024a). Requirements for Sterntubeless Vessels with Water Lubricated Bearings.
- ABS. (2024b). Requirement for nuclear power systems for Marine and offshore Applications.
- ABS, HEC. (2024). Pathways to a low carbon future floating nuclear power plant. Retrieved from https://ww2.eagle.org/en/publication-flip/Pathway-to-A-Low-Carbon-Future-Floating_Nuclear_Power_Plant.html
- Hirdaris, S. (2025, January). Toward a new ecosystem of regulations for nuclear shipping. *Marine Technology and SNAME News*, pp. Pages 44-50, ISSN: 2153-4721.
- Hirdaris, S., Cheng, Y., Shallcross, P., Bonafoux, J., Carlson, D., Prince, B., & Sarris, G. (2014). Considerations on the potential use of Nuclear Small Modular Reactor (SMR) technology for merchant marine propulsion. *Ocean Engineering*, Volume 79, 101-130.
- IMO. (2013). Guidance on treatment of innovative energy efficiency technologies for calculation and verification of the attained EEDI.
- IMPCA. (2025, February 25). Reference Specifications: Fueling Methanol Innovation. Retrieved from <https://impca.eu/resources/impca-reference-specifications/>
- ISO. (2024). ISO 6583: 1. Methanol as a fuel for marine applications — General requirements and specifications. Technical Committee ISO/TC 28/SC 4, ICS : 75.160.20.
- Koutsoumpas, G., Leontopoulos, C., & Zampieri, S. (2024). Streamlining Hull Thickness Measurement Reporting using Unmanned Aerial Vehicles. Global Conference on Naval Architecture and Ocean Engineering, 5 - 9 November 2024, Southampton, UK.
- Laursen, R., Barcarolo, D., Patel, H., Dowling, M., Penfold, M., Faber, J., ... Pang, E. G. (2023). Potential of Ammonia as Fuel in Shipping. Lisbon: EMSA/OP/43/2020.
- Laursen, R., Patel, H., Dowling, M., Sofiadi, D., Ji, C., Nelissen, D., ... van der Veen, R. (2023). Potential of Hydrogen as Fuel for Shipping. Lisbon: EMSA/OP/43/2020.
- Laursen, R., Patel, H., Sofiadi, D., Zhu, R., Nelissen, D., Van Seters, D., & Pang, E. (2023). Potential of Wind-Assisted Propulsion for Shipping. Lisbon: EMSA/Wind - 2022/2023 - 4837444.
- Leontopoulos, C. (2023). Sterntubeless Vessels with Water Lubricated Bearings – A Novel Design. The Motorship, Future Fuels Conference. 21-23 November 2023, Hamburg, germany.
- Patel, H., Segovia, J., Sofiadi, D., Laursen, R., Diacakis, M., Hirdaris, S., & Dowling, M. F. (2024). Potential use of nuclear power for shipping, Report commissioned by the European Maritime Safety Agency (EMSA) under framework contract EMSA/OP/43/2020, Report number : EMSA/Nuclear-2024-4837444. Lisbon: EMSA.
- Pioro, I., & Duffey, R. (2019). Current and future nuclear power reactors and plants. In T. M. Letcher, *Managing Global Warming*, pp. 117-197, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814104-5.00004-1>.
- Rossopoulos, G., Vlachos, O., Leontopoulos, C., Koutsoumpas, G., Hamilton, A., & Papadopoulos, C. (2023). Design of Stern Tube-less Vessels with Water Lubricated Bearings Effects on Environmental. SNAME Maritime Convention, 27 - 29 September 2023, San Diego, CA, USA.
- Wärtsilä. (2025, February 25). W32-Methanol-Brochure. Retrieved from <https://brandhub.wartsila.com/W32-Methanol-Brochure.pdf>

Lo más destacado de DNV del 2024, año de su 160 aniversario



Si quieres ver más detalles de este informe, escanea este código o entra en la siguiente dirección: <https://www.dnv.com/annualreport/>

En 2024, la sociedad de clasificación DNV celebró su 160 aniversario con una gran expansión y avances en sectores clave como la ciberseguridad y la descarbonización.

En 2024 el mercado de nuevas construcciones experimentó un fuerte impulso, alcanzando los 120,6 Mgt, un aumento del 31% respecto al año anterior y el más fuerte desde 2015.

Los buques con capacidad para operar con combustibles alternativos representaron el 47% de los nuevos pedidos. DNV aumentó su cuota de mercado en nuevas construcciones al 29% (desde el 18% en 2023) y al 37% en nuevas construcciones con combustibles alternativos.

La flota clasificada por DNV ascendió a 9.862 buques y unidades móviles offshore, datos que mantienen su posición como la socie-

dad de clasificación más grande del mundo con una cuota de mercado del 18% en términos de gt. Los servicios de asesoramiento marítimo de DNV vieron un aumento del 11% en la entrada total de pedidos. Las suscripciones activas a la plataforma Emissions Connect se duplicaron, alcanzando las 4.324 a finales de 2024.

Inteligencia Artificial (IA)

DNV invirtió significativamente en Inteligencia Artificial (IA), firmando el Pacto de IA de la Comisión Europea para asegurar un uso seguro y responsable de esta tecnología.

Ciberseguridad:

Se formó DNV Cyber mediante la fusión de Applied Risk y Nixu, y se adquirió Cyber Owl para fortalecer la defensa cibernética en la industria naviera, especialmente en buques.

Captura y almacenamiento de Carbono (CCS) y almacenamiento energético

El negocio de CCS creció un 66% y los pedidos de almacenamiento de energía un 32% en 2024. DNV apoyó proyectos CCS a nivel global y consolidó su liderazgo en el sector del almacenamiento de energía, participando en el proyecto Gemini en EE. UU. Además, exploraron nuevas soluciones de eliminación de CO₂ como la captura en algas cultivadas y la firma de un contrato con Inherit Carbon Solutions para capturar CO₂ del biogás.

Gestión de datos y descarbonización marítima

La plataforma Veracity de DNV finalizó 2024 con más de 50 proveedores de datos y 12 softwares marítimos, conectando a más de 55.000 buques. Esta red integral de socios de soluciones integradas de datos y software automatiza la recopilación y el control de calidad de los datos de operación de los buques. La plataforma Emissions Connect, para la verificación y gestión de datos de emisiones lanzada en 2023, se actualizó para ayudar a los usuarios con el Reglamento FuelEU Maritime.

La actualización proporciona a los usuarios una visión general de todos estos requisitos dentro de su flota y facilita funcionalidades adicionales que cumplen con la regulación, como la evaluación de diferentes acuerdos de agrupación.

Expansión en China

DNV estableció un equipo de expertos en buques tanque y graneleros en Shanghái para atender la creciente demanda en el mayor mercado de construcción naval del mundo.

Combustibles alternativos y eficiencia energética

DNV publicó guías de prácticas recomendadas sobre la seguridad del metanol y el amoníaco como combustibles.

Innovaciones en construcción naval

DNV fue la sociedad de clasificación de los nuevos metaneros para ADNOC (Abu Dhabi National Oil Company), construidos por el astillero Jiangnan. Tienen una capacidad de carga de 175.000 m³. Además de su capacidad de emplear dos combustibles, entre ellos el GNL, están equipados con una serie de medidas de eficiencia energética, como por ejemplo la lubricación del casco por aire.

Por otro lado, otorgó la Aprobación en Principio (AiP) a HD Korea Shipbuilding & Offshore Engineering por su concepto de diseño de un buque para transporte de hidrógeno líquido (LH₂) con propulsión eléctrica que podrá permitir el almacenamiento y transporte de 80.000 m³ de LH₂. La AiP verifica que el concepto cumple en principio con los estándares de seguridad, ambientales y técnicos necesarios para el transporte seguro y eficiente de hidrógeno líquido.

DNV también llevó a cabo estudios detallados y completos de identificación de peligros e identificación de impactos ambientales, que son cruciales para evaluar y mitigar los riesgos potenciales asociados con el diseño y la operación de este buque. Este hito forma parte de una colaboración más amplia que involucra a: HD KSOE, Woodside Energy (Woodside), Hyundai Glovis y Mitsui O.S.K. Lines (MOL), con el objetivo de desarrollar una cadena de valor de transporte marítimo integrada para hidrógeno líquido a gran escala.

2024 fue el año en el que DNV publicó un libro blanco sobre la viabilidad de la captura

de carbono a bordo (OCC) como una solución de descarbonización para el transporte marítimo. En él analiza sus desafíos técnicos, económicos, operativos y regulatorios, así como su integración en la cadena de valor de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS).

La OCC está atrayendo interés dentro de la industria naviera, brindando a los armadores la oportunidad de continuar operando con combustibles convencionales mientras reducen las emisiones.

Sin embargo, como señala el libro blanco, su implementación exitosa depende de la colaboración entre reguladores, formuladores de políticas, partes

Crecimiento sostenible en acuicultura y biodiversidad

DNV realizó un informe para el gobierno noruego sobre acuicultura offshore y adquiriendo Ocean Ecology para monitorear y mitigar impactos ambientales marinos.

Proyectos destacados en eólica offshore

El Grupo Iberdrola, eligió a DNV para llevar a cabo la verificación de la curva de potencia de los aerogeneradores del parque eólico de St. Brieuc en busca de mejorar su eficiencia. Compuesto por 62 aerogeneradores, está en pleno funcionamiento desde mayo de 2024.

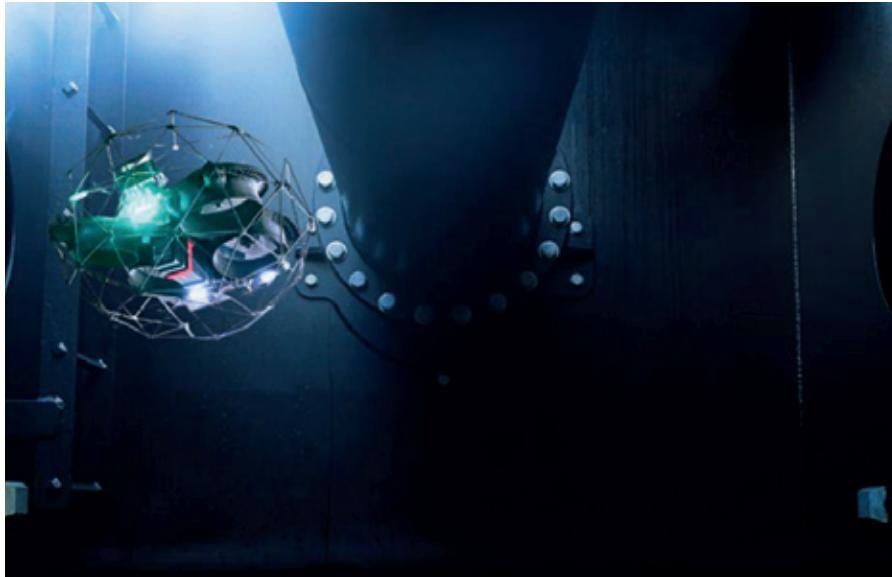
DNV está desarrollando la próxima generación de Bladed, su software para el diseño de aerogeneradores. Bladed se utiliza principalmente para calcular las cargas aeroelásticas y la producción de energía de las turbinas individuales. Estos datos son esenciales para asegurar la calidad y la certificación del diseño completo, así como para el diseño detallado de la estructura general del aerogenerador. Los primeros prototipos están siendo probados por 10 clientes, algunos de los cuales ya han integrado el nuevo software en sus procesos de producción. Se está incorporando feedback continuo de 72 usuarios de empresas que representan segmentos clave, como la eólica terrestre y marina.

Bureau Veritas lanza su herramienta de nueva generación con IA para inspecciones

Bureau Veritas Marine & Offshore (BV) ha lanzado Augmented Surveyor 3D (AGS 3D), una herramienta avanzada impulsada por inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático, diseñada para optimizar la detección y localización de anomalías en las inspecciones de buques y estructuras offshore.

Un desafío común para los armadores y operadores de buques en servicio y unidades offshore, son los defectos relacionados con la corrosión. Si bien identificar y gestio-

nar los defectos de forma rápida y continua es crucial para mantener el cumplimiento normativo y la integridad de los activos, esto puede requerir mucho tiempo y recursos, generando una presión operativa y financiera. Para ayudar a sus clientes a gestionar las reparaciones y la integridad de los activos de forma más eficaz y rentable, Bureau Veritas ha desarrollado Augmented Surveyor 3D (AGS 3D). Esta solución utiliza drones de última generación, inteligencia artificial patentada y aprendizaje



automático para comprender mejor las necesidades de mantenimiento, digitalizando la reparación de activos y la planificación de diques secos.

BV ha completado con éxito un proyecto piloto junto a TotalEnergies en una FPSO (unidad flotante de producción, almacenamiento y descarga) en África Occidental. Se realizó una inspección con drones de dos tanques de agua de lastre. Utilizando el AGS 3D para procesar todos los datos, el estudio generó un modelo digital 3D detallado con análisis de corrosión mejorados con IA.

La solución AGS 3D promueve la seguridad y mejora la eficiencia al automatizar tareas clave como la detección de anomalías, el mapeo de la corrosión y el modelado 3D. Tras el éxito del proyecto piloto, TotalEnergies buscará extender la solución a otros activos. Los estudios con drones generan grandes cantidades de datos, como imágenes, vídeos y escaneos LiDAR, cuyo procesamiento puede requerir mucho tiempo y recursos.

Al integrar Inteligencia Artificial, AGS 3D detecta automáticamente anomalías en imágenes y vídeos capturados por drones,

mapeándolas en un modelo digital 3D creado a partir de los datos de la nube de puntos compilados por un sensor LiDAR en el dron. Este enfoque agiliza las inspecciones, reduce la exposición de las personas a espacios confinados y proporciona una

localización precisa de defectos, ofreciendo información práctica a los equipos de mantenimiento.

Ideal para diversos sectores marinos y offshore, como FPSO, FSO, buques en servicio y energía eólica marina flotante, la herramienta AGS 3D permite una visualización de 360 grados, una planificación optimizada del mantenimiento, una toma de decisiones basada en datos y un espacio de trabajo colaborativo para los equipos de inspección, lo que constituye un valioso complemento para los estudios de clasificación. Los resultados finales, como las inspecciones con drones basadas en LiDAR, la detección de corrosión impulsada por IA, la localización automática de defectos y un conjunto de datos 3D unificado, son revisados por expertos de AGS para garantizar la calidad.

Una vez realizada la inspección, sus clientes reciben un informe final, así como análisis de datos y un modelo 3D del activo que indica todos los defectos detectados. Se puede acceder fácilmente a los tres entregables a través de la plataforma segura AGS Viewport de Bureau Veritas, que los clientes también pueden utilizar para análisis exhaustivos de datos y colaboración en tiempo real.

Potencia, energía, velocidad y autonomía AIP



Rafael Gutiérrez Fraile, I. N.

Coordinador de la Comisión de Transición Energética de la Asociación de Ingenieros Navales de España (AINE), Presidente del Comité de Asuntos Marítimos y Marinos del Instituto de Ingeniería de España (IIE), Académico Correspondiente de la Real Academia de la Mar.

ÍNDICE

Resumen / Summary

El AIP como alternativa a la propulsión nuclear

Cantidad de energía, velocidad y autonomía

Energía anaeróbica y autonomía

Energía para el sistema aip

Energía de las baterías

Sumas de autonomía más que aditivas

Resumen sobre energía AIP

Potencia de la planta AIP

Conclusiones

Referencias

Resumen

El artículo analiza las interacciones entre energía y potencia en relación con el potencial de autonomía y velocidad en inmersión de los submarinos con propulsión independiente del aire (AIP, por sus siglas en inglés). Se utiliza un modelo dinámico simplificado para comparar el efecto de las variaciones en los parámetros, manteniendo constantes todos los demás factores.

Summary

The paper analyzes the energy and power interactions in respect to range and speed

potential of air-independent propulsion (AIP) submarines. A simplified dynamic model is used to compare the effect of variations in the parameters, all other factors being equal.

El AIP como alternativa a la propulsión nuclear

Las marinas que actualmente no pueden plantearse tener submarinos de propulsión nuclear están desarrollando proyectos AIP (air-independent propulsion) para permitir a sus submarinos navegar sumergidos por períodos relativamente largos, mucho más largos de lo que permitiría el uso de sus propias baterías, y sin necesidad de mantenerse a cota periscópica para usar su snorkel. Hay proyectos así en Alemania, Suecia, Corea del Sur y Japón, entre otros, además de España.

Sin embargo, los submarinos con AIP están aún muy lejos de las prestaciones de un submarino de propulsión nuclear, que puede navegar a plena potencia durante meses, estando limitada su autonomía bajo el agua solamente por las provisiones embarcadas y la resistencia psíquica de las tripulaciones. Hablamos de navegar sumergidos a gran velocidad meses seguidos, un mínimo de dos, o hasta seis meses en algunos casos.

El reactor nuclear dispone de una reserva energética quasi-infinita, mientras que los submarinos AIP están limitados por la cantidad de combustible y oxígeno que pueden embarcar, en general a 2-3 semanas de navegación bajo el agua y a velocidad relativamente reducida, 4-6 nudos.

Se trata de analizar de forma paramétrica y simplificada la influencia que sobre la autonomía en inmersión tienen la energía AIP, la potencia del sistema AIP y la velocidad.

Cantidad de energía, velocidad y autonomía

Como se ha indicado, el objetivo es mejorar la autonomía en inmersión y/o la velocidad a la que se alcanza. Ambos factores están ligados a la cantidad de energía anaeróbica que tiene el buque al sumergirse, es decir, la suma de la energía de sus baterías más la energía del combustible AIP que lleva. La energía de las baterías está inmediatamente disponible, pero la energía del AIP se va generando durante la inmersión, de forma que depende de la potencia del sistema AIP y del tiempo.

La energía AIP disponible (anaeróbica) evoluciona con el tiempo como se indica en la

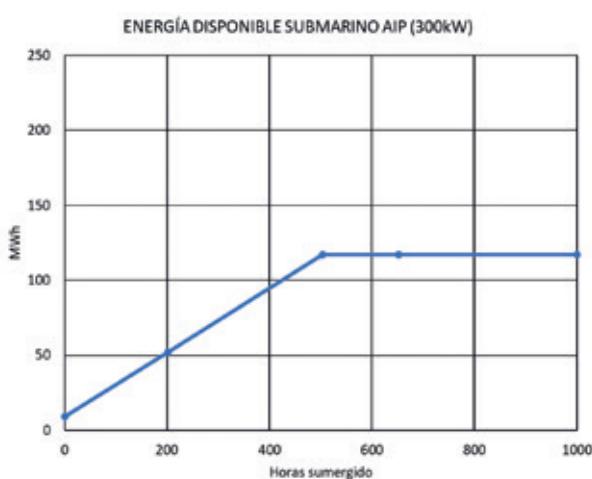


Fig. 1 - Energía AIP disponible en un submarino similar al S80+ (estimación propia)

Fig. 1 preparada en base a datos genéricos. Comienza ($t=0$) con la energía almacenada en las baterías, a la que se va sumando la energía aportada por el sistema AIP por unidad de tiempo hasta que se agota el combustible AIP y ya no aumenta más.

Una característica que resalta es la escasa aportación de energía anaeróbica que aportan las baterías de plomo-ácido, un treceavo del total, frente a la que aporta el sistema AIP. En esto estriba la importancia del AIP, en su capacidad de aumentar enormemente la energía anaeróbica disponible y por tanto la autonomía potencial del submarino, siempre que se consuma a un ritmo igual o inferior al que el sistema AIP es capaz de generar, limitado por la potencia AIP.

Sobre estas líneas de reserva de energía AIP se puede superponer el consumo de energía, que a potencia propulsiva constante será una línea recta que pasa por el origen y con una pendiente proporcional al consumo total, es decir a la potencia empleada, sumando la planta propulsora y el consumo del resto del submarino. Con estimaciones muy básicas, se ha elaborado la Fig. 2 que

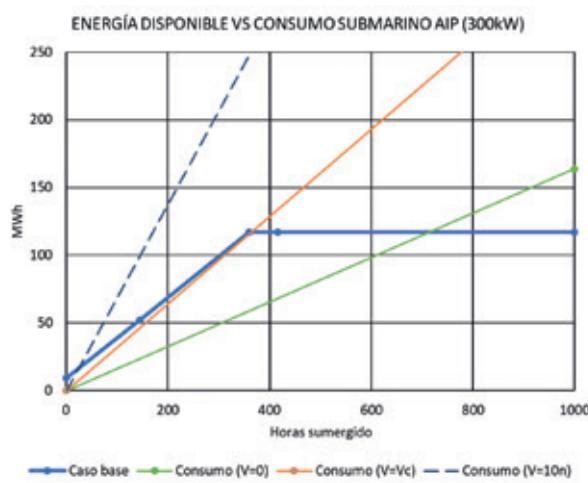


Figura 2 - Balance entre disponibilidad y consumo de energía a distintas velocidades (estimación propia)

muestra la interacción entre disponibilidad y consumo de energía.

El punto de corte entre la línea de disponibilidad y la de consumo indica la autonomía que se puede conseguir a cada velocidad, en horas. Se han dibujado líneas para 3 velocidades:

- Cero, buque en reposo, por ejemplo, en el fondo. Obviamente sujeto a las necesidades de la tripulación, oxígeno, agua, víveres, etc.
- A la “velocidad crítica” (V_c) que es la máxima alcanzable con la energía AIP disponible.
- 10 nudos, para que se vea cuan rápido baja la autonomía una vez que se sobrepasa la velocidad crítica, ya que el AIP no tiene tiempo a recargar las baterías y estas se agotan pronto.

Como se desprende de la Fig. 1.2, la autonomía a velocidad constante en función de la duración sigue dos curvas muy distintas, dependiendo de que la velocidad sea mayor o menor de la crítica. Aunque a primera vista pareciera complicado, se puede calcular de forma aproximada la autonomía en horas y millas en función de la velocidad.

Se ha modelizado el sistema para calcular la autonomía T_A a cada velocidad como sigue:

Cuando la velocidad no permite agotar la reserva de combustible AIP ($V > V_c$):

$$T_A = E_{BAT} / (P_{TOTAL} - P_{AIP})$$

y además

$$T_A < E_{AIP} / P_{AIP}$$

Cuando se puede agotar la reserva de energía AIP ($V < V_c$):

$$T_A = (E_{BAT} + E_{AIP}) / P_{TOTAL}$$

Siendo:

T_A – tiempo de autonomía (horas)

E_{BAT} – Energía de las baterías (kWh)

E_{AIP} – Energía disponible para AIP (kWh)
 P_{TOTAL} – potencia total consumida (propulsión y otros) a la velocidad considerada (kW)
 P_{AIP} – potencia del AIP (kW)
 P_{PROP} – potencia propulsiva
 V – velocidad en nudos
 V_c – velocidad crítica, en nudos

Para la potencia total se ha considerado que la potencia propulsiva sigue una ley cúbica, aunque no sería complicado usar la curva real. El resto del consumo, la carga de hotel, se ha aproximado según una fórmula aproximada de la Ref. 4. También podría reemplazarse con la curva real.

Por tanto:

$$P_{HOTEL} = \Delta_{INM} / 22 + 0,075 \cdot P_{AIP} + 25$$

siendo Δ_{INM} el desplazamiento en inmersión (t)

La velocidad crítica será:

$$V_c = ((P_{AIP} \cdot (E_{BAT} + E_{AIP}) / E_{AIP}) - P_{HOTEL}) / k)^{1/3}$$

Este modelo se ha programado en una hoja de cálculo en la que se pueden variar los datos básicos indicados: energía de baterías

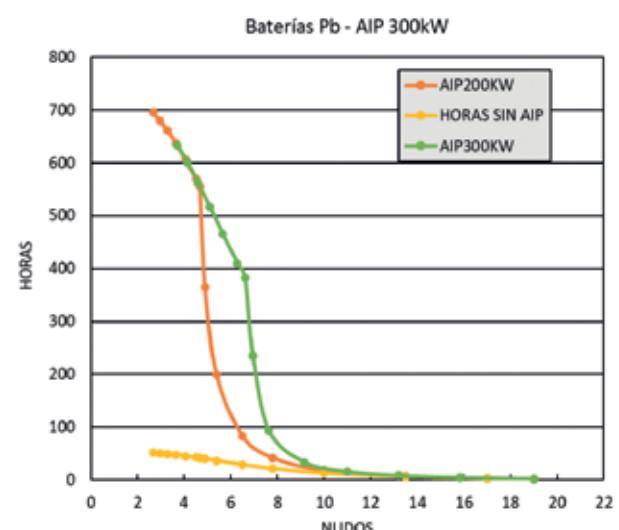


Figura 3 – Caso base: autonomía en horas en función de la velocidad (elaboración propia)

y AIP, potencia AIP y curvas de consumos para propulsión y otros usos. Así se pueden analizar las variantes directamente o con ligeros retoques del modelo. Las Figs. 3 y 4 muestran cómo es la evolución para un submarino similar al S80+ usando una potencia AIP media de 200 kW o la potencia máxima de 300kW. Como referencia se han incluido también las prestaciones sin AIP:

Puede apreciarse el enorme cambio que supone el sistema AIP, hasta la velocidad crítica. Se multiplica la autonomía por 13. A mayores velocidades también hay mejora, pero el factor multiplicador va bajando con la velocidad, a 8, 4, 2... hasta cerca de 1,1 a la velocidad máxima.

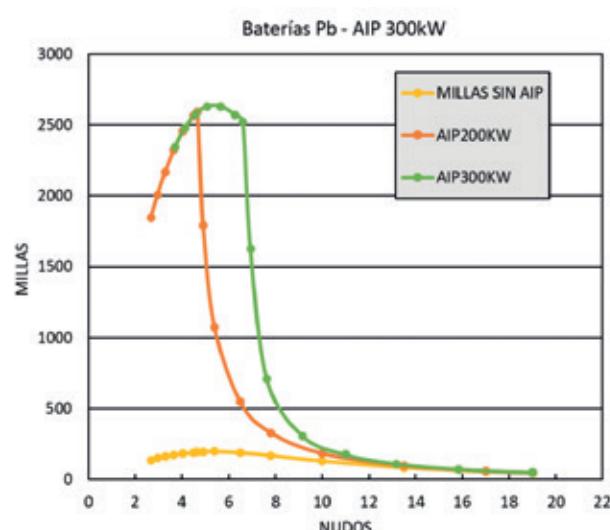


Figura 4 - Caso base: autonomía en millas en función de la velocidad (elaboración propia)

La máxima autonomía en horas es a velocidad cero, lo cual es una obviedad, mientras el máximo en millas se alcanza a una velocidad de unos 5 nudos con una potencia AIP entre 200 kW y 300 kW. Para cada potencia AIP, la autonomía baja rápidamente a partir de la velocidad crítica correspondiente.

El sprint a velocidades superiores a la velocidad crítica agota la energía inmediatamente disponible; las baterías y lo que genera el AIP durante la carrera, pero no da tiempo

para agotar toda la energía AIP existente. Por eso, el submarino no queda inerte; tiene la posibilidad de seguir navegando en inmersión a menor velocidad hasta agotar el combustible AIP. La velocidad máxima sería la que permita el AIP sin las baterías, es decir, inferior a la velocidad crítica y podría seguir funcionando a esa velocidad hasta que se agote la energía AIP, cuando el AIP haya estado funcionando un tiempo:

$$T = E_{AIP}/P_{AIP}$$

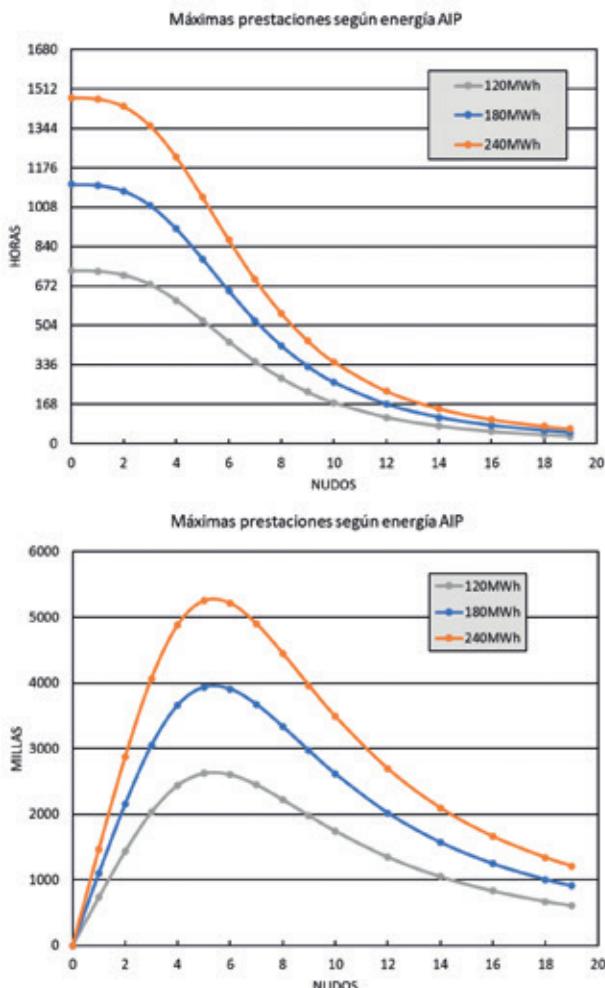
En definitiva, es como el atleta que, tras un sprint agotador, regresa caminando a casa con las fuerzas que le quedan.

Energía anaeróbica y autonomía

El efecto de aumentar la energía anaeróbica disponible en un submarino es aumentar la autonomía en inmersión en la misma proporción. Por ejemplo, se ha calculado el efecto para un submarino tipo S80+ pasando de 120 MWh a 180 MWh y a 240 MWh. Es un ejercicio puramente teórico, sin entrar en cómo se consigue ese aumento ni en su impacto en el diseño del buque, lo cual se verá más adelante. Para fijar ideas, supondremos primero que toda esa energía está disponible a cualquier velocidad. Entonces, la autonomía en horas y millas se reflejaría en curvas similares a las de las figuras 5 y 6:

La autonomía máxima, en horas o millas, a cada velocidad del submarino es proporcional a la energía anaeróbica disponible. La autonomía en horas es máxima a velocidad cero, obviamente, y sigue una curva descendente en forma de media campana. La autonomía en millas es máxima siempre a una velocidad alrededor de 5-6 nudos y luego desciende al aumentar la velocidad.

Esta cifra puede variar algo en función de la diferencia entre las fórmulas usadas y las curvas reales de potencia del submarino a



Figuras 5 y 6 - Autonomía con aprovechamiento total de la energía anaeróbica a cualquier velocidad

cada velocidad, sumando la propulsión y el resto de los consumos.

Esto ocurriría, hipotéticamente, si se pudiese aprovechar toda la energía AIP a cualquier velocidad, pero con un sistema AIP convencional esto no es posible, salvo si el sistema AIP tiene una potencia igual o superior al consumo del submarino a la máxima velocidad, lo cual normalmente no es el caso con sistemas AIP basados en pilas de combustible o motores térmicos tipo MESMA o Stirling. Todos los sistemas actuales en servicio están limitados a unos 300 kW, como en el caso del S80+ y los submarinos japoneses clase "Soryu" -excepcionalmente- 600 kW en el caso de los submarinos coreanos KSS III.

Energía para el sistema AIP

En este punto, suponiendo que la potencia del sistema AIP es limitada, se puede ver qué pasa si se aumenta la reserva de energía AIP del buque, por aumentarse el volumen de los tanques de combustible AIP y oxígeno. Esto no prejuzga que ese aumento de energía sea viable o no. Para ello habría que aumentar la carga de combustible y oxígeno, aumentando el desplazamiento del submarino, o eliminando otros sistemas, algo indeseable, y en ambos casos modificando su disposición interna, lo cual tampoco es deseable. Por tanto, es un ejercicio teórico que solo sería interesante si las ventajas aportadas fuesen muy significativas.

La Figura 7 muestra el efecto de un aumento del 25% de la energía AIP disponible (de 120 MW a 150 MW) para un submarino con una planta AIP de 300 kW:

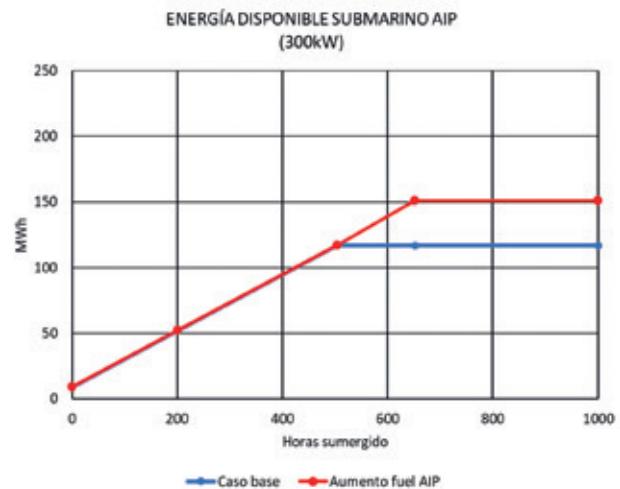
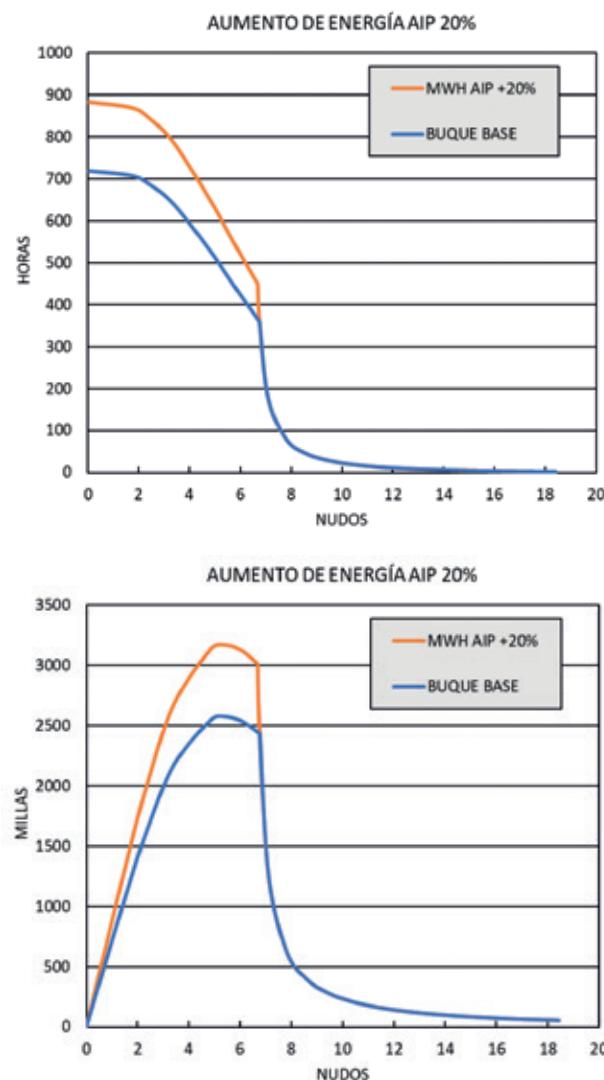


Figura 7 - Áreas de disponibilidad de la energía adicional, con combustible AIP adicional (elaboración propia).

Una primera observación es que la velocidad crítica no aumenta. Por el contrario, disminuye ligeramente ya que la pendiente de la línea desde el origen hasta el punto de quiebro de la línea de energía disponible es algo -ligeramente- menor.

Aplicando el modelo de cálculo al buque base con un incremento de energía del 20% para el sistema AIP, se tienen las Figs. 8 y 9 siguientes:



Figuras 8 y 9 – Aumento de autonomía por aumento de energía en el sistema AIP

El aumento del 20% en la cantidad de combustible AIP y oxígeno se refleja en un aumento de autonomía de la misma magnitud, en horas o millas, hasta llegar a la velocidad crítica. A partir de dicha velocidad ya se depende de las baterías y la autonomía desciende rápidamente, siguiendo la misma línea que sin el aumento de cantidad de combustible. Por tanto, se trata de una mejora limitada y solo a baja velocidad.

Energía de las baterías

Otra alternativa para aumentar la energía anaeróbica es aumentar la capacidad de las baterías para alcanzar el mismo aumento de energía anaeróbica total. Este aumento puede hacerse aumentando la cantidad (y peso/empacho) de las baterías, con el consiguiente impacto indeseable en el desplazamiento y disposición del submarino, o bien cambiando el tipo de dichas baterías, de lo que se hablará más adelante.

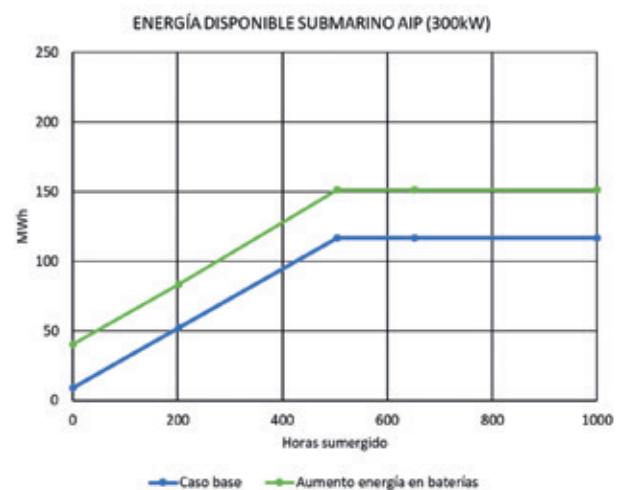


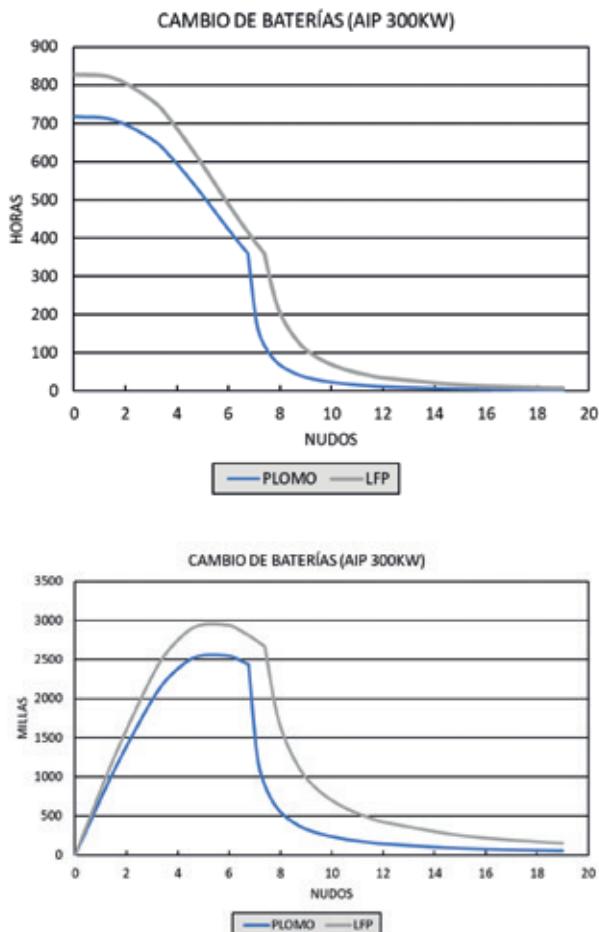
Figura 10 – Impacto del aumento de energía procedente de las baterías (elaboración propia)

Como puede verse en la Figura 10, la energía extra de las baterías es utilizable en todo momento, lo cual es una ventaja respecto al aumento procedente del combustible AIP. También aumenta la velocidad crítica que es una ventaja importante.

Si se aumenta la capacidad de las baterías en aproximadamente un 20%, por cambio de tipo o aumento de cantidad, los aumentos de autonomía calculados se reflejan en las Figs. 11 y 12 en la siguiente página.

Comparando las Figs. 11 y 12 con las Figs. 8 y 9 se aprecia que la misma cantidad de energía aplicada a las baterías se utiliza no

solamente hasta la velocidad crítica, sino a todas las velocidades. El impacto de la capacidad de las baterías de un submarino AIP se trata en mayor detalle y en relación a submarinos reales, en la referencia 4 del mismo autor.



Figuras 11 y 12 - Aumento de autonomía por aumento de energía en las baterías

Sumas de autonomía más que aditivas

Un aspecto importante de la autonomía en inmersión es que la combinación de energía AIP y energía de baterías da más autonomía que la suma de la que aporta cada una por separado. No es una paradoja; se debe a que, si no hay baterías, el buque no podría navegar con el AIP a velocidades mayores que la que permite el AIP.

Esa velocidad es: $V_{AIP} = E_{AIP} / P_{AIP}$

A partir de esa velocidad V_{AIP} , la autonomía sin baterías será cero. Sin embargo, si hay baterías, estas darán un tiempo de navegación sumergida adicional, durante el cual el AIP podrá funcionar y generar energía adicional, que aumentará la autonomía. Cuanta más energía tengan las baterías, más acusado será este efecto. Calculando la autonomía que proporcionan ambos sistemas usados por separado y conjuntamente, se tiene una línea que coincide con la suma de ambas hasta la velocidad V_{AIP} , pero es mayor que la suma a las velocidades superiores, como se indica en la citada Fig. 13.

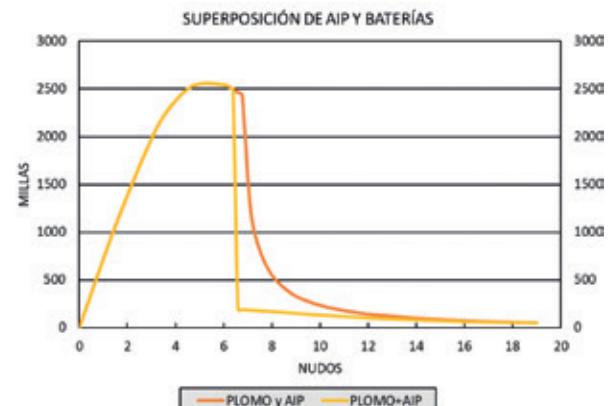


Figura 13 - Efecto de superposición de AIP y baterías

El área entre la superposición y la suma es la ganancia adicional de autonomía derivada de la superposición de ambos sistemas, como se ve en la Fig. 14.

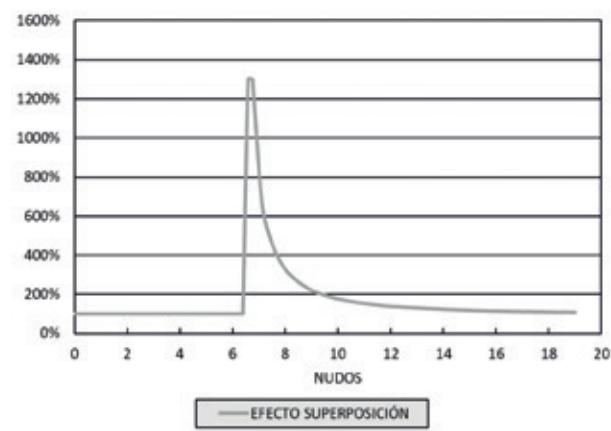


Figura 14 - Efecto superposición de baterías y AIP

El efecto de la superposición una función está representado por una función $F(V)$ con valor 1 hasta V_{AIP} , un pico alto y estrecho con un lado vertical en V_{AIP} y el valor máximo:

$$F_{(VAIP)} = (E_{AIP} + E_{BAT}) / E_{BAT}$$

A mayor velocidad hay una rama descendente asintóticamente con un valor mayor que la unidad y tal que:

$$F(V) = P_V / (P_V - P_{AIP}) \text{ siendo } P_V \text{ la potencia total necesaria a cada velocidad } V$$

Con los datos del S80+ tendremos:

$$F_{(VAIP)} = 13,0 \text{ (1.300%)} \text{ el pico}$$

$$F_{(19n)} = 1,09 \text{ (109%)} \text{ la asintota a la velocidad máxima}$$

De estas fórmulas se deduce que, si aumenta la capacidad de las baterías (E_{BAT}), el pico será menos pronunciado y si se aumenta la potencia del sistema AIP (P_{AIP}), el valor a la velocidad máxima será más elevado. Más adelante veremos la importancia de esto al analizar alternativas.

Resumen sobre energía AIP

Es deseable aumentar la energía anaeróbica disponible en inmersión para mejorar la autonomía. Para ello, hay tres alternativas que se analizarán más adelante:

1. Aumentar el desplazamiento del submarino para llevar más combustible AIP y oxígeno o más baterías.
2. Mejorar el rendimiento de la planta AIP, por mejora de sus componentes o por cambio a un combustible más eficaz, o por disponer de un recuperador de energía residual que produzca electricidad adicional o permita reducir el consumo eléctrico del buque. En ambos casos, el resultado sería un aumento de la energía AIP.

3. Aumentar la energía de las baterías por cambio del tipo, aprovechando los grandes avances que se están produciendo aceleradamente en ese sector a remolque de la demanda de los mercados de automoción y de almacenamiento en tierra.

De los tres, el primero es descartable por el momento, por obvio. El segundo requiere un rediseño sustancial del submarino, tanto en el propio sistema AIP, o en la disposición general, o ambos. El aumento de la capacidad de las baterías es más sencillo, ya que, en primera aproximación, solo requiere cambiar unas baterías por otras más potentes de similar o menor

Potencia de la planta AIP

En la Figura 1.4 arriba, se ha visto que la autonomía AIP máxima en millas del buque base se alcanza con una potencia AIP en la banda 200-300 kW por lo que esa potencia es suficiente si lo que se busca es la máxima distancia en inmersión. Cabe preguntarse si este es el único criterio, o si hay razones para intentar tener potencias AIP superiores, aún sin aumentar la energía AIP disponible.

Cuando se aumenta la potencia de la planta AIP, la energía AIP disponible aumenta con el tiempo a mayor ritmo y, por tanto, se alcanza

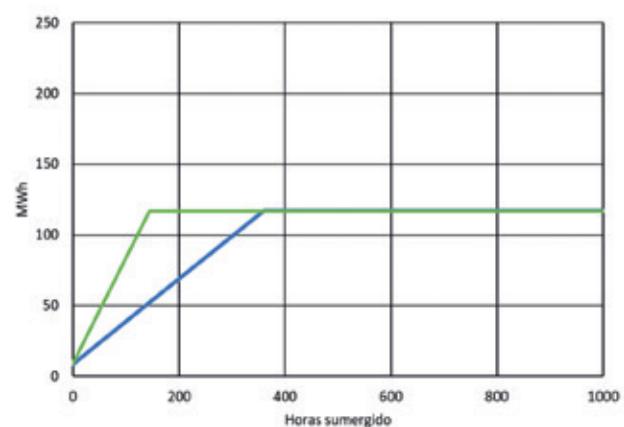


Fig. 15 - Energía disponible con un AIP de 300kW y de 750kW (elaboración propia)

el tope de energía AIP -se agota el combustible AIP- en menos tiempo. La pendiente de la línea desde el origen de coordenadas hasta el punto en que se alcanza el tope de energía AIP es la potencia consumida a la velocidad crítica y como puede verse en la Figura 15, es mayor que la del buque base.

Aplicando el modelo de cálculo: en primera aproximación, la velocidad crítica es función de la potencia de la planta AIP, de la energía AIP y de la energía de las baterías. La Fig. 16 indica la relación entre estas magnitudes de forma aproximada.

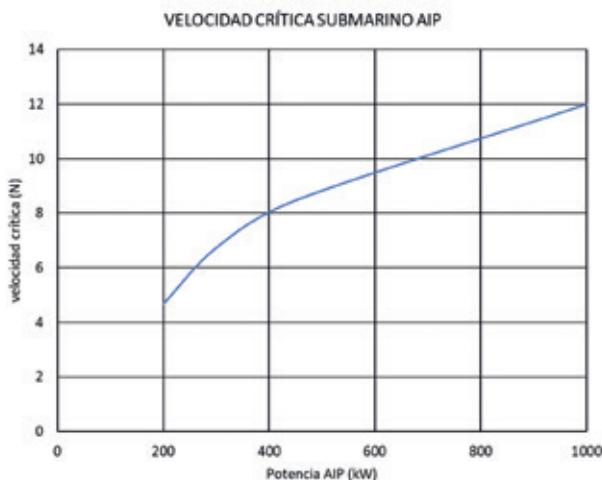


Figura 16 - Relación entre velocidad crítica y potencia AIP

El principal factor que determina la velocidad crítica es la potencia de la planta AIP. La potencia del AIP del submarino es por consiguiente muy importante a efectos tácticos. La cantidad total de energía AIP apenas tiene influencia. Ya se ha visto al analizar la Fig. 7 que se produce una ligera bajada de velocidad crítica al aumentar la energía AIP disponible, pero el efecto es tan reducido que en la Fig. 9 las dos curvas se confunden.

Aplicando el modelo de cálculo al submarino base, las mejoras de autonomía se producen a partir de la velocidad crítica del caso base y hasta el límite de velocidad alcanzable. Esto tiene un fuerte impacto sobre la autonomía

entre ambas velocidades, como se verá más adelante. En las figuras 17 y 18 se ha reflejado el impacto de ir aumentando la potencia

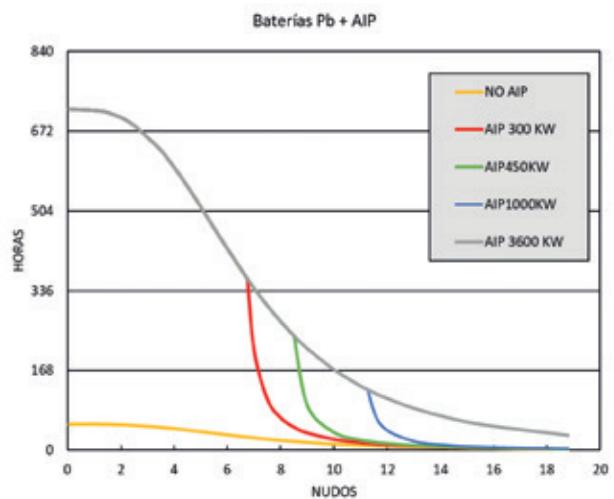


Figura 17 - Impacto de aumentar la potencia del sistema AIP con energía AIP constante

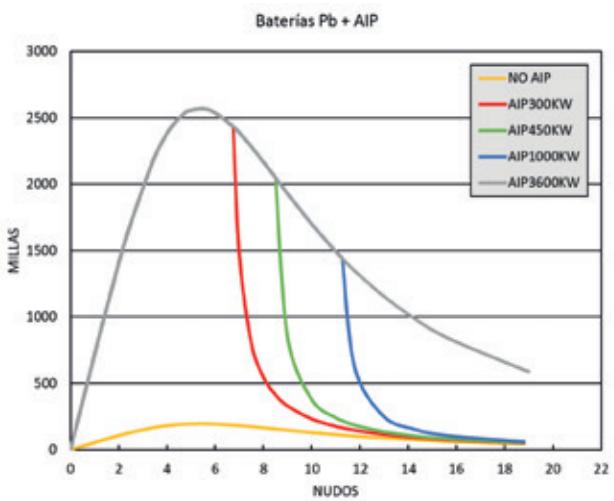


Figura 18 - Impacto de aumentar la potencia del sistema AIP con energía AIP constante

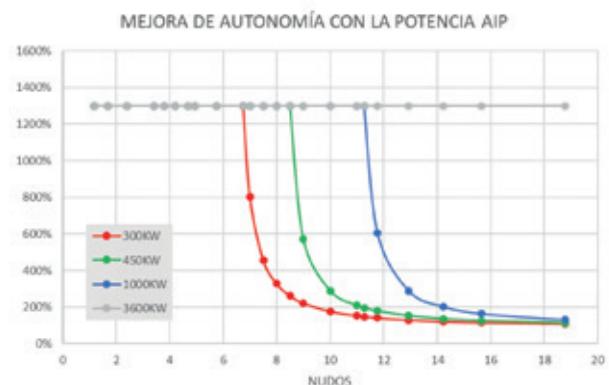


Figura 19 - Autonomía con AIP vs sin AIP, según potencia

del sistema AIP, sin cambiar la cantidad total de energía AIP disponible.

Hasta la velocidad crítica, que depende de la potencia del AIP entre otros factores, la mejora de autonomía es el cociente entre la energía total y la energía de las baterías. A partir de esa velocidad va descendiendo y convergiendo hacia un valor que solo depende del cociente entre la potencia AIP y la potencia necesaria a cada velocidad.

La consecuencia lógica es que cuanto mayor es la potencia del sistema AIP, más se acerca la autonomía del submarino al modelo ideal de las Figs. 5 y 6. En concreto, se aumenta la velocidad hasta la que se provecha el 100% de la energía AIP disponible, hasta la velocidad crítica. A partir de la velocidad crítica para cada potencia AIP, la autonomía adicional supone una mejora relativa más limitada.

Conclusiones

En términos generales, sujetos a excepciones en función de las misiones encomendadas a cada submarino concreto, se dan los siguientes principios:

La instalación de un sistema AIP da al submarino una enorme autonomía, en horas y millas, siempre que se opere por debajo de la velocidad crítica, aquella que se puede sostener usando el AIP y las baterías. Si se supera esta velocidad se comienza a drenar aceleradamente las baterías y la autonomía cae en picado. A partir de 12-13 nudos el efecto del AIP es poco apreciable.

A igualdad de peso y empacho, será preferible aumentar en un mismo porcentaje la energía anaeróbica a través de las baterías que a través del combustible AIP.

Lo primero, además de aumentar la autonomía máxima a baja velocidad, también aumenta la velocidad crítica y la autonomía a velocidades superiores a esta, lo que no ocurre en el segundo caso.

Es deseable de tener la potencia AIP mayor posible, dentro de las limitaciones de diseño de cada submarino. No es lo mismo atacar en inmersión un objetivo o eludir a un acaudador a 4-5 nudos que a 9-12 nudos y poder mantener esa velocidad varios días seguidos sinemerger a recargar baterías.

En este sentido, no hay un límite; para una reserva de energía AIP limitada, cuanta más potencia AIP, mejor. El límite es el espacio disponible y el peso. La cuestión es cómo puede lograrse este aumento de potencia AIP.

Referencias

1. Sanjurjo Jul, José Manuel. ¿Podría España tener submarinos de propulsión nuclear? Algunas disquisiciones académicas. Revista General de Marina 2023, p 439 y sigs.
2. Submarinos Clase S-80 Plus - Wikipedia, la encyclopedie libre
3. Lee, Jen-Chieh and Shay, Tony (2018) “Analysis of fuel cell applied for submarine air independent propulsion (AIP) system,” Journal of Marine Science and Technology: Vol. 26.
4. Gutiérrez Fraile, Rafael, “Tres submarinos, tres estrategias convergentes”, presentado en el LXIV Congreso Internacional de Ingeniería Naval, Gijón, marzo 2025.

F. Carceller trabaja en el diseño del palangrero híbrido *Ventura*



La oficina técnica de F. Carceller está desarrollando el proyecto de construcción del buque *Ventura*, que se construirá en Astilleros Armón Vigo, para la empresa armadora Veraguas Lar, de Marín, dirigida por las hermanas De Pazo.

El buque será proyectado para la pesca de palangre de superficie en caladeros de los océanos Atlántico Norte, Índico y Pacífico.

Para ello, irá equipado con los medios apropiados para efectuar las maniobras de pesca con el sistema de palangre americano, para ello irá dotado con dos carreteles para monofilamento en cascada, lanzadera y demás accesorios propios de este sistema de pesca.

La zona del buque reservada a bodegas estará situada hacia el centro del buque. Dispondrá de los medios adecuados para la congelación en dos túneles, así como mantener refrigeradas las capturas en la bodega y entrepuente.

El buque estará básicamente construido por dos cubiertas corridas de proa a popa, una

Características principales del *Ventura*:

Eslora total	36,47 m
Manga de trazado	9,00 m
Puntal a cubierta principal	3,85 m
Tripulación	20 personas
Arqueo	482 gt
Tonelaje bruto	339,72 t
Volumen neto de bodega más entrepuente	370 m ³
Capacidad de combustible	255.000 l

será la cubierta principal y la otra la cubierta superior. Dispondrá de una toldilla a popa, de costado a costado, además del puente de gobierno.

El buque irá preparado de acuerdo a las exigencias del Bureau Veritas, sociedad de clasificación para la definición de reglas y cálculos correspondientes.

Respecto a la habilitación, el buque dispondrá de 2 camarotes individuales en el puente de gobierno, 3 camarotes dobles en la cubierta superior y 3 camarotes para cuatro personas en la cubierta principal.

La instalación frigorífica será de ejecución semi-automática, diseñada para expansión directa de refrigerante R449A y accionada por motores eléctricos.

Dispondrá de dos túneles de congelado a -35°C con capacidad de 2.000 kg ciclo de 11 horas cada uno y dos bodegas de congelado a -30°C con un volumen total aproximado de 370 m³, así como el resto de equipamiento de frío necesario para la correcta conservación de las capturas, teniendo en cuenta temperaturas del agua de hasta 32° y temperatura ambiente de hasta 35°.

Respecto a los equipos de pesca, dispondrá de dos tambores de recogida de palangre de superficie, de 71 y 54 millas. El distribuidor de control de los tambores se integra por medio de un bloque hidráulico con el motor.

Asimismo, el buque dispondrá de una lanzadera de popa, un cabestrante de pluma y el resto de los equipos de cubierta necesarios para la maniobra de pesca de palangre superficie, así como dos grúas, a proa y a popa del buque.

La principal novedad consiste en la propulsión híbrida. El buque estará dotado de un motor Yanmar 6N21A-SW de 6 cilindros en línea y 883 kW a 800 rpm, acoplado a una reductora Reintjes WAF 863 con una toma de fuerza PTO/PTI, que permite tomar la generación de los equipos auxiliares para mover la línea de ejes, desacoplando el motor principal. La hélice será fija de 4 palas con diámetro de 2.750 mm.

El proyecto pionero se presentó el pasado de marzo en Bruselas, con la presencia de Luis Planas, tras la reunión de ministros de Agricultura y Pesca de la Unión Europea.

El *Ventura* marca un hito en la construcción naval española al ser el primer buque pesquero en incorporar un sistema de propulsión híbrido, siendo el primer paso firme para la renovación y descarbonización de la flota pesquera europea en cumplimiento con la Agenda 2030.

Con este innovador diseño, tanto la empresa armadora como la oficina técnica y el astillero reafirman su compromiso de avanzar hacia una pesca más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, impulsando tecnologías que permitan mejorar la eficiencia operativa sin comprometer la productividad.



Celebración de los actos institucionales del Carmen 2025

Acto institucional del Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos

El pasado viernes 4 de julio tuvieron lugar los actos de celebración por nuestra patrona la Virgen del Carmen.

Una vez trasladados al salón de actos de la Escuela tras la celebración de la misa, se dio paso al acto institucional presidido por: Antonio Crucelaegui Corvinos, director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales; Rodrigo Pérez Fernández, decano territorial en Madrid; Pilar Tejo Mora-Granados, decana del Colegio Oficial



Los actos comenzaron en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de Madrid, con la celebración de una misa en la que se recordó a nuestros compañeros fallecidos.



de Ingenieros Navales y Oceánicos; Diego Fernández Casado, presidente de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España; y Javier Molina Grijalba, director de la oficina de gestión del Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos y de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España.

De izda. a dcha.: Javier Molina; Antonio Crucelaegui; Pilar Tejo; Diego Fernández; y Rodrigo Pérez.

Entrega de medallas del 50 aniversario

Se entregaron medallas conmemorativas a los compañeros de la promoción del año 1975:

Promoción 75:

Se entrega medalla a:

Luis Barallat López
Jesús M^a Calvo Jerez
Vidal Carcar Muerza
Mariano Cebrián González
Ignacio Gil Corbacho
José Antonio Hernanz Arroyo
Bernardo Luque Hernández
Joaquín Membrado Martínez
Manuel Moreu Munáiz
Olavo Palomo López
Ramón Prego Dorca
Josep Miquel Roca Sans
Julio Rodríguez Vázquez
Fernando Yllescas Ortiz

No han podido asistir:

Ignacio Álvarez Fossi
Juan Basurto Solagurenbeascoa
Diego Colón De Carvajal Gorosabel
Antonio Cortés Enríquez
Alfonso Ezquerro Marrodán
Francisco Fernández Arderius
Joaquín Manuel Gallego Rodríguez
Domingo García López
Juan Ramón Gaubeca Díaz De Corcuera
Juan Gelpi Guerreiro
Santiago De Gregorio Bonnin
Francisco Monsalvete Mazo
José Alfredo Muntión Ruesgas
José Navarro Avilés
José Luis Polledo García
Antonio Quintana Martín
José Manuel Salvadores Pumariño
Jorge Manuel Sendagorta Gomendio
Juan Luis Torras Sánchez

Tampoco han podido acompañarnos los familiares de nuestros compañeros fallecidos:

José Manuel Aza Conejo
 Manuel Espinosa Noguera
 Manuel Fort Riera
 Fernando Ángel García Herrera
 Luis López Olgado
 Santiago Bernardo Mateo Serrano
 Jaime Diego Mateos García
 Juan Manuel Molina López
 Pablo Ollero Ruiz-Tagle
 Francisco Javier Sieres Pérez

En representación de los homenajeados de la promoción del 75 tomó la palabra Manuel Moreu Munáiz:



Por tercer año, estos actos institucionales entregan su correspondiente reconocimiento a los colegiados cuya promoción cumple su vigésimo quinto aniversario, la de 2000.

Promoción 2000:

Se entrega reconocimiento a:

Sergio Alda Blasco
 Raúl Atienza Martín
 Raúl Cascajo Jiménez
 Amelia Cespedosa Medina
 Francisco Javier Del Corral Lara
 Alberto Domínguez Abecia
 Juan Manuel Fernández Sánchez
 José Manuel Flores Osuna

María Lara Hernáiz
 Roberto López Casasola
 Jorge Marijuan Castro
 Patricia Martín González
 José Sánchez-Arévalo Agundo
 José Torres García

No han podido asistir:

Juan Alba Fernández
 Alberto Arias De La Fuente
 Pedro Francisco Bajo Agrasal
 Marta Cantos Sánchez
 Carlos García Buendía
 Ángel Gil Fernández
 Andrés Miguel Gutiérrez Jiménez
 José Ignacio Herruzo Gutiérrez
 Bruno Hervás Baroja
 Sonia Izquierdo Mencía
 Rocío Lastra Acevedo
 Pedro López Fachal
 Donato Martínez Pérez De Rojas
 Antonio Molina Manrique
 Julio Moreno Crespo
 Cristina Muñoz García
 Jesús Luis Navarro Pascual
 Ignacio Núñez Del Castillo
 Benito Núñez Quintanilla
 Mercedes Palacios García
 Williams James Pegram Mate
 Andrea Puig Prohens
 Manuela Pulido Rubio
 Ester Quijada Vicente
 Antonio Rico Rubio
 José Ramón Rodríguez García
 Adrián Sarasquete Fernández
 Rafael Seijo Jordan
 Jesús José Zazo Varas
 Jorge Zickermann Lancastre

En representación de los homenajeados de la promoción del 2000 tomó la palabra José Torres García.



Entrega de insignias a los nuevos colegiados

Se entrega la insignia a:

Diego Alonso Roger
Aranzazu Ayala Serrano
M^a Del Mar Barranco Caparrós
Diego Díaz Cuenca
Rubén García Cañizares
Lucía González Gutiérrez
Javier Moreno Robles
Eduardo Santana De Porras
José Manuel Salvadores Pumariño

En nombre de los nuevos colegiados tomó la palabra Lucía González Gutiérrez:

“Buenas tardes. Gracias por vuestra presencia y por invitarme.

Es un honor poder tomar la palabra hoy representando a los nuevos colegiados del 2024, en este acto dedicado a nuestros compañeros y compañeras de profesión, y también a nuestra patrona, la Virgen del Carmen, que acompaña no solo a los ingenieros navales, sino también a marineros, pescadores, buzos y a todos los que, como nosotros, tenemos la mar como parte esencial de nuestras vidas.

Quiero empezar felicitando a quienes celebran hoy sus 25 y 50 años de trayectoria profesional.

Gracias por abrir camino, por ser referentes, y por recordarnos que esta profesión se construye con vocación, responsabilidad y perseverancia.

Gracias a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales por acogernos hoy en este acto, y por ser un referente de la educación pública de calidad, que ha formado (y sigue formando) a generaciones de ingenieros navales.

También quiero agradecer a la Asociación y al Colegio Oficial de Ingenieros Navales por organizar este encuentro, y por todo el trabajo que hacéis para que esta profesión crezca, se mantenga viva y llegue a más personas. Como cuando acercáis la ingeniería naval a colegios e institutos, despertando vocaciones en niñas y niños que, muchas veces, ni siquiera saben que esta carrera existe. Más de una vez, al decir que soy ingeniera naval, me han respondido: “Anda, nunca me había parado a pensar que los barcos los diseña alguien.”

Para los que acabamos de empezar, el Colegio y la Asociación representan justo eso: un punto de encuentro entre generaciones, un lugar donde compartir ideas, aprender de quienes saben más, y sumar fuerzas en un sector imprescindible para el funcionamiento de la economía mundial.

Y en ese contexto, este es también un momento muy especial para nosotros, los nuevos: hemos terminado la carrera, empezamos a trabajar, y entramos en una profesión tan técnica como bonita, con salidas muy diversas y apasionantes. Pero también es un momento lleno de dudas.

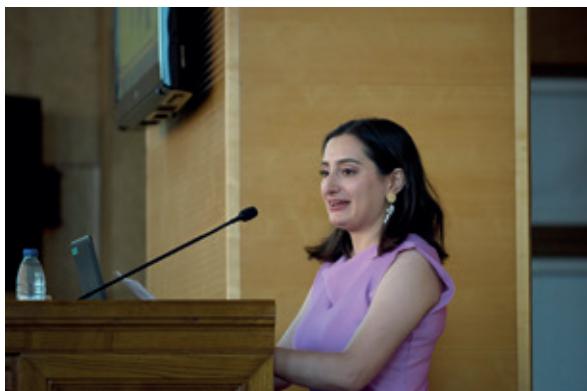
Muchos compañeros y compañeras (yo incluida) hemos decidido buscar fuera de España mejores condiciones laborales: salarios más competitivos, estabilidad y una mejor conciliación entre vida profesional y personal. Es una decisión difícil, que contrasta con la escasez de ingenieros navales que hay en nuestro país.

A esto se suma otra preocupación compartida: el futuro del medio que da sentido a todo lo que hacemos. En algunos puntos del Mediterráneo, en junio, se han registrado anomalías de temperatura de más de cinco grados. Cuidar nuestros mares es también cuidar nuestra profesión. Y desde la ingeniería

ría naval, tenemos tanto la capacidad como la responsabilidad de buscar e impulsar soluciones sostenibles.

Y aunque los retos son grandes, también lo es la motivación con la que los afrontamos quienes empezamos esta etapa. Gracias a quienes nos habéis acompañado hasta aquí, a quienes trabajáis para que este sector siga creciendo, y a quienes, como nosotros, os ilusiona lo que está por venir.

Feliz día de nuestra patrona, y muchas gracias.”



Entrega diploma Colegiado de Honor

En la Junta de Gobierno de fecha 22 de mayo de 2025 se acordó proponer los nombramientos de Colegiado de Honor por los méritos acreditados a lo largo de su carrera profesional y aportaciones al Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos, a: D. José Esteban Pérez García



Actos institucionales de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España

Entrega de insignias a los nuevos Asociados Adheridos. Este año no han podido acompañarnos los nuevos asociados adheridos:

Cruz Pestegui Cardenal
Xabier Agote Aizpurua
Juan Carlos Mejías Tavero
Juan Antonio Oliveira Rodríguez
Jaime Rodrigo De Larrucea
José Daniel Rodríguez Zaragoza
Fernández Jove, S.A

Una vez terminado este acto, la celebración continuó en el restaurante Lar de Domingo.

Premio AINE - 2024 a la mejor trayectoria profesional a menores de 35 años

Con este premio, se reconoce a Arturo Silva Campillo. Ingeniero naval y oceánico por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de la Universidad Politécnica de Madrid. Desde entonces, ha desarrollado una intensa y comprometida carrera profesional orientada a transformar el sector naval a través de la innovación, la docencia y la investigación y conectar la teoría con la práctica. Su carrera comenzó en 2013 en la empresa Seaplace. En 2015, se matriculó en el Programa de Doctorado en Ingeniería Naval y Oceánica de la ETSIN (UPM), compaginando su tesis con el trabajo en la industria.

En 2016, se incorporó a la Universidad Politécnica de Madrid. En 2021, defendió su tesis doctoral con la calificación de Sobresaliente Cum Laude, siendo reconocida como la mejor tesis del año por la Real Academia de Doctores de España (RADE). Ha participado en varios proyectos de investigación y es autor de numerosas conferencias y artículos

técnicos que han obtenido múltiples reconocimientos y premios. Actualmente, ocupa el puesto de coordinador del Máster Internacional en Ingeniería Naval Militar de la UPM.



De izda. a dcha.: Rodrigo Pérez Fernández, Arturo Silva Campillo; Diego Fernández Casado

Premio AINE - 2024 al ingeniero naval con trayectoria más destacada durante 2024

Con este premio, se reconoce a Cristina Sáenz de Santa María. Comienza su trayectoria profesional en DNV España en el año 2005, trabajando como inspectora de nuevas construcciones.

Su buen trabajo en la compañía le lleva desde septiembre de 2017 a asumir el cargo de Gerente Regional para el Sudeste Asiático, Pacífico e India. Sus logros en el año 2024, de acuerdo a la fuente externa “IHS Markit”, llevan a

DNV a posicionarse como primera Sociedad de Clasificación en nuevas construcciones, alcanzando una cuota de mercado del 37%. Su trabajo constante y su buen hacer a lo largo de los años ha sido reconocido por DNV en 2024 y ha sido nombrada COO para empezar a ejercer su puesto en enero 2025.

El hecho de haber sido nombrada COO para todo Marítimo en DNV, una compañía puntera y de renombre internacional, es un logro alcanzable para muy pocos en el mundo.

Premio AINE 2024 a la mejor trayectoria profesional

Con este premio se reconoce a Publio Beltrán Palomo. Son muchas sus intervenciones en buques de todo tipo y es famoso internacionalmente por la resolución de problemas a bordo causados por ruidos y vibraciones. Ha tenido una muy brillante actuación en buques civiles españoles y extranjeros y también en buques militares.

Además de haber creado TSI, una empresa de prestigio internacional, participa en el desarrollo de la tecnología a través de varios proyectos europeos de I+D+i, como Lownoisser, Fibreship, etc. También en paralelo ha desarrollado una tecnología para medir la magnitud de la cavitación mientras la hélice trabaja



De izda. a dcha.: José María Izquierdo; Cristina Sáenz de Santa María y Diego Fernández Casado.



De izda. a dcha.: Pilar Tejo; Publio Beltrán y Diego Fernández



Portugal acogió la 15^a edición de las jornadas técnicas ENERMAR



El Grupo de Trabajo PAT-18 de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España (AINE) clausuró con éxito la decimoquinta edición de sus Jornadas ENERMAR, consolidando este encuentro como una cita clave para el sector de las Energías Renovables Marinas (ERM) en la península ibérica.

En un hito histórico para la cooperación transfronteriza, el evento se celebró por primera vez en Portugal, coorganizado por el Grupo de Trabajo ENERMAR de la AINE y la Ordem dos Engenheiros de Portugal, aunando esfuerzos para fomentar el diálogo técnico y la colaboración internacional en el sector marino-renovable.

Durante tres días, expertos, investigadores, representantes institucionales y líderes de la industria analizaron los avances tecnológicos, las barreras regulatorias y la hoja de ruta para convertir a la península en un referente internacional de sostenibilidad, innovación y autonomía energética. Las jornadas reunieron a empresas, centros de investigación, universidades, reguladores y otros actores clave interesados en el desarrollo de estas tecnologías en aguas europeas.

El programa incluyó 20 ponencias técnicas organizadas en seis paneles temáticos, así como dos mesas redondas: una centrada en los retos industriales y otra en aspectos normativos y regulatorios. Las sesiones abordaron temas como el diseño de dispositivos, la planificación espacial marina, la financiación de proyectos o los desarrollos en tecnología flotante.

El acto inaugural contó con la participación del Dr. Marco Alves, CEO de WavEC, quien ofreció una ponencia magistral sobre la importancia estratégica de las energías marinas en Iberia. Alves subrayó que la actual interconexión energética entre la península y Francia se sitúa en torno al 3%, muy por debajo del objetivo europeo del 15%, lo que hace imprescindible impulsar fuentes renovables propias como la eólica y la undimotriz para “reducir la dependencia externa y fomentar la generación de empleo local”. Como complemento a las sesiones técnicas, se organizaron visitas técnicas a dos instalaciones emblemáticas: la fábrica de Lankhorst, especializada en soluciones de amarre para el sector offshore, y la empresa CorpPower Ocean, referente en el desarrollo de tecnologías de captación de energía de las olas.

Conclusiones

Con esta edición celebrada por primera vez en territorio luso estas Jornadas refuerzan su papel como foro de referencia para la transferencia de conocimiento y la generación de sinergias entre actores clave del sector naval, marítimo y energético de la península ibérica. AINE consolida así su compromiso de promover la innovación y la cooperación para avanzar hacia una transición energética sostenible y soberana, aprovechando todo el potencial que ofrecen nuestros mares y costas.

Las principales conclusiones extraídas de esta edición destacan la consolidación del enfoque ibérico. La colaboración institucional entre AINE y la Ordem dos Engenheiros ha demostrado que la Península Ibérica puede y debe tener una estrategia común para liderar el desarrollo de tecnologías marinas limpias, sostenibles y competitivas.

Además, se presentó un sector en fase de madurez tecnológica. Las soluciones avanzadas en energía undimotriz, solar flotante y sistemas digitales de gestión y operación, confirman que el sector ya dispone de herramientas listas para futuras fases comerciales de mayor escala. Entre los aspectos pendientes, las jornadas pusieron de manifiesto la necesidad de marcos regulatorios claros. Las mesas redondas señalaron la urgencia de disponer de normativas coherentes, transparentes y adaptadas al nuevo contexto flotante, así como de infraestructuras portuarias adecuadas para soportar el despliegue masivo de estas tecnologías.

Por su parte, Universidades, centros tecnológicos, ingenierías y entidades públicas coincidieron en identificar la cooperación como catalizador de progreso y apuntaron que la colaboración multidisciplinar será clave para atraer inversión, reducir costes y generar empleo cualificado.

Asimismo, durante estas Jornadas se destacó que las energías renovables marinas no solo representan una oportunidad ambiental, sino también un motor económico para regiones costeras como Galicia, el norte de Portugal o el arco mediterráneo, al facilitar la reindustrialización, la creación de empleo y la dinamización logística, garantizando un impacto regional tangible.

En definitiva, la celebración del foro ha permitido ofrecer una visión compartida de futuro azul, ya que las jornadas confirmaron que el mar debe ser un pilar estratégico en la transición energética ibérica, no solo como fuente de energía, sino como símbolo de soberanía, resiliencia y cooperación internacional.

Patrocinadores

La organización traslada su agradecimiento a las entidades que hicieron posible esta edición:

Patrocinadores Golden: BlueNewables, CorPower Ocean, CUATRECASAS, DNV, Grupo Emenasa, Navantia SEANERGIES y el Instituto Politécnico de Viana do Castelo (IPVC).

Patrocinadores Premium: GHENOVA, BREZO Energy, Lloyd's Register, PipeSpain.

Media partner: Actualidad Marítima y Portuaria.



La DT en Galicia celebra la festividad de la Virgen del Carmen

La Delegación Territorial de Galicia celebró la festividad de la Virgen del Carmen, que este año reunió como viene siendo tradición, reunió a los Colegiados de la Zona Norte y de la Zona Sur en sendas cenas de confraternización.

La celebración tuvo lugar en Ferrol el jueves 3 de Julio para los colegiados de la zona norte, y en Vigo el viernes 4 de Julio para los colegiados de la zona sur, aunque como en ocasiones anteriores hubo compañeros que quisieron estar presente en ambos acontecimientos.

Zona norte

Como antesala a la cena de confraternización en Ferrol se celebró un pequeño acto institucional en el Aula Magna de la Facultad de Humanidades del Campus de Ferrol presidido por la Vicerrectora del Campus de Ferrol Dª. Ana Isabel Pernas, y por el Decano Territorial del COIN, D. Jorge Dahl de Sbrino y que comenzó con unas palabras de bienvenida a cargo del Decano Territorial y de la Vicerrectora del Campus.

Acto seguido se procedió a la entrega de insignias y medallas a aquellos nuevos colegiados, o compañeros que han cumplido los 25 o 50 años de profesión, y que no podrán recogerlas en la festividad de Carmen de Madrid.

Igualmente se hizo entrega de la insignia que reconoce a Juan Antonio Oliveira Rodríguez, Director Técnico del Centro de Excelencia del Sector Naval, Siemens Industry Software, S.L., como Asociado Adherido a AINE. Desde aquí te damos las gracias Juan por tu colaboración con AINE durante estos



Vicerrectora del Campus de Ferrol, Decano/
Presidente Territorial en Galicia COIN/AINE

últimos años. La insignia la recogió el Decano Territorial pues por problemas de conexión en su vuelo de vuelta a Ferrol, Juan no pudo estar presente.

Finalmente, y dado que la Delegación Territorial de Galicia ha querido rendir merecido homenaje y reconocimiento a los/as colegiados/as de las 4 primeras promociones de la EPS (Escuela Politécnica Superior de Ferrol) que finalizaron su Máster en Ingeniería Naval en los años 1996, 1997, 1998 y 1999, se procedió a la entrega de un pequeño recuerdo, “La Marina y las expediciones en el reinado de Isabel II” (Autor Luis Alañón Flox).

A punto de finalizar, y fuera de programa, se entregó la insignia a los Colegiados Rafael Jaime Suárez Pérez, (promoción 1986 y actual Gerente de Exponav) y a Vicente Díaz Casas, promoción 2004 y director de la EPEF), ya que los cuales expresaron su deseo de recibirla ya que nunca se les entregó; dicho y hecho:

La jornada finalizó con un cóctel, cuya celebración estaba inicialmente prevista en los Jardines del Campus Universitario, pero debido a las malas condiciones meteorológicas en Fe-



Colegiados EPEF 1996 -1999
Pedro López Fachal,
Francisco Javier Filgueira Rodríguez,
Jose Luis López Fresco,
Fernando Lago Rodríguez,
Roberto Moledo (no colegiado)



rrol, (cosa rara pues en Ferrol como todos sabéis no llueve casi nunca), se trasladó a la cafetería de estudiantes. Al cóctel asistieron más de 50 personas entre homenajeados, familiares, amigos y colegiados de la zona Norte que

estuvieron hasta medianoche disfrutando la velada, y recordando anécdotas de la Universidad y trabajo. La festividad del Carmen concluyó el viernes 4 con una misa, como marca la tradición en la zona Norte, en la capilla del

Campus en recuerdo de los compañeros fallecidos en el último año.

Zona sur

La festividad de la Virgen del Carmen se celebró en la



Nuevo colegiado- Alejandro Mariño González / Promoción 25 – Adrián Sarasquete Fernández



zona sur, en el Círculo de Empresarios de Galicia, con la asistencia de unos 40 colegiados, familiares y amigos. Al igual que en la zona Norte, se procedió a la entrega de insignias a los nuevos colegiados, que prefirieron recogerla en Vigo, por imposibilidad de acudir a Madrid.

El cóctel finalizó a medianoche, aunque como también es tradición, lo más jóvenes se fueron a tomar la penúltima en alguno de los locales de la movida viguesa. Desde aquí muchísimas gracias a todos los asistentes, y a la organización.

¡!!Nos vemos el año que viene¡¡

La DT en Andalucía celebra el Trofeo de Golf 2025

El Trofeo de Golf se disputó el pasado domingo 22 de junio, en el Club de Golf Novo Sancti Petri (Chiclana – Cádiz), con 49 participantes, y cerca de 80 asistentes a la comida de hermandad posterior en el mismo Club.

Un evento que combinó a la perfección, deporte y compañerismo.

Tras la entrega de los premios, se realizó un magnífico sorteo de regalos entre los asistentes a la comida.

Agradecimientos

Desde la organización quieren agradecer a todos los sponsors y colaboradores de este Torneo de Golf:

Sponsors: Fluidmecanicash; ABS; Airmat; DNV; Francisco Sanchez Reparaciones Navales; Ghenova; Grupo Resa; Marine Hvac; Martin Bahia (Grupo Solino Recosol, Copлага Y Soligrabs); Surcontrol y Turbocadiz.

Colaboradores: Abance; Bureau Veritas; CT Ingenieros; Frizonia y Torsesa.



Guadalquivir de "puerta ancha": Proyectos de dragado de la barra de Sanlúcar en el siglo XX

MARCOS PACHECO MORALES-PADRÓN



Imagen nº 1. Barra de Sanlúcar y desembocadura del Guadalquivir. Año 1899. E. Portabella; Junta del Puerto de Sevilla. Museo Marítimo Torre del Oro (Sevilla), 113.

La barra de Sanlúcar, en Cádiz, ha sido, es y siempre será nudo gordiano de la navegabilidad del río Guadalquivir. Dicho afloramiento rocoso y limoso, achacoso y viejo, en los años cincuenta volvió a protagonizar una paradoja de una frivolidad desconcertante, inquieta y descontentadiza. Hoy aquí y mañana allí, y poco a poco en todas partes con sus arenas, pero siempre persistiendo en una amenaza progresiva, como la vivida en el siglo XVII que obligó al traslado de las flotas de Indias a la cercana Bahía por falta de calado. El problema planteado en los años cincuenta, con cegamiento de la barra y frecuentes naufragios de pesqueros sanluqueños y varadas de buques mercantes, terminaba en una interrogante, solo descifrable por los términos de un pesimismo total si no se actuaba. Pero, antes de actuar definitivamente, debemos retroceder en el tiempo para ver los diferentes proyectos que anteriormente se han fraguado para mejorar la navegación por la desembocadura del Guadalquivir.

El acceso marítimo a Sevilla, antes de rectificarse, se servía de un canal natural que sorteaba los diferentes bajos existentes en la desembocadura y que, por mucho tiempo, fue suficiente, ya que contaba con calados muy superiores a los del propio río. Pero esta situación cambió radicalmente en el siglo XIX cuando las obras ejecutadas en esta última parte mejoraron sus condiciones náuticas (cortas de meandros o tornos).

A partir de entonces el calado y anchura del canal de la barra comenzó a resultar escaso y, con frecuencia, buques que habían navegado desde Sevilla sin dificultad, tenían que quedar fondeados en el puerto sanluqueño de Bonanza en espera de que una marea favorable diera a la barra profundidad suficiente para su salida. Como esta última debía de estar condicionada por el estado del mar, a veces resultaba que las tripulaciones perdían el día oportuno y tenían que prolongar su estancia en Bonanza.

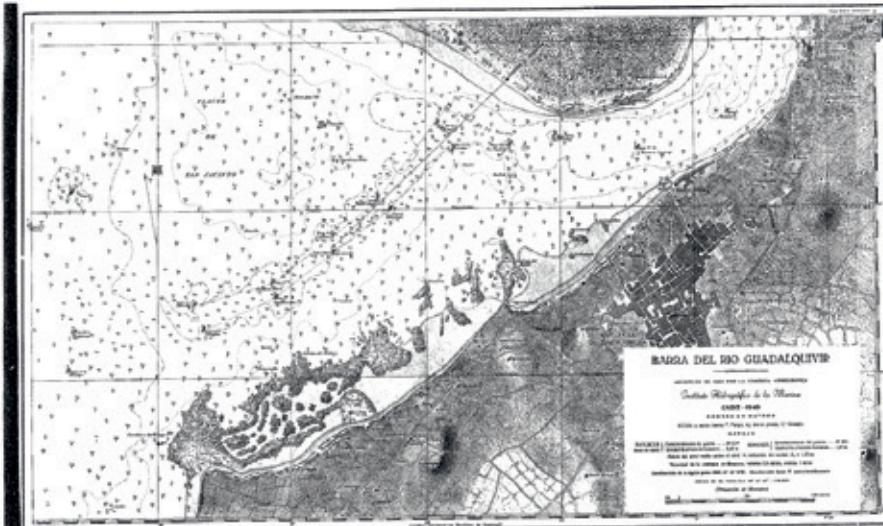


Imagen nº 2. Plano de la barra del río Guadalquivir. Año 1923. Instituto Hidrográfico de la Marina. N° 58.

gar su estancia hasta que se repitieran las mareas que necesitaban. Así, hubo algunos barcos que estuvieron detenidos durante 20 y 30 días, con grave perjuicio para sus intereses y el crédito del puerto hispalense¹.

Preocupada la Junta de Obras del Puerto y Ría del Guadalquivir² por esta situación, ejecutó algunos dragados que permitieron en 1911 abrir un segundo canal que mejoraba, en algo más de 1 m, el calado del antiguo. Sin embargo, aunque el nuevo solo tenía 60 m de anchura y 4,20 m de profundidad en bajamar media viva equinoccial³, su apertura constituyó un evidente progreso que terminó, en parte, con los entorpecimientos que anteriormente se han hecho mención.

Pero el satisfactorio resultado obtenido no era suficiente; había que ampliarlo hasta ponerlo en condiciones de que su navegación se efectuara sin restricción alguna, tanto de día como de noche, y de que los barcos pudieran cruzarse por él. A tal efecto, en junio de 1921 se redactó otro proyecto para el dragado de la barra con profundidades y

anchuras tales, que «resolvieran el problema definitivamente».

La ubicación del nuevo canal sería corregida con respecto al de 1911, desplazándose un poco hacia el sur para así quedar más lejos de los bajos de arena de Doñana. Su anchura sería ampliada hasta llegar a los 80 m, que por aquel entonces se consideraba suficiente, mientras que la profundidad se fijó en 5,5 m con respecto al nivel de B.M.V.E.

En vista de ello, en febrero de 1922 se redactó el proyecto con un presupuesto de 1.153.526,17 pts, el cual fue aprobado el 27 de abril de 1922.

Entre 1923-29 las dragas extraerían en la desembocadura un total de 966.077 m³ de arena, fango y piedras. Las de rosario se emplearon entre los bancos de Galoneras y La Riza, donde los fondos están constituidos por arcilla, lajas de piedra, en general de grandes dimensiones, y restos de ostiones y otras conchas marinas.

En esta zona el trabajo exige buen tiempo, razón por la cual las campañas se limitaron a los meses de verano. Durante estos seis

¹ Ya en los siglos XVI y XVII este tipo de problemas eran comunes. En cierta medida, las condiciones debían de ser comparables a las de un puerto de montaña. Si queremos establecer similitudes, los pozos de Chipiona y Bonanza eran lugares donde los barcos, a veces, tenían que esperar durante semanas el momento propicio, como le ocurrió al general Juan de Urbina con la armada de Barlovento (1646), la cual estuvo noventa días sin poder salir y tuvo necesidad de una segunda provisión de bastimentos.

² A partir de ahora J.O.P.

³ A partir de ahora B.M.V.E.

Imagen nº 3. Draga Genil colocando boyas en el canal de acceso a la broa o barra de Sanlúcar. Año s/f. Archivo de la Junta de Obras del Puerto de Sevilla.

años, la duración total de las labores de dragado fue de 515 días, de los cuales 337 fueron útiles, mientras que 178 perdidos. El rendimiento medio por jornada llegó a los 704 m³.

Por otra parte, los dragados realizados por succión se centraron en la zona del Lagunazo, donde los fondos son de arena con algunas piedras de no grandes dimensiones que no impidieron, aunque algo dificultaron, los trabajos.

Estas actuaciones comenzaron a efectuarse con las dragas Guadaira y Guadiamar, adquiridas por la J.O.P. en 1901, pero bien pronto pudo apreciarse que ambas resultaban in-



suficientes para trabajar «en lugar tan abierto», por cuya razón se prescindió de ellas, efectuándose mediante destajos con una alquilada de 500 m³ de capacidad de cántara. Los resultados obtenidos con esta última permitieron, en 1926, abandonar la canal antigua para llevar toda la navegación sobre la nueva, suprimiéndose, en consecuencia,



Imagen nº 4. Restos del buque mercante Delfina en la barra de Sanlúcar. Año 1940. Revista Prácticos del Puerto El otro Delfina. Consultado el 09/06/2025.

<https://www.practicosdepuerto.es/es/colegio-federacion/publicaciones/el-otro-delfina>

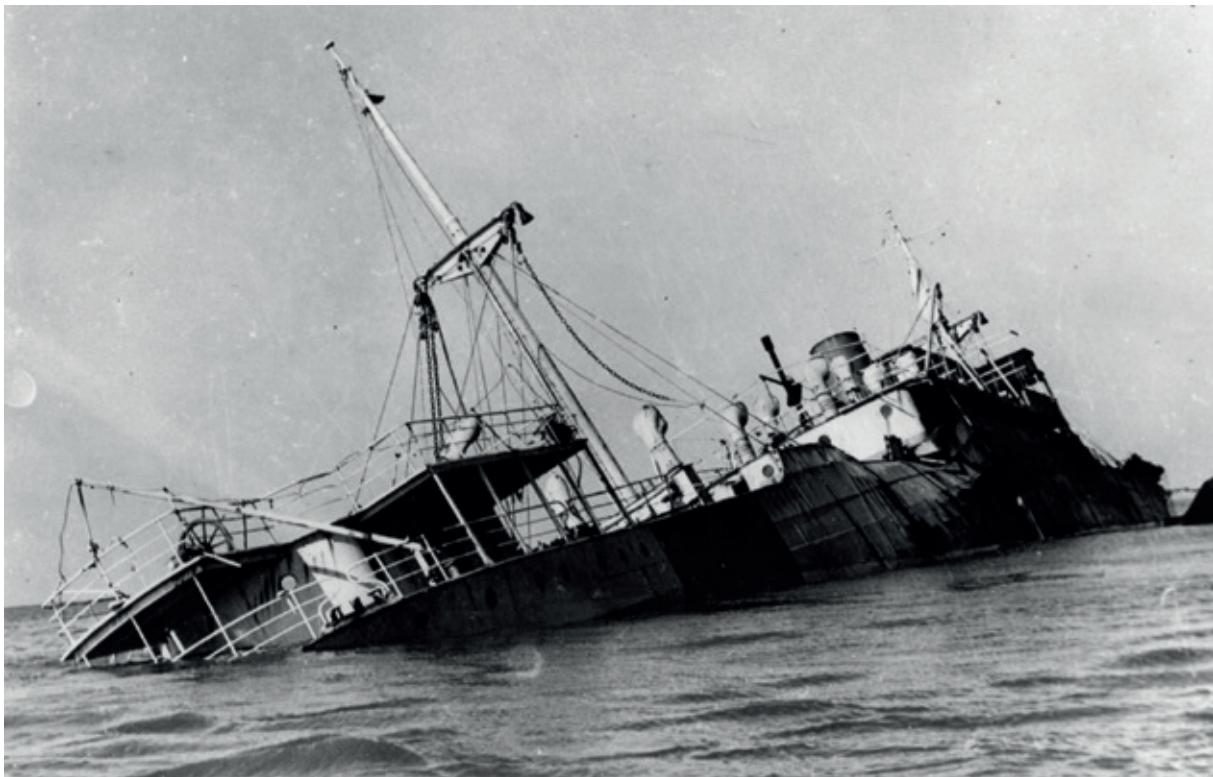


Imagen nº 5. Restos del buque Monte Aralar en el puerto de Bonanza. Año 1941. Museo Marítimo de Bilbao (cedida por Juan Mª Rekalde).

el doble balizamiento. Entre dicha fecha y 1929 se terminaría de balizar.

La experiencia adquirida, como resultado de estos años de trabajo en la barra de Sanlúcar, fue suficiente para determinar que la conservación de los fondos del acceso marítimo por la desembocadura no habían de ofrecer dificultad alguna de carácter técnico, pero sí, en cambio, de exigir una constante conservación, como desde entonces viene siendo habitual.

El canal que acabamos de describir, aplicado también al de navegación interior entre Bonanza y Sevilla, cumplió su función durante muchos años, pero la necesidad de agilizar la navegación llevó a que en octubre de 1951 se redactara el Proyecto de nuevo canal en la Broa de Sanlúcar, con un trazado que suponía la rectificación del antiguo. La longitud total era de 6.583 metros, de los

cuales 4.363 eran de barra interior. El trabajo total se realizaría en dos etapas, en la primera de las cuales se dragaría un canal de 100 metros de anchura en su base con un calado de 6,5 metros respecto a la B.M.V.E. Es aquí cuando regresamos al texto inicial de este artículo, donde mencionábamos una serie de incidentes acaecidos en la barra en los años cuarenta, protagonizados por varadas y naufragios de pesqueros de Sanlúcar y algunos buques mercantes.

La aprobación técnica del proyecto se produjo el 29 de marzo de 1955 y ella, según el dictamen de la sección de Puertos del Consejo de Obras Públicas, «consideraba que la primera fase debía servir de experimentación sobre el comportamiento y estabilidad de la canal para ulteriores actuaciones». La autorización del ministerio de Obras Públicas no llegaría hasta el 26 de mayo de 1964..., para que la Junta de

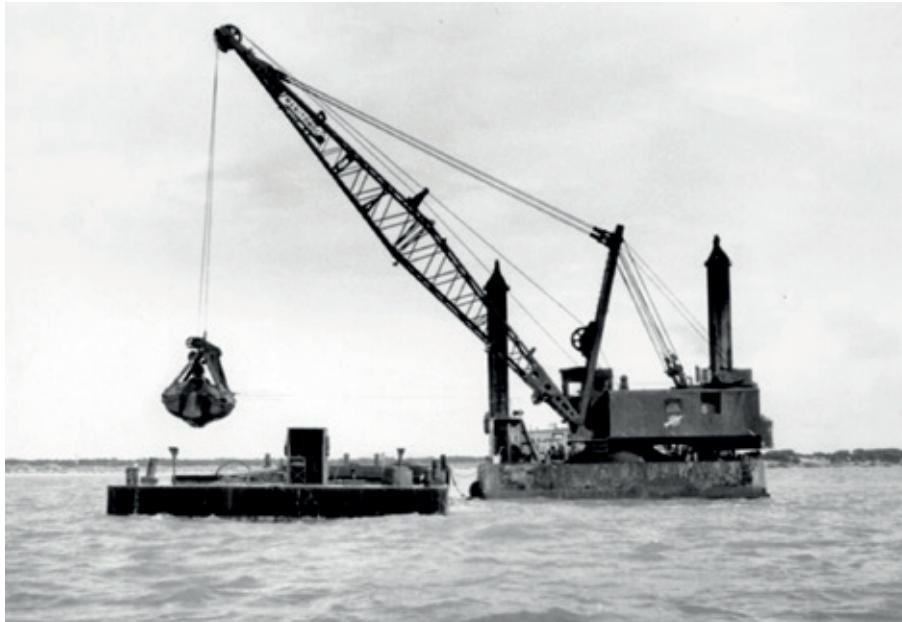


Imagen nº 6. Draga trabajando en la barra de Sanlúcar. Año 1966. Fondo fotográfico del Archivo de la Autoridad Portuaria de Sevilla. PS00121

Obras convocara una subasta pública para dicha excavación, con una licitación máxima de 25.384.909 pesetas. El volumen a dragar ascendería a 547.200 m³. Con fecha 5 de julio de 1964 se redactó el Proyecto parcial primera etapa de la Nueva Canal de la Broa de Sanlúcar. En 1966 se inician las obras, las cuales prosiguen en los siguientes años hasta terminarlas en 1971.

Dragados y Construcciones, con una base logística en el Puerto de Sevilla, se hizo con la adjudicación. Trabajaron dos dragas de succión: la Dracmidén, de 325 m³ de capacidad, la cual podía extraer en doce horas unos 900 m³ de arena, y la Dracpolí, con 575 m³ de capacidad, que podía dragar en el mismo intervalo de tiempo unos 1.500 m³. La tercera sería de rosario, denominada Dracmica, la cual tenía un rendimiento de unos 2.000 m³ igualmente en la jornada de doce horas. Además, intervinieron tres remolcadores, Dracanda, Dractaca y el Dracuelva, como auxiliares de la referida draga de rosario, los cuales eran necesarios para mover el equipo de cuatro ganguiles de fondo abierto, quienes transportaron los productos cargados al vaciadero, situado más allá del bajo del Picacho. El

jefe de obras fue Jacinto Pellón Díaz, acompañado de un equipo técnico formado por los ingenieros Emilio Alonso Álvarez, Carlos París Solas y Juan Manuel Morón García.

El nuevo canal excavado solo atañía a la barra interior, comprendida desde la boyas de Cambrey hasta Galoneras. Por tanto, unía en línea directa los dos extremos de la amplísima curva que describía la canal antigua. En consecuencia, quedaron suprimidos los tornos de La Riza y Galoneras, mientras que la entrada al fondeadero de Bonanza se haría recto.

Continuando con la labor emprendida, en julio de 1975 se presentó el Proyecto de bases para el dragado de ensanche y prolongación de la Nueva Canal de la Broa de Sanlúcar, que ahora atañía a la barra exterior; parte que había quedado pendiente. Las dificultades, según se explica en la memoria de la J.O.P. correspondiente a ese año, para navegar el tramo tan largo realizado en la primera etapa, con solamente 120 metros de anchura y como se había previsto en el programa primitivo, aconsejaba incluir en un mismo proyecto la terminación (2.227 metros más) y el ensanche de toda la canal a

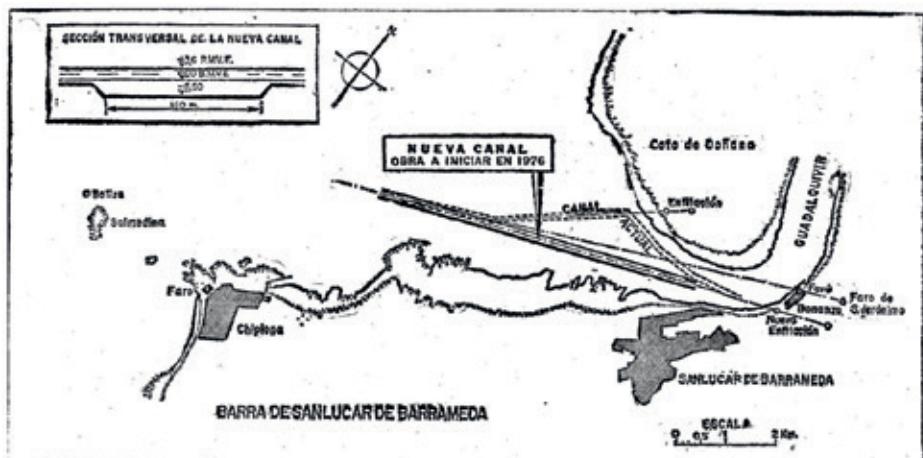


Imagen nº 7.
ABC de Sevilla,
21/02/1976, p. 23.

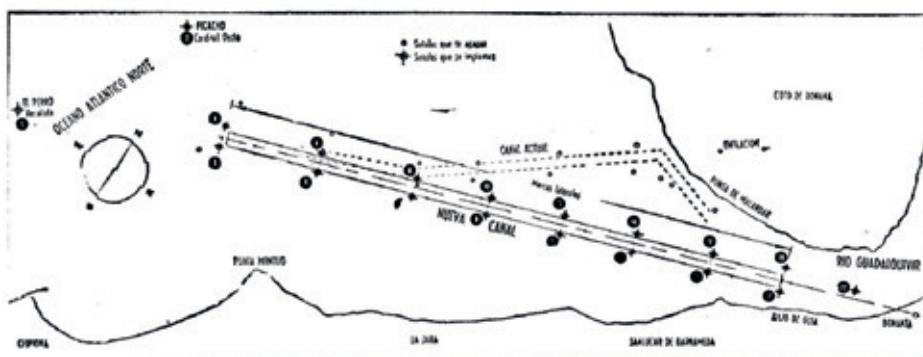


Imagen nº 8.
ABC de Sevilla,
23/04/1986, p. 13.

160 metros en la solera. Es decir, se completaría el canal recto, con una única enfilación, y una longitud total de 6.590 metros.

Las obras se iniciaron en 1977 y fueron inauguradas en el verano de 1982, ya rematadas y con el balizamiento correspondiente. Con la terminación de estos dragados se consiguió una nueva canal de acceso cuyo trazado definitivamente rectifica el de la canal antigua, y se ensancha de 120 a 160 metros, manteniendo los 6,5 metros de calado de 1955. Este es, actualmente, el acceso a la ría o estuario del Guadalquivir desde la mar.

El presupuesto de las obras de la nueva canal de la broa de Sanlúcar alcanzó cerca de los trescientos millones de pesetas. La obra sensiblemente acortaba el recorrido a atravesar de la canal de la broa, y permitió la entrada de buques de hasta 10.000 t de registro bru-

en servicio la actualización el calado era de 21 pies. lo que limitaba el tonelaje a 6.000 T.R.B.

Para la realización de esta última fase del proyecto de 1955 -que comprendía la extracción y vertido de más de 2.300.000 m³ de arenas y fangos de la desembocadura- la empresa adjudicataria tropezó con serios y complejos problemas, derivados tanto de la naturaleza del material a dragar -rocoso en algunas zonas- como de las adversas condiciones de oleaje y corrientes a soportar por el tren de dragado, particularmente durante el invierno. Como solución satisfactoria hubo que ir a la adquisición de un material modernísimo para la época, integrado por un Dipper Manitowoc 4.600 -primero de su especie en Europa-, dos ganguiles de 1.000 m³ y un remolcador de 825 cv además de embarcaciones auxiliares complementarias. No obstante, a pesar de la potencia extraordinaria de la

⁴ A partir de ahora T.R.B.

Imagen nº 9. Carta náutica de la broa de Sanlúcar de Barrameda y fondeadero de Bonanza. Año 1996. Instituto Hidrográfico de la Marina.



retroexcavadora -905 CV-, hubo de recurrirse en ocasiones al peligroso e inevitable recurso de las voladuras submarinas donde el espesor de la capa de roca hacía imposible la extracción directa.

Se trabajó por fuera en verano y por dentro en invierno, con una pérdida aproximada de 30-40 días al año por mal tiempo (con draga normal, la pérdida subiría hasta 120 días). Cincuenta hombres, en su mayoría especialistas (peritos, maquinistas navales, patrones, contramaestres, etc.) trabajaron en tres turnos a diario, excepto el domingo.

Por fin, se dio una solución definitiva al problema -viejísimo problema- del tráfico marítimo por la barra del Guadalquivir. Este proyecto, lanzado en 1955 pero puesto en marcha en dos fases (1964-71 y 1977-82) supuso un importantísimo paso para la revitalización del tráfico marítimo por la ría del Guadalquivir, cuya navegación siempre ha estado condicionado durante siglos a las mareas, lo que, lógicamente, en algunas ocasiones originaba demoras de hasta doce

horas antes de iniciarse la subida de cualquier buque hasta el Puerto de Sevilla. Las ventajas del nuevo canal, según informó Mariano de Castro, ingeniero de conservación de la J.O.P., al diario ABC de Sevilla, fueron que a partir de entonces se evitaría que los buques procedentes de otros puertos, con el calado de la ría, tuviesen que fondear en la boyera de El Perro (ahora Juan Sebastián Elcano), frente a Chipiona, a la espera de mareas favorables, cuya espera venía prologándose hasta 14 horas, en algunos casos, en condiciones meteorológicas bastante desfavorables, lo cual suponía una importante pérdida de tiempo y económica en el movimiento marítimo comercial hacia los muelles del Guadalquivir. Además, a partir de ahora dos buques podrían cruzarse simultáneamente por la canal, e incluso navegar de noche. Por último, se redujeron los dragados de conservación gracias a la autolimpieza de arenas que efectúa la marea.



Imagen nº 10. Buques mercantes saliendo de Bonanza, y ría del Guadalquivir, al Atlántico por el canal de la barra de Sanlúcar.

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 Acoplamientos 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 Rebozes 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, tecles
- 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 Habilitación, 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

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

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



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

2.12 Otros elementos de la planta de propulsión

COTERENA

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

Muelle de reparaciones de Bouzas, s/n
 P.O. Box 2.056 - 36208-VIGO (Spain)
 Telf + 34 986 23 87 67
 FAX + 34 986 23 87 19
 Email: coterena@coterena.es



VULKAN Española S.A.

Acoplamientos elásticos, suspensiones elásticas. Embragues, frenos, tomas de fuerza (PTO/PTI), ejes cardán, 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



Inserте
aquí su
publicidad

2.13 Componentes de motores



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

c/ García Camba, 6 • Oficina 403
36001 Pontevedra
Telf + 34 692 549 549
Email: info@rolloymarine.com
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
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

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

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
<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
<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: fcarrceller@carceller.com
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
<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
-  www.tsisl.es/es/formacion
-  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 web: www.seaplace.es



GESTENAVAL
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

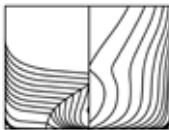
Méndez Núñez, 35 -1º
36600 Villagarcía de Arosa

Phone: +34 986508436

E-mail: info@gestenaval.com

Web: www.gestenaval.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

www.orpmar.com



Programa Editorial Editorial Program 2025

ENERO • JANUARY

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

Propulsión: 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

YOUR PROPULSION EXPERTS

100
SINCE 1921



SRP



SRE



STP



SCP



SRP-R



SPJ



STT



SRT

WE KNOW WHAT MOVES VESSELS

WIRESA

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

www.schottel.com

📞 +34 91 4 11 02 85
+34 91 5 63 06 91
✉ ecostoso@wiresa.com