



# INGENIERÍA naval

REVISTA DEL SECTOR MARÍTIMO

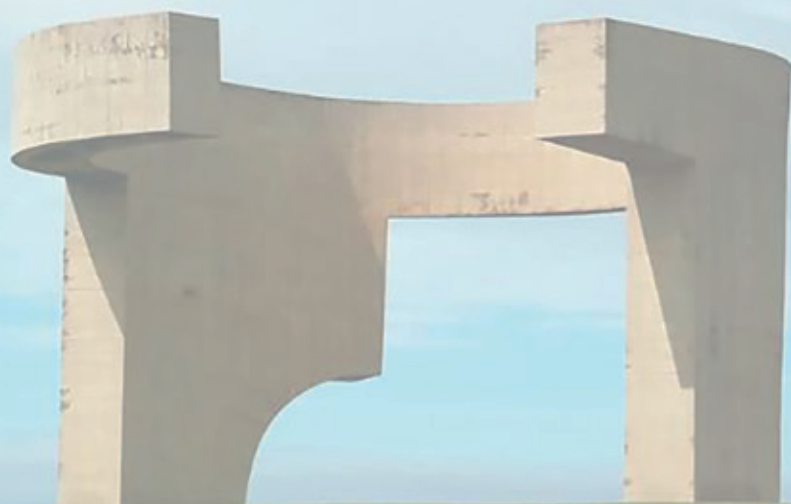
sectormaritimo.es

AÑO XCIII · N°1039 · NOVIEMBRE 2024



## 64º Congreso Internacional de Ingeniería Naval e Industria Marítima

**Gijón** 26-28 de marzo de 2025



La industria naval y marítima  
como motor de la **economía azul**.  
Por un futuro sostenible para todos.

# Filipinas y el Pacífico

La construcción naval,  
la navegación y la metalurgia

1575 - 1850



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



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

# Redacción

N.º 1039 • NOVIEMBRE • 2024

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

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

Diego Fernández Casado, I.N.

## **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 (2024):**

Electrónica general 90,00 €

Electrónica estudiantes 45,00 €

Papel + electrónica 110,00 €

(sólo España)

SUSCRÍBETE AQUÍ:  
sectormaritimo.es



**AÑO XCIII • N.º 1039**

**noviembre 2024**

**Publicación mensual**

**ISSN: 0020-1073**

**Depósito Legal: M 51 - 1958**

**REVISTA DEL SECTOR MARÍTIMO**



## **NOTAS:**

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

## **CONSEJO TÉCNICO ASESOR**

D. Francisco de Bartolomé Guijosa  
D. Manuel Carlier de Laval  
D. Rafael Gutiérrez Fraile  
D. José María de Juan-García Aguado  
D. Nandi Lorensu Jaesuria  
D. Miguel Ángel Palencia Herrero  
D. Mariano Pérez Sobrino  
D. Jesús Valle Cabezas



# Sumario

Nº 1039 · NOVIEMBRE · 2024

760

## artículo técnico

“Digital twin prototype of the logistic-productive process for the manufacturing of offshore wind projects”, por S. Bueno Infantes; D. Molero Media; S. Pereira de la Infanta; D. Crespo Pereira

“Experimental analysis of frigate exhaust impact on helicopter operations over the flight deck”, por J. C. Marías García; E. Barroso Barderas; R. Bardera Mora

792.

## en profundidad

“EAGLE - Hacia la digitalización de las operaciones con sistemas aéreos no tripulados para el mantenimiento de parques eólicos offshore”, por M. Míguez González; A. Gosset; M. Cabaleiro Figueroa; M. Vidić; L. Santiago Caamaño

“Innovación en el horizonte de la energía eólica marina: Tecnología Triwind-Hex de Beridi Maritime S.L.”

800.

## conectados

807.

## construcción naval

811.

## actualidad

817.

## coyuntura del sector naval

“2025. La flota mundial crecerá. Viento en las velas e incertidumbres”, por J-E. Pérez García

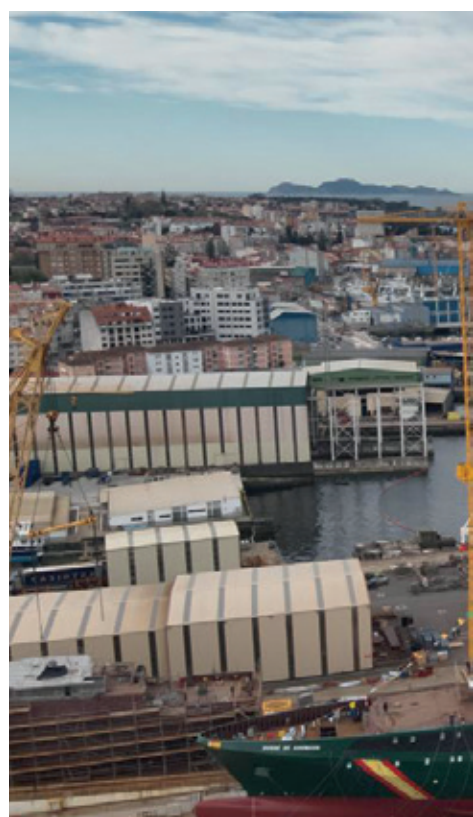
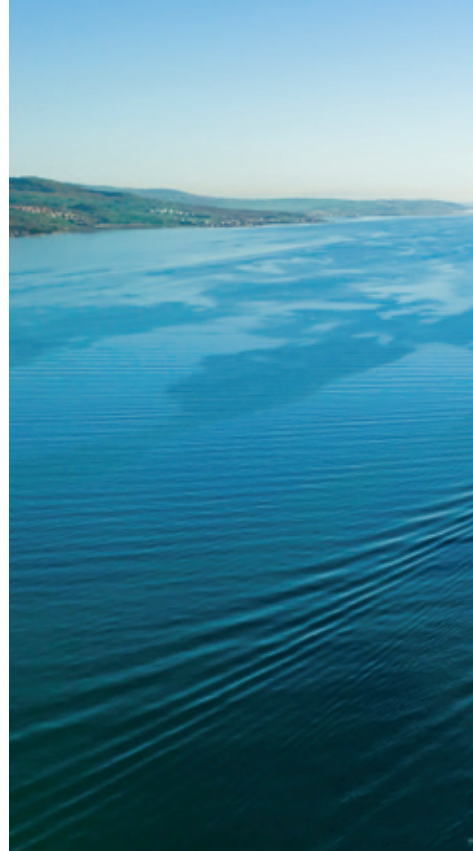
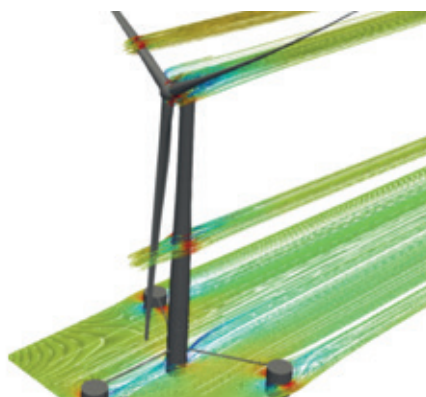
837.

## guía de empresas

792

## en profundidad

EAGLE - Hacia la digitalización de las operaciones con sistemas aéreos no tripulados para el mantenimiento de parques eólicos offshore





# 817

## coyuntura

2025.  
La flota mundial crecerá.  
Viento en las velas e  
incertidumbres



# 796

## en profundidad

Innovación en el horizonte  
de la energía eólica marina:  
tecnología Triwind-Hex de  
Beridi Maritime S.L.



# 809

## construcción naval

Botadura del nuevo  
buque oceánico  
Duque de Ahumada de la  
Guardia Civil



## Editorial

### Buen viento y buena mar

El jueves 21 de noviembre tuvo lugar la ceremonia de amadrinamiento del buque oceanográfico *Odón de Buen* en el puerto de Cádiz. El acto fue presidido por la secretaria general de Investigación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICIU), Eva Ortega, junto a la presidenta del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Eloísa del Pino. Clementina de Buen, nieta del científico fundador del IEO que da nombre al barco, se encargó de realizar el amadrinamiento. El Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), dependiente del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICIU), explotará el que es, hasta la fecha, el mayor barco oceanográfico de la flota española.

Recordemos, que la Delegación Territorial en Galicia de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España, celebró a mediados de junio, la Jornada Técnica: “Buques oceanográficos: innovación, tecnología y tendencias”, adelantándose a este hito, y cuyos asistentes pudieron subir, durante la jornada de tarde, a bordo del *Odón de Buen*. Si no habéis tenido ocasión de ver la jornada de mañana de esta sesión, la tenéis disponible en el canal de YouTube (@IngenierosNavalesyOceanicos). Así mismo, os recordamos que la reseña de esta jornada fue publicada en el número 1.036, correspondiente al mes de julio/agosto 2024, de esta publicación.

Desde aquí, deseamos lo mejor al buque oceanográfico más grande y avanzado de la flota española.

Por último, cerramos esta editorial recordando que la presentación de resúmenes para la 64ª edición del Congreso Internacional de Ingeniería Naval e Industria Marítima, que tendrá lugar del 24 al 26 de marzo de 2025 en Gijón, finaliza el próximo 30 de diciembre de 2024. Cada día va aumentando el número de patrocinadores y colaboradores, como podéis comprobar en la web del congreso: [www.64congreso.ingenierosnavales.com](http://www.64congreso.ingenierosnavales.com), muestra de la apuesta por este evento. ¡MUCHAS GRACIAS! Una edición más, seguimos trabajando en aumentar la internacionalización, y por ende, contamos ya con un comité científico, además del apoyo de la SNAME y del CEMT.

Fechas clave:

- Título y resumen: 30 de diciembre de 2024
- Trabajo completo: 24 de febrero de 2025
- Presentación: 17 de marzo de 2025

Todos los envíos serán realizados por correo electrónico a la siguiente dirección:

[congress@ingenierosnavales.com](mailto:congress@ingenierosnavales.com).



# Digital twin prototype of the logistic-productive process for the manufacturing of offshore wind projects



**Santiago  
Bueno Infantes**



**Daniel  
Molero Medina**



**Sara Pereira  
de la Infanta**



**Diego  
Crespo Pereira**

**Paper presented at the 63rd International Congress of Naval Architecture, Marine Technology and Marine Industry. Madrid, 24 - 26 April 2024.**

## ÍNDICE

### Abstract / Resumen

#### 1. Introduction

#### 2. Challenge

#### 3. Methodology

3.1. Discrete event software

3.2. Parnasus Service

3.3. Workflow

#### 4. Previous studies

4.1. Manufacturing strategies

4.2. Analysis of the construction facilities

4.3. Key Performance Indicators

4.3.1. Project constraints

4.3.2. Manufacturing line performance

4.3.3. Availability and reception of supplies and components

4.3.4. Optimization of equipment

4.3.5. Optimization of personnel

4.3. Integration Assessment

#### 5. Creation of the digital model

5.1. Model developments

5.1.1. Inputs

5.1.2. Integration with visualization systems

5.2. Analysis and optimization of the logistic-productive chain

5.1.1. Inputs

5.1.2. Integration with visualization systems

#### 6. Base case studio

6.1. Characteristics of the project

6.2. Digital Model creation

6.2.1. Workstations and Support Areas

6.2.2. Tasks and commands definition

6.2.3. Workforce and equipment

6.2.4. Requirements and restrictions

6.3. Analysis and validation

6.4. Optimization of results

6.4.1. Variation in unloading durations, berthing areas and number of vessels

6.4.2. Variation of storage capacity and unloading times

6.4.3. Reduction of primary steel storage capacity

#### 7. Conclusions

## Abstract

In a European context where floating offshore wind is projected to account for approximately 3% of global capacity by 2050, with around 300 GW installed worldwide, of which around 100 GW will be located in Europe, the need for efficiency and optimisation in the construction of infrastructures for the production of these floating platforms becomes imperative. In response, Seaplace has developed Parnasus.

Parnasus offers an innovative approach by developing a digital twin of the logistical-productive processes of the manufacturing plant for floating wind turbine platforms. Using discrete event software, we have created a model that identifies production bottlenecks, optimises resources and analyses material procurement and receipts, allowing us to evaluate alternatives and analyse the impact on cost and time for the mass production of floating wind turbine units.

Parnasus is a tool that allows the different agents in the manufacturing chain to analyse and optimise the different processes at an early stage in order to minimise technical and economic risks in infrastructure investments.

## Resumen

En un contexto europeo donde se proyecta que la energía eólica marina flotante represente aproximadamente el 3% de la capacidad global para el año 2050, con alrededor de 300 GW instalados en todo el mundo, de los cuales unos 100 GW estarán ubicados en Europa, la necesidad de eficiencia y optimización en la construcción de infraestructuras para la producción de estas plataformas flotantes se vuelve imperativa. En respuesta, Seaplace ha desarrollado Parnasus.

Parnasus ofrece un enfoque innovador al desarrollar un gemelo digital de los procesos

logístico-productivos de la planta de fabricación de plataformas para eólica flotante. Utilizando software de eventos discretos, se ha creado un modelo que identifica cuellos de botella en la producción, optimiza recursos y analiza compras y recepciones de materiales, permitiendo evaluar alternativas y analizar el impacto en costes y tiempos para la producción en serie de unidades eólicas flotantes.

Parnasus es una herramienta que permite, a los diferentes agentes en la cadena de fabricación, analizar y optimizar los diferentes procesos en etapa temprana con el objetivo de minimizar riesgos técnicos y económicos en las inversiones de infraestructura.

## 1. Introduction

Wind is one of the main sources of renewable energy worldwide. In Europe, the installed capacity of wind power exceeds 220 GW, demonstrating its key role in the region's energy mix. Statistical data show a promising upward trajectory, indicative of its increasing importance.

While onshore wind farms currently dominate the total installed capacity within the wind energy sector, offshore solutions are rapidly gaining traction. Offshore wind energy has become a significant player. Europe, in particular, has an installed capacity of 32 GW of offshore wind energy.

Figure 1. 2024-2030 statistics for onshore and offshore wind installations in Europe. Source: Wind Europe's Outlook

Offshore wind energy offers substantially higher production capacity factors of up to 70%, exceeding those of onshore installations. Also, the offshore environment presents fewer dimensional constraints, allowing the installation of larger wind turbines. This scalability benefits from economies of scale, improving the efficiency



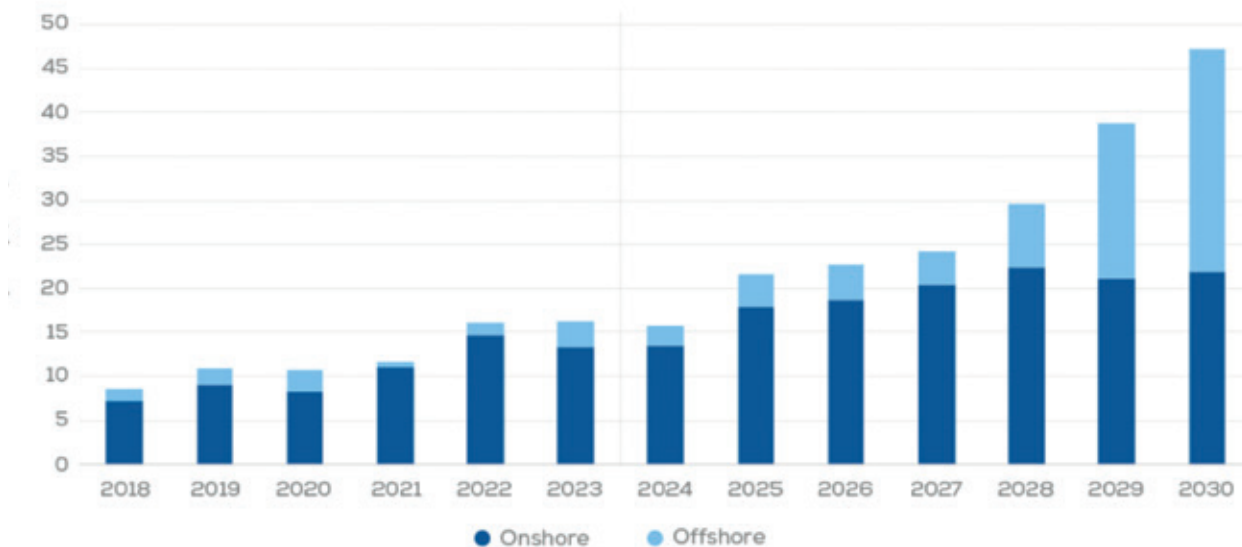


Figure 1. 2024-2030 statistics for onshore and offshore wind installations in Europe.  
Source: Wind Europe's Outlook

and viability of offshore wind energy projects.

There are two distinct alternatives in offshore wind energy: fixed and floating wind turbines. While fixed installations currently dominate the industry, floating wind energy represents a promising alternative for areas not suitable for fixed installations. The expected developments suggest that floating wind technology will gradually become more prominent in

the installed gigawatt (GW) picture, with forecasts indicating significant growth from 2030 onwards (see Figure 2).

Figure 2. Solar and wind capacity additions. Source: DnV Energy Transition Outlook 2023. All charts show an exponential growth forecast for wind energy in the following years. The European Union's climate and energy targets for 2030 and the coming years have established a framework for developing and boosting this type of solutions.

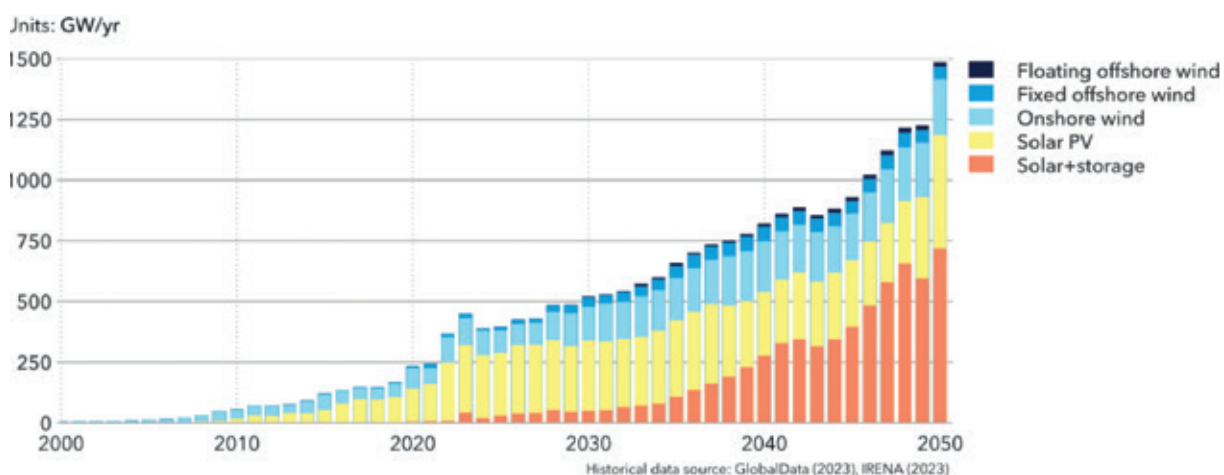


Figure 2. Solar and wind capacity additions. Source: DnV Energy Transition Outlook 2023

The challenge affects all parties involved in the supply chain. With about 5 GW per year of installations (of floating offshore wind), Europe will have to produce about 400 units each year.

This would lead to an eventual blockage of manufacturing facilities, including shipyards, which must also serve the offshore fixed wind energy industry (monopiles, jackets and substations) and the shipbuilding industry.

The supply chain stakeholders must be prepared for the great demand that is coming and it is just the right moment to test-stress all parties. Identifying bottlenecks and taking steps to mitigate them is key to industry success.

Additionally, the current Technology Readiness Level of floating wind technologies, brings with it a level of uncertainty about the constraints that will be faced in the manufacture of these substructures that requires the development of tools to validate the projects and maximize safety, efficiency and sustainability.

To meet this challenge, ports will play a key role as industrial hubs, becoming not only key connection points in the logistics and value chain, but also factories where

floating platforms and wind turbines will be built and/or assembled. This is due to the limited capacity of the shipyards in terms of production rates, which is far below what the market demands.

Understanding the challenge, Seaplace has developed Parnasus, a digital twin service of the logistic-productive process (supply chain, manufacturing and assembly) of the manufacturing of floating wind platforms. The aim of Parnasus is to offer the industry a valuable tool for analysing and optimizing the implementation of new manufacturing lines within existing facilities.

With Parnasus, we apply the potential of the digital twins to model complex processes and analyse a multitude of scenarios, thus providing a useful tool to the supply chain to optimize the whole logistics-productive process involved, facilitating decision making and accelerating investment.

The Digital Twin has been consolidating as an idea and has given rise to virtual models that reflect in great detail both a static and a dynamic physical system. In essence, it consists of a virtual and analytical replication of a physical object, system or process capable of simulating its operation and behaviour.

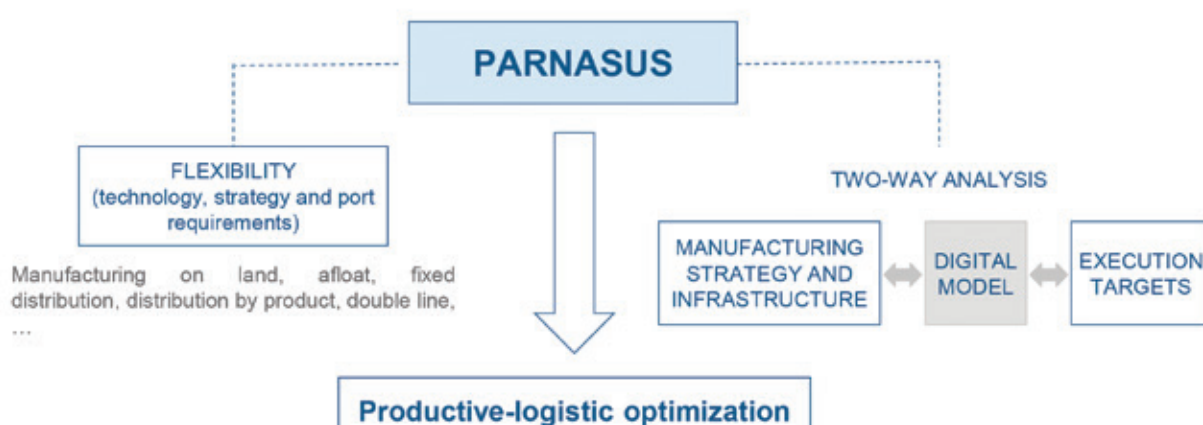


Figure 3. Parnasus characteristics

This allows physical entities or systems to be guided in responses to possible changes occurring in the environment in order to optimize and improve operations.

When the real object or system is in operation, the digital twin feeds back to it at different levels to parallel, monitor and provide predictions of events, as well as connecting to the real model to communicate orders to it.

We have modelled a manufacturing plant of a floating offshore wind technology in a port facility. We have included details as equipment kinematics, procurement of components, resources, wind constraints, etc. It is proved that this model helps to optimise and value different alternatives of construction strategy or implementation of the manufacturing line. This can really make an impact on the investment on transformations of the facility. The following sections describe the procedure that we have followed to develop the digital model and highlights the main findings on the base case analysed.

## 2. CHALLENGE

Floating Offshore Wind is a challenge for the industry in several aspects: technical, logistical, supply chain, etc. We aim to face the challenge concerning the preparation of facilities for the construction of the units for offshore wind energy, developing a tool for the stakeholders to analyse, prepare, and optimise the infrastructure for this market, understanding that mass production will be needed.

The demand for foundations and floaters is expected to be huge, thus the preparation of the entire supply chain is a key aspect for the success of the projects. We must be prepared and have the infrastructure in

place to compete and take advantage of the local content.

The potential manufacturing facilities to hold this construction are ports and shipyards. The integration of this new industry on the existed facilities involves transformation and adaptations. The cost impact of these adaptations may be relevant, but also the revenues that participation in this new market may bring in the future. The layout on the port, optimisation of spaces, resources, integration with other activities... impact on the overall schedule of the windfarm installation. Given the substantial upcoming construction of units, the ability to install within a specific timeframe significantly impacts business outcomes. In this context, to visualize various scenarios in a digital model and understand their implications on the overall business can be very valuable before committing to substantial investments.

## 3. METHODOLOGY

### 3.1. Discrete event software

Discrete Event Simulation (DES) software serves as an essential tool for modelling and analysing systems where significant changes occur at specific moments due to particular events. This type of software is adept at capturing the intricacies of complex processes within various sectors, including manufacturing, logistics, and healthcare, where the timing and sequence of events are crucial.

DES software enables the creation of virtual models to simulate the interactions between entities—such as machines, customers, or transactions—and the resources they utilize. Through this simulation, it becomes possible to examine and enhance system performance, streamline processes, and make strategic decisions. The software's



capabilities extend to process optimization by identifying and rectifying bottlenecks and inefficiencies, thereby improving throughput and reducing operational costs. It also aids in capacity planning by analysing the effects of varying inputs or resource allocations on system performance. Furthermore, DES is instrumental in risk management, allowing for the assessment of uncertainties and potential failure points, and in providing decision support by offering a preview of the outcomes of decisions before they are executed in reality.

### 3.2. Parnasus Service

Parnasus has been developed as a complete service that relies on discrete event software for the simulation of the manufacturing phases of offshore wind projects. The final target of the product is to assist the decision making of the stakeholders behind these projects, accelerating the investment and execution of the projects. In essence, it provides a tool that allows to optimize the productive-logistic process, quantifying the project safety and efficiency and maximizing the return of the investments.

Parnasus offers a tailored service, adapting the product to each project and client needs and providing specific post-processing and optimization. The amount of data that can be extracted from the simulation is vast, therefore, to maximize the potential of the product, we are focused on providing to the client a simple and interactive interpretation of the results of the simulations, which allows a quick filtering of the data and offers a global vision of the different cases studied.

### 3.3. Workflow

The process of creation of the tool follows a work methodology studied and focused

on providing the best results. It starts by identifying the three main areas, involved in the design and construction of offshore wind projects, which make an impact on the construction strategy of wind platforms. These are:

1. Project constraints and parameters
2. Infrastructure of the construction site
3. Manufacturing process of the technology

Behind these three factors are the different stakeholders involved in the project and who are potentially interested in Parnasus. These include ports, wind farm developers, offshore wind technology developers, construction companies, marine contractors, and other agents that belong to the multiple interfaces of the project.

Once the project requirements are defined, prior to the creation of the digital model, an independent analysis of the manufacturing strategy of the technology involved and the fabrication site should be done, to conclude with an integration assessment of both that will define the necessary port adaptation (if there is) and define the inputs for the digital model. This work cover the previous studies identified in the workflow scheme of Figure 4, which are further detailed in Chapter 4.

Once the manufacturing plant has been created in the virtual environment, with its respective flow diagram and all the links that inter-connect and restrict the activities, the first round of simulation can be performed. The results of this first simulation phase will be compared with the objectives and expected parameters of the integration study, thus validating the accuracy of the simulation.

The validated model will serve as a basis to begin the logistical-productive optimization process, which constitutes the core of

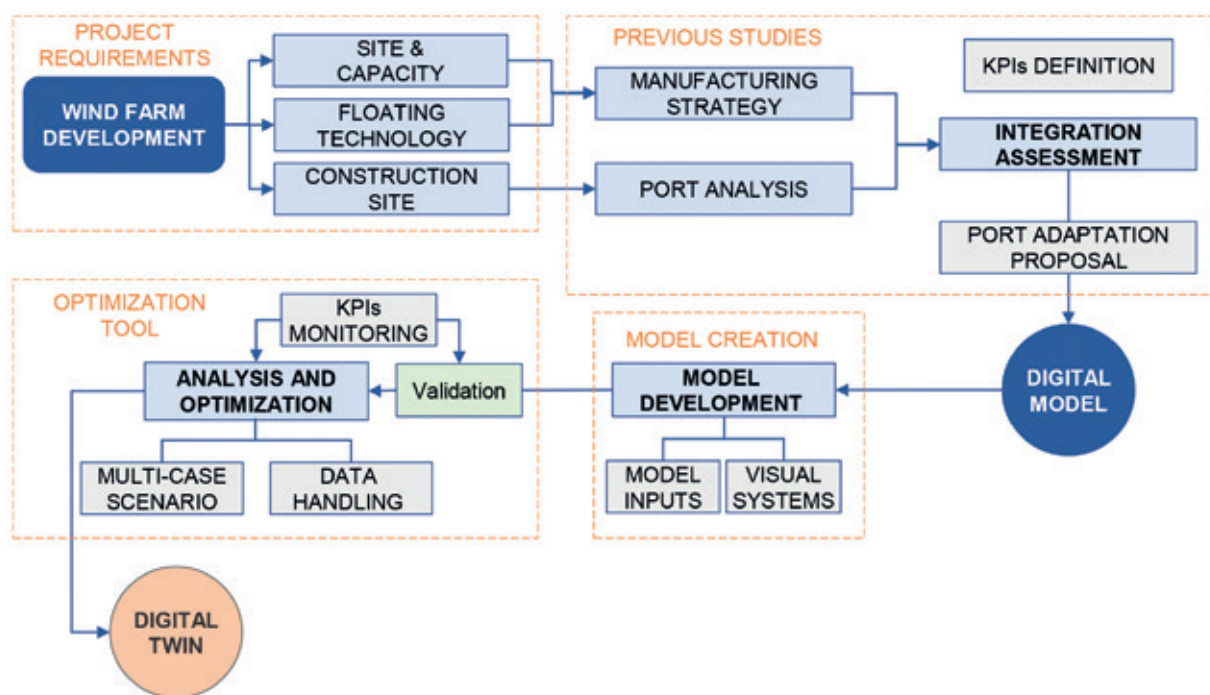


Figure 4. Workflow of Parnasus

Parnasus. We can follow different paths of optimization and monitor specific parameters particular for each project. The possibilities offered by the model are huge, thus it is necessary to work previously on the key parameters (definition of KPIs) of the project in order to focus and achieve useful results.

In parallel with the creation and optimization process of the digital model, Parnasus offers an effective visualization of the manufacturing plant. This facilitates the identification of possible errors and bottlenecks, as well as providing a complete overview of the plant and its processes for various purposes, such as personnel training or commercial purposes.

The digital twin materializes when the project begins in real time. The digital model created and used for the design of the manufacturing plant will be the base for the digital twin. With the respective sensors at the existed facility in progress, Parnasus becomes a monitoring tool for the production plant, useful for real-

time KPI analysis and planning. Furthermore, by backfeeding the model with real-time data of the factory, it will be able of generating predictions and anticipating events on the line.

#### 4. PREVIOUS STUDIES

As Figure 4 presents, the previous study process integrates the inputs of the offshore wind project: selected site construction and technology and project constraints (number of units, timeframe for the project and location of the windfarm). In a first place, it is necessary to define in detail the manufacturing strategy to build the technology, identifying the fabrication steps to fulfil the construction of a unit. On the other hand to study the construction facilities, in terms of draft, bathymetry, traffic, available spaces, etc.

Once this first work is carried out, we analyse the integration of the manufacturing line into the existed facilities, taking into account the constraints of both parties.

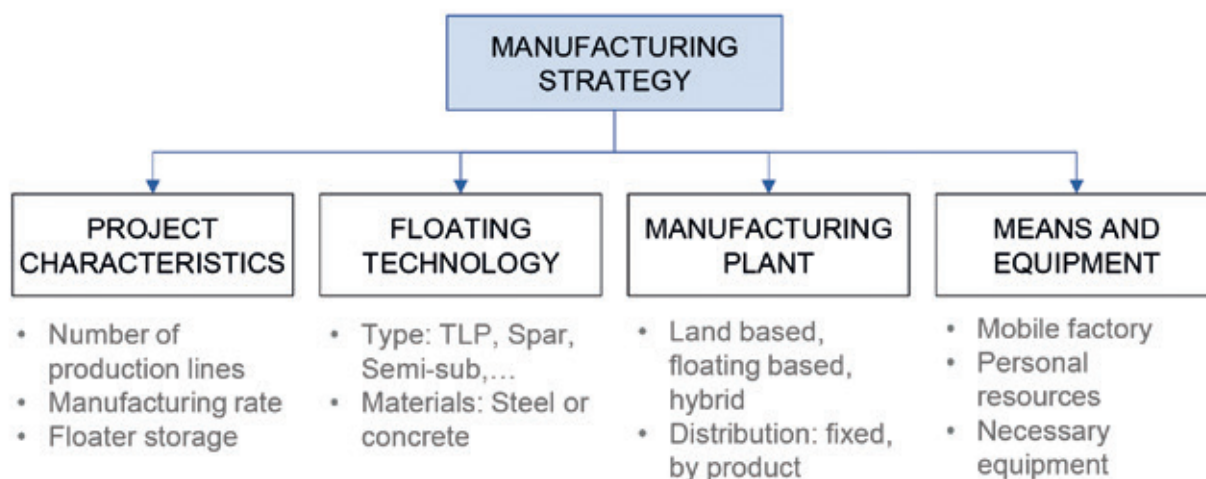


Figure 5. Factors that condition the manufacturing strategy

#### 4.1. Manufacturing strategies

There are a large number of floating technologies competing to offer the best solution within floating offshore wind market. This number will naturally reduce to consolidate a few as the market leaders. For the time being, the supply chain will have to be prepared as generic as possible, since each technology has a manufacturing strategy with its own specific requirements. Figure 5 shows the factors involved in the development of the manufacturing strategy of a wind floating technology.

The variables involved in each project are specific. The capacity of the windfarm to be built is determinant for the general approach of the project, it will condition the construction strategy taken and thus the manufacturing plant and resources, as well as the port requirements.

#### 4.2. Analysis of the construction facilities

This analysis consists in identifying the characteristics and limitations of the facilities that impact on the manufacturing of floating units. Figure 6 shows the parameters that will have to be defined for the selected site

in order to evaluate the integration of the new manufacturing line and to establish the necessary transformations.

#### 4.3. Key Performance Indicators

As part of the previous studies, the definition of the key performance indicators (KPIs) of the project, is crucial for the well monitoring and optimisation of the model.

Through KPIs we can monitor and assess the performance of a process, function, project, or strategy to determine if it meets desired outcomes. They provide an objective and data-driven basis for decision-making. We describe below the main KPIs that may be involved in the assessment of the manufacturing plant process of wind offshore units. However, these must be adapted and customized for each specific project.

##### 4.3.1. Project constraints

As main KPIs, the following parameters, which define the project, should be analysed in each simulated scenario:

- Number of units: we will monitor the number of units fabricated within the duration of the project.



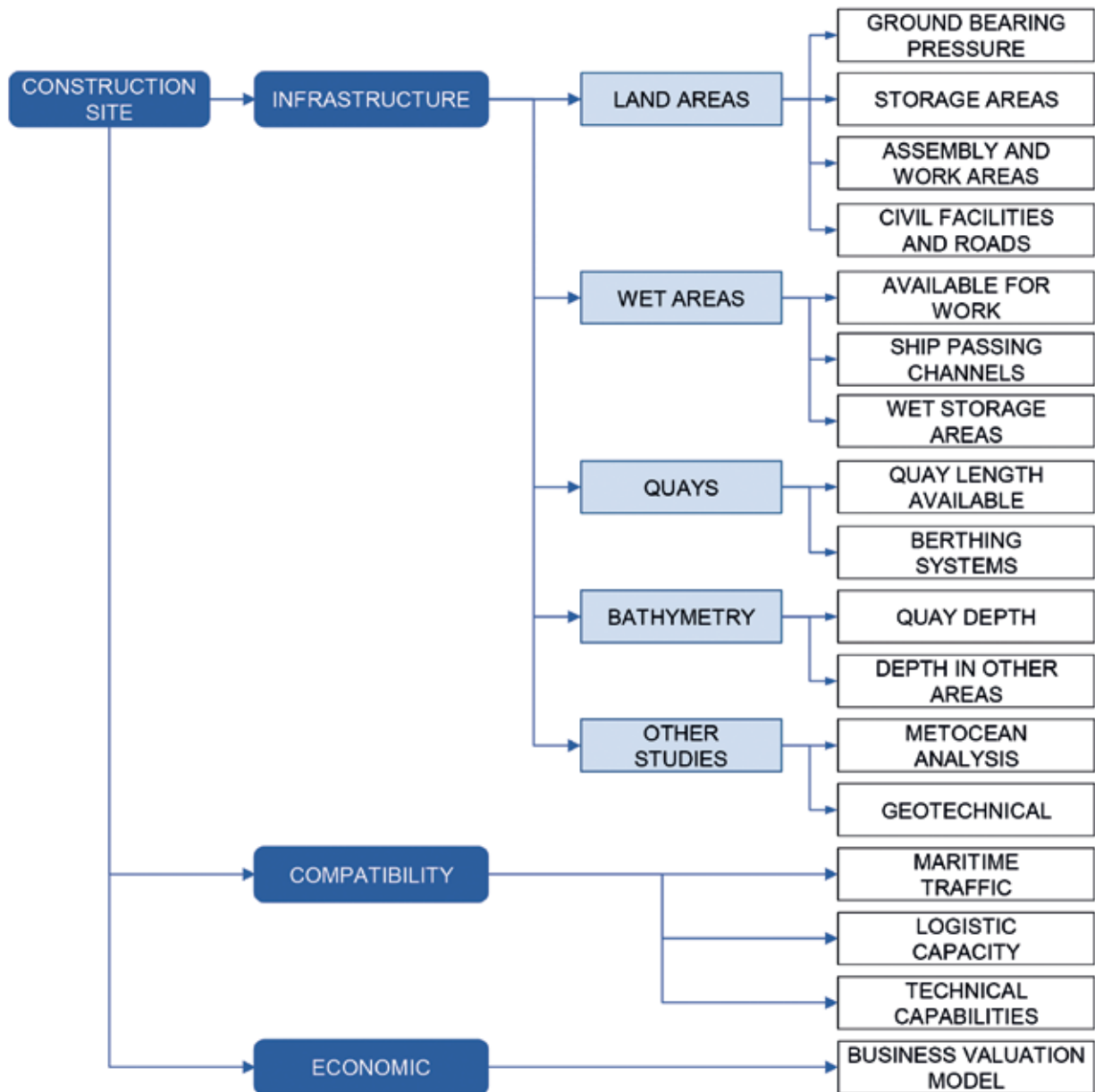


Figure 6. Definition of the characteristics of the construction site

- **Construction timeline:** It covers the time for completing the construction process of the units, from start to finish. By setting a target timeline and tracking progress towards it, stakeholders can identify potential delays or bottlenecks and take corrective action to keep the project on track.

#### 4.3.2. Manufacturing line performance

The manufacturing of the units is a critical path in the overall project schedule. If

this part of the supply chain delays, the whole project delays. Some interesting measurements that could be tracked are:

- **Stations performance:** The duration of the different manufacturing stations for each unit will help to determine bottlenecks and critical paths. This KPI shows the number of times that a station delays and causes a downtime.
- **Buffer occupation:** In order to prevent the interruption of the whole manufacturing line, some buffers may be considered.

With the expected failures and delays in the manufacturing line, it is of interest to monitor the occupation and availability of the buffers. Including buffers require more space, which increase costs and not always is possible. This KPI helps to optimise the number of buffers to install.

- **Wet storage:** It is likely that some units will need to be stored until the installation window of the units is reached (metocean constraints). This KPI can help us to identify and optimize the space needed for this.
- **Task failure or delay rate:** Identify the most failure-prone tasks and see the frequency of failures or delays they are subject to. If these tasks are part of the critical path, their failure produce a delay on the line. This KPI can help to define preventive measures to avoid the failure of the line.

#### 4.3.3. Availability and reception of supplies and components

The procurement strategy can impact on the overall success of the construction of the windfarm. The optimisation of this plan can be done by analysing of the following parameters:

- **Use of vessels:** The digital model can include the frequency of reception of each component, their port of origin (duration of the journey) and expected delays in these receptions. We can optimise the efficiency of the procurement fleet used through ship usage indicators along the duration of the project. We can identify the number of these ships that are able to supply on time the construction port and the improvement and cost impact that generates having more or less ships.
- **Time of the unloading operations:** we can perform a sensitivity analysis of how optimizing the unloading operation may impact on the overall schedule of the entire wind farm.
- **Availability of the unloading dock/s:** To monitor the occupation of the unloading

quay can help to identify bottlenecks and see the impact on using more than one for this purpose.

- **Storage area capacity and flows:** KPIs that indicates the flow of components within the manufacturing plant allow to evaluate and optimise the layout.

#### 4.3.4. Optimization of equipment

Main equipment in manufacturing plants such as cranes, SPMTs, MAFI trailers, etc. are expensive and their use must be properly organized and optimised. Thus, the use of the different equipment should be monitored and the most suitable organisation for the use of the equipment must be studied. Mainly, the use of the most expensive ones as the ring crane of the WTG assembly.

#### 4.3.5. Optimization of personnel

We can analyse the KPIs of use of personnel in the manufacturing plant to identify the number of jobs generated (local content) and optimise their use along the overall manufacturing process. For this, some parameters might be interesting to track as:

- Number of workers
- Occupational rate

#### 4.4. Integration Assessment

Based on the previous studies of the manufacturing strategy of the technology and the construction site assessment, we carry out the integration of both, developing the layout of the manufacturing plant at the existed facilities.

The manufacturing layout takes into account the requirements of the manufacturing process and the limitations of the facilities, obtaining as a result of the analysis different implementation alternatives together with the

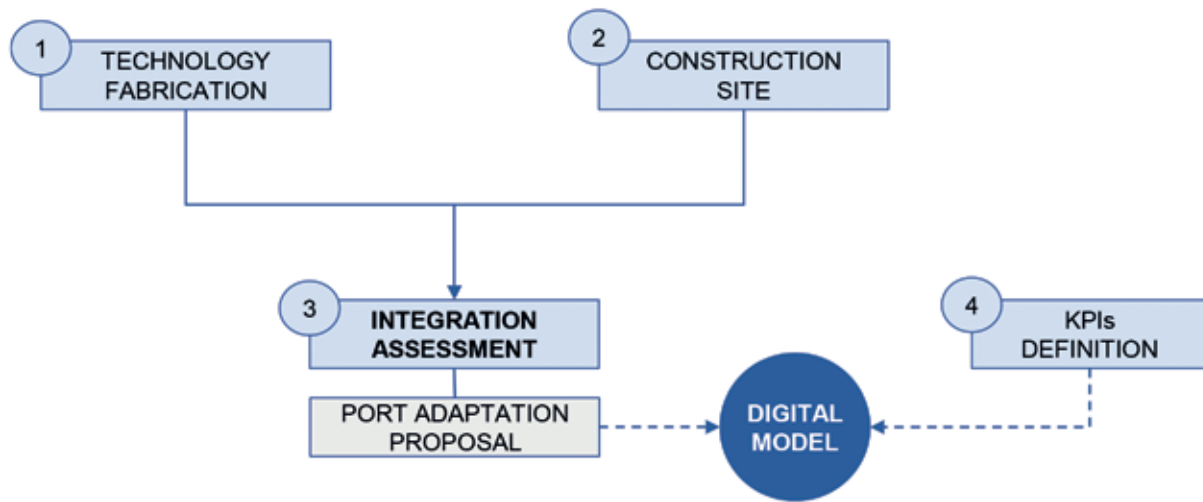


Figure 7. Previous studies workflow. Integration Assessment

transformations that each one requires. These adaptations could include: bottom dredging, dock enlargement or expansion, installation of mooring elements, dock protections, and adaptation of the accesses to the port, by land or waterborne, etc.

The aim is to have an adaptation proposal that maintains a balance between taking advantage of existing infrastructure to reduce the cost of adaptation, and developing a sustainable and useful adaptation for future projects.

The design of an efficient plant layout involves allocating space for production areas, storage, logistics, and utilities. Principles of ergonomics and lean manufacturing are incorporated to optimize workflow, safety, and scalability. Contingency plans are developed to mitigate supply chain disruptions effectively.

## 5. CREATION OF THE DIGITAL MODEL

### 5.1. Model Development

#### 5.1.1. Inputs

The number of input parameters, commands and actions required to generate the model

is extensive. Some relevant items that shall be mentioned are the followings:

- **Process Flow:** this comprises a series of activities that follow one another or occur simultaneously. We will define different levels of process flows (Sub Flows) that together will conform each of the workstations.
- **Tasks:** The activities that are carried out within one Process Flow are entered as Delays. These delays have an associated duration that corresponds to the time that the task needs to be executed.
- **Task Executors:** this includes the labour resources associated with the development of each task. These could be labourers, cranes, vehicles, tools, or other equipment used.
- **Procurement and Storage:** a correct management of the procurement and storage is key for the performance of the manufacturing line. Procurement plan, delays, stock capacity and others can be defined in the model.
- **Travel Networks:** these define the path that the different elements of the simulation follow. This networks, together with the definition of movement speeds (rotation and translation), will provide valuable data of duration of the activities and a proper visualization of animations.





Figure 8. Visualization of the digital model

- Restrictions: to increase the level of accuracy of the simulations, limitations such as external agents, metocean limitations and failure rates are included in the model.

The digital model shall also include the supply chain, for which it is necessary to know the means of transport (by sea or by land), the cadence with which the material is needed, the transport time and an estimate of possible delays, among other possible inputs.

Finally, it is worth mentioning other possible inputs, depending on the level of depth you want to give to the model, such as the layout of the production plant, so that the software can make transport calculations based on different algorithms such as A\* or Dijkstra, or even the possible interaction with existing companies in the port, which can affect the blockage of internal transport or the level of occupation of the unloading docks.

### 5.1.2. Integration with visualization systems

Simultaneously to the analytical side of the digital model, we can animate all the modelled processes. This modelling work includes the creation of the 3D models (environment, fixed items and dynamic items) and the definition of its motions.

The Process Flows can be linked to stations that are observed in 3D within the interface, allowing to visualize the movements and processes, making it easier to develop and demonstrate the model to potential clients besides of the visualisation of bottlenecks and delays.

On the other hand, the tool enables the integration of this 3D environment into virtual reality through the use of VR glasses. This feature not only makes it a valuable commercial tool but also a training tool for future workers in the production plant.

## 5.2. Analysis and optimization of the logistic-productive chain

### 5.2.1. Multi-case analysis

The digital model outcomes are validated based on the expected times according to the construction strategy follow. After validation, a sensitivity analysis is conducted on variables of interest to optimize processes and resources, detect new critical paths, and observe their effect on the previously defined KPIs.

The possibilities of the optimization rounds are numerous. Some examples are:

- Optimisation of number and efficiency of resources
- Optimization of the storage areas
- Evaluation of manufacturing layout alternatives
- Optimization of the port adaptations

- Analysing the impact of different operational windows and campaign
- Adjusting the supply plan
- Comparing different scenarios: worst, base, best

The analysis of many events enables the creation of action plans to mitigate unexpected situations.

### 5.2.2. Data handling and post-processing

After completion of the necessary simulation runs, a substantial volume of data emerges, necessitating careful management to ensure accurate representation of Key Performance Indicators (KPIs). Consequently, an integrated post-processing module designed to generate customized data sets and graphical representations tailored to user specifications it is used. For more extensive analysis, one can opt to extract the raw data in a database format for thorough manipulation. Following data processing, using a data visualization tool enables the creation of insightful dashboards with significant value.

### 5.3. Digital Twin

The digital model is a crucial component of the pre-implementation phase. Once the production plant is available, the Digital Twin concept can be developed to support the optimal exploitation of the plant.

A digital twin is based on three main elements: a physical object or system, a virtual model, and a connection between the two. The physical object or system is usually a piece of equipment or a process in a production plant. The virtual model is a computerized representation of the physical object or system, which can simulate its behaviour and performance. The physical object or system is connected to the virtual model through sensors and

other data acquisition methods. This allows the virtual model to be updated in real-time with data from the physical object or system.

Using a digital twin in a production plant provides the main benefit of real-time monitoring of the physical system's performance. Sensors can be used to collect data on various aspects of the system, including temperature, pressure, and flow rate. This data is then sent to the virtual model, which visualizes the system's performance and alerts operators to any issues or anomalies.

Real-time location systems (RTLS) can be used with digital twins to monitor and optimize production plant processes. RTLS uses sensors and data acquisition methods to track the location and movement of objects and equipment within a facility in real-time. RTLS can also track people's movement within the facility, improving safety, security, and efficiency by ensuring employees are in the correct locations and following proper procedures. Besides, it can also monitor the movement of raw materials and components, improving inventory management and reducing waste.

Digital twins can also be used for forecasting by utilizing historical data and machine learning algorithms to predict the future behaviour of the physical system. This can be used to optimize the performance of the system, prevent downtime, and plan maintenance activities.

## 6. BASE CASE STUDIO

### 6.1. Characteristics of the project

As a prototype of Parnasus, Seaplace generates the digital model of the following study case: construction of 1 GW windfarm

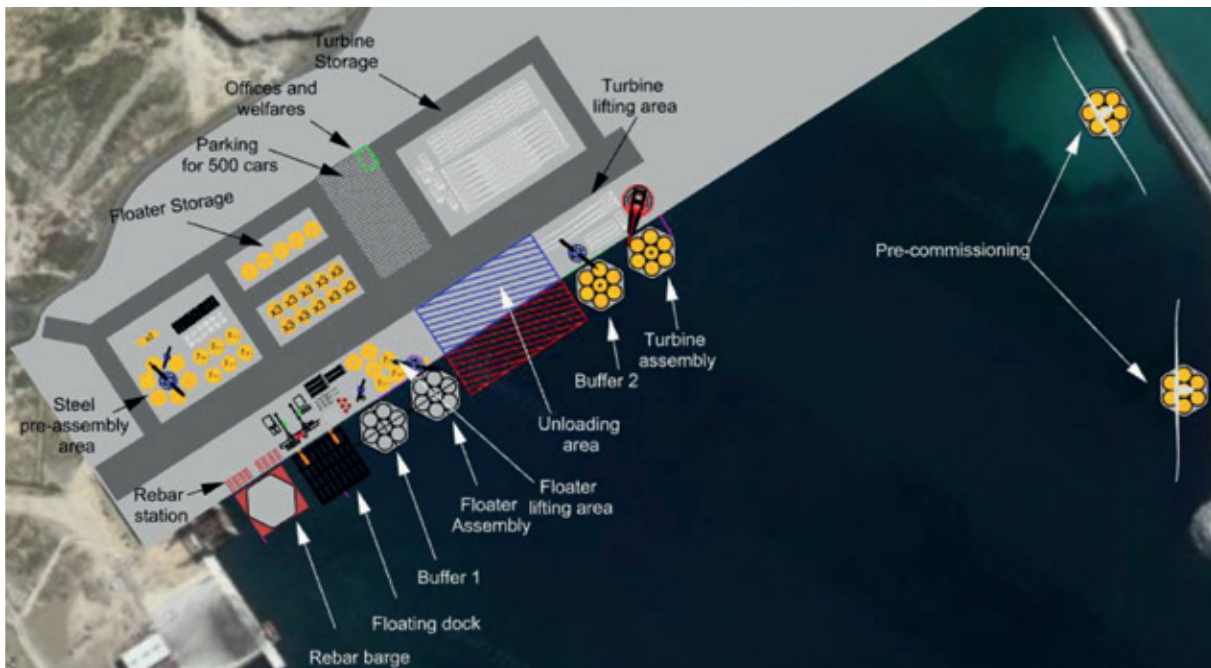


Figure 9. Proposed manufacturing plant from the Project Integration Assessment

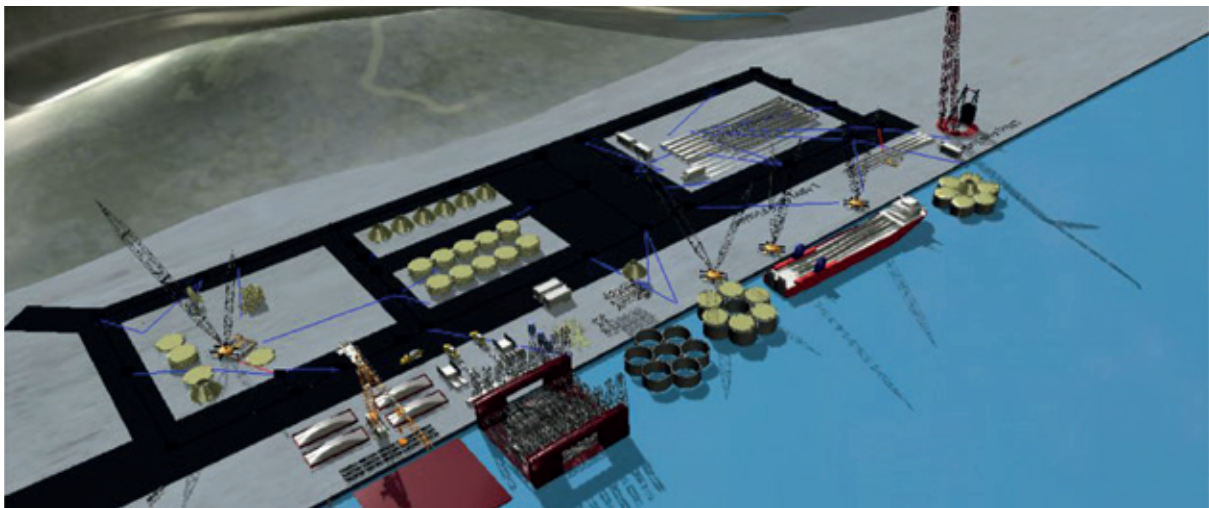


Figure 10. CROWN FW® manufacturing plant visual digital model

in port of Punta de Langosteira (A Coruña) using CROWN FW® technology, from Brezo Energy, of 20 MW each unit (50 units in total).

Port of Punta de Langosteira is positioning itself as a production centre for this industry. On its hand, the technology used in the analysis, consists of a concrete caisson finished with a set of steel lids and a transition piece.

CROWN FW® offers multiple fabrication alternatives that can be suited to the

construction site and project requirements. For the base case scenario, the construction strategy will consist on one (single) fabrication line of floaters along the quayside using floating dock.

The operational window for the installation of the units at the wind farm site is set from June to September. The goal is to carry out a single installation campaign, first using wet storage for the already constructed floaters, and to optimize the use of the ring crane utilized for the assembly of the wind turbines.

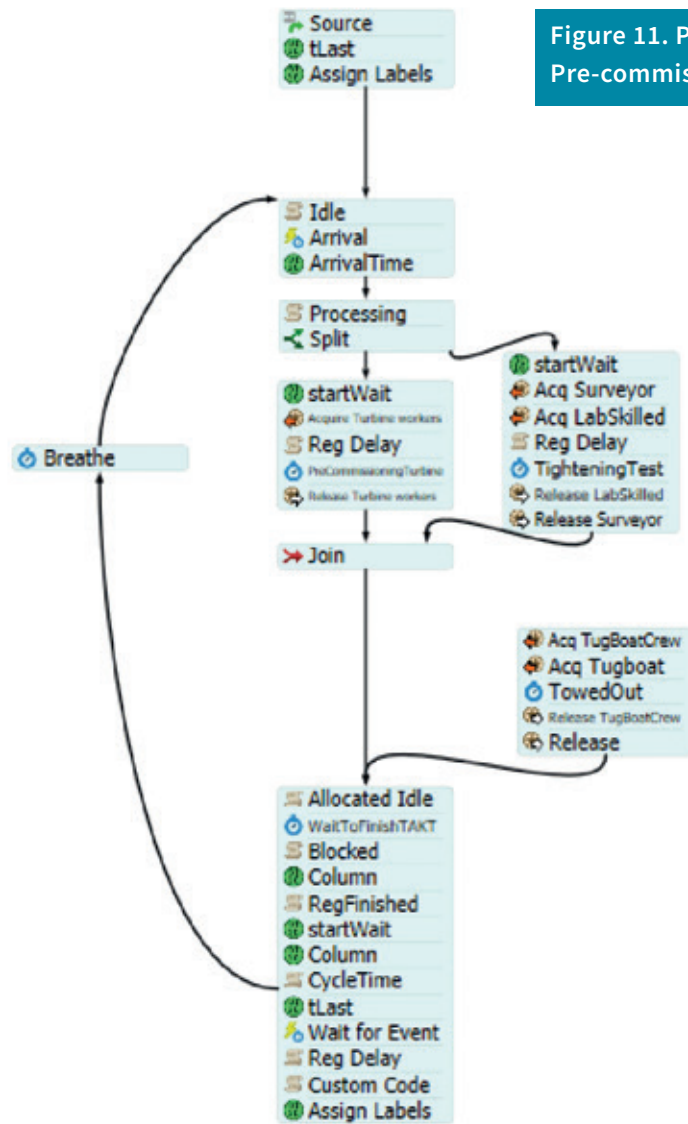


Figure 11. Process Flow of the Pre-commissioning workstation

### 6.2.1. Workstations and Support Areas

The integration assessment study concludes with the proposal of a manufacturing plant in the construction site selected, which is shown in Figure 9.

Each workstation is identified and simulated in an individual Process Flow in the software where all the activities that are carried out are defined, in addition to the necessary Sub Flows.

### 6.2.2. Tasks and commands definition

Within the Process Flow of each of the workstations, we define the tasks that compose it. The delay that each task has associated, start and release tokens, acquisition of resources, flow lines and other customized commands are defined in the code. To give an insight of how it looks, Figure 11 shows the Process Flow that simulates the Pre-commissioning Workstation.

## 6.2. Digital Model creation

We define an individual process flow for each workstation and then create the links between them.

Profile	Profile	Profile	Profile
Rebar workers	Tower crane operator	Outfitting workers	Mariner
Concrete Boom operators	Secondary crane operator	Auxiliary crane operator	Electric technician
Vibration team	Main crane operator	Grouting Boom operators	Mechanic technician
Laborer skilled	Turbine OEM chief	Floater chief	Slider
Pipelayer	Turbine workers	Painter	Chief

Table 1. Workforce profiles for the base case study



Equipment speed motion			
Ring Crane	Crawler Crane	Tug Boat	SPMT
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotating speed: 24 °/min</li> <li>• Winch speed: 10 m/min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotating speed: 47 °/min</li> <li>• Winch speed: 136 m/min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Loaded speed: 0.5 – 1.0 kn</li> <li>• Travel speed: up to 3.0 kn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Loaded speed: 0.1 – 1.0 m/s</li> <li>• Travel speed: up to 5.0 m/s</li> </ul>

Table 2. Speed motion of main equipment

### 6.2.3. Workforce and equipment

The manufacture of offshore wind projects requires the mobilization of a large and complex workforce. A multitude of profiles with different skills are involved. For the present simulation, different profiles have been included for the execution of the multiple tasks, these are: In addition to the workforce, the plant is equipped with the necessary machinery and systems for the execution of the different activities. These include cranes, transport vehicles, tugboats, etc. Each equipment is defined in detail, including specific parameter as load capacities, operation speeds, environmental limits and other limitations. Table 2 includes the speed motion of the main equipment at the manufacturing plant for the base study case.

### 6.2.4. Requirements and restrictions

In order to increase the veracity of the digital model, we can include limitations and failure rates. In the base case of study we have implement the following:

- Environmental limits. Wind, wave and current levels within the construction zone can lead to a shutdown of the manufacturing line. Each equipment/operation has its own metocean limitations. Some of them are established according to the equipment brochure, and others need a previous seakeeping analysis to establish the limitations in terms of waves and currents.

We have included in the digital model a historical data file of the environmental conditions in the port for the last 50 years. Using this database, the manufacturing line will be stopped according to the following constraints:

- Ring Crane: the crane that installs the WTG is one of the potential bottlenecks of the manufacturing plant as for its operation limitations. We have included a wind speed limit of 9 m/s at hub height.
- Crawler Crane: this will depend on the specific operation and the weight and size of the component to be lifted. We establish a maximum wind speed of 6 m/s at 55 m of height.
- Floater assembly: as the floater will be afloat, the wave conditions have to be minimum to carry out the operation safely, according to the seakeeping of the floater. We have included a maximum significant wave to proceed with operations on the floater of 0.5 m.
- Tug: the transfer of the floaters along the quay line will be restricted by a maximum wave height of 1 m.
- Floating dock: the caisson extrusion at the floating dock is the critical path of the manufacturing plant. We have established an operational wave height limit of 1 m.
- Astronomical tide. We have included the astronomical tide schedule, so that the launching operation of the caissons from the floating dock can benefit from the high tides, and, delay the operation according to the draft limitations.
- Procurement delays. Delays in shipments and supplies are common. Thus, to account

Station 2 - Caisson Extrusion

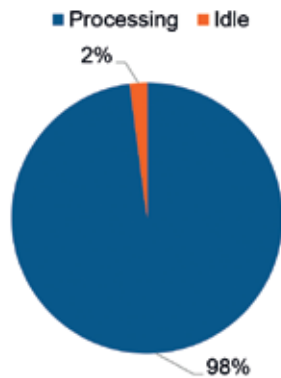


Figure 12. Occupation chart for Station 2 - Caisson Extrusion

Station 4 - WTG Integration

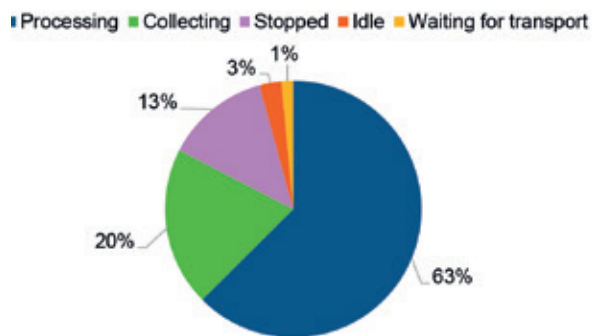


Figure 12. Occupation chart for Station 2 - Caisson Extrusion

for these we have included a triangular distribution centred at 0 and with a maximum delay of 4 days.

- Task failure rate. Some tasks are more prone to failure than others, either due to operator or equipment failure. A reasonable failure rate will be applied to the most prone tasks.
- Storage capacity: the areas available for storage of components are limited. We have defined 6 sets of components for both, floaters and WTGs. The procurement plan should be in line with the capacity of these areas, ordering as components consume. This capacity can then be optimized to reduce delays and optimize the space occupied in port.
- Wet storage. We include in the digital model wet storage limitations according to the

capacity of the facility. This will impact in the overall project schedule.

- Ring crane use. We integrate in the digital model the months of use of the ring crane. It has a great impact on costs so the limitations of its use is implemented as a variable to optimise.

### 6.3. Analysis and validation

This Section describes and presents the main results obtained of the simulations run for the base study case presented, highlighting bottlenecks and variables to focus on in the next optimization phase.

The results of the simulation in terms of production of the floaters, show that the line works at a constant rate without notable interruptions. We conclude that the supply and production rate of the line are adequately matched so that one floater can be delivered approximately every 10 days.

Station 2, which corresponds to the extrusion of the caissons at the floating dock, is the bottleneck of the system, showing the highest occupancy rate (see Figure 12) and a cycle time below 10 days, with random variations due to causes such as tidal delays or equipment failure rates.

Based on the results obtained, we have been able to identify that the turbine installation station has significant delays that are leading to postpone the completion of the wind farm installation to next year (see Figure 13). Therefore, the turbine assembly (station 4) becomes the bottleneck of the line.

We started then to analyse the simulation results in order to identify what was causing this unexpected delays. Figure 13 shows the occupational chart of this station. It shows that the Collecting status, which means waiting for the arrival of components,



Figure 14. Unloading Dock Gantt. Over demand of the dock highlighted in orange

represents an important percentage, about the 20% of the station's occupancy. We saw that the shutdown of Station 4 were major produced by the delays on the procurement of WTG components.

Figure 13 also shows that 13% of the total production time of the Station, it is not possible to work due to the wind limitations of the ring crane used for the assembly of the components (shown as “stopped” in the graph).

According to the project constraints, the fabrication line starts manufacturing floaters and storing them in the wet storage areas. Then, optimizing the use of the ring crane, the fabrication line starts assembling the WTGs, in order to achieve a single installation campaign of the units.

Figure 14 shows how the traffic on the unloading dock increase when we start receiving the turbine components at the manufacturing plant, previous to start assembling the WTGs, achieving some cases of blockage. This suggests that in some cases the unloading of turbine components becomes the bottleneck.

This blockage could not be solved just by bringing forward the supply of these components, since the component storage areas were fully occupied. Thus, we established a new procurement plan to avoid line stoppage.

#### 6.4. Optimization of results

We have carried out the following analysis to resolve the bottlenecks identified in the first phase of analysis (previous Section):

- Increase the storage capacity of turbine components and advance purchases to have a larger initial stock that does not slow down assembly. This solution would increase port space occupation and inventory costs.
- Increase unloading capacity at the quayside either by reducing unloading times or doubling unloading capacity with a second berthing area.
- Increase the number of vessels used for turbine procurement.
- In addition, and as a result of the results of the above analyses, we will evaluate the impact of reducing the storage area of the floating components.

Unloading times (days)	Project End Date					
	Base scenario		+1 Vessel		+2 Vessels	
	1 berth	2 berths	1 berth	2 berths	1 berth	2 berths
Base scenario	05/10/2027	03/09/2027	05/10/2027	30/08/2027	27/09/2027	03/09/2027
-1	24/09/2027	23/08/2027	13/09/2027	23/08/2027	21/09/2027	29/08/2027
-2	29/08/2027	23/08/2027	29/08/2027	23/08/2027	29/08/2027	23/08/2027
-3	23/08/2027	18/08/2027	23/08/2027	18/08/2027	23/08/2027	18/08/2027

Table 3. Results of analysis in varying unloading durations, berthing areas and number of vessels

Unloading times (days)	Project End Date		
	Base scenario	+3 Units	+6 Units
Base scenario	05/10/2027	27/08/2027	01/09/2027
-1	24/09/2027	18/08/2027	23/08/2027
-2	29/08/2027	18/08/2027	18/08/2027
-3	23/08/2027	13/08/2027	13/08/2027

Table 4. Results of varying storage capacity and unloading durations

Unloading duration (days)	End date (Days of delay)				
	Base scenario	-1 Unit	-2 Units	-3 Units	-4 Units
-1	18/08/2027	18/08/2027	18/08/2027	23/08/2027	18/08/2027
-2	18/08/2027	18/08/2027	18/08/2027	18/08/2027	18/08/2027
-3	13/08/2027	18/08/2027	13/08/2027	18/08/2027	13/08/2027

Table 5. Results of analysis varying primary steel storage capacity

The following subsections present the results of each of the proposed changes, carrying out a sensitivity analysis of these changes and obtaining the optimum.

#### 6.4.1. Variation in unloading durations, berthing areas and number of vessels

We considered the following scenarios:

- Reducing the unloading time up to 3 days,
- Increasing the number of vessels up to 2,
- Having 1 or 2 berths for the unloading of components.

Table 3 shows the results of the construction completion date of the last unit of the windfarm (unit 50) for the different scenarios. Data are shown with colour gradient, using white for the later date and dark green for the earlier ones.

Unloading time and number of berths are the parameters that most affect the results of the final date. Adding more vessels hardly generates changes, so it would not be a relevant parameter for optimization. It would be interesting to optimize unloading manoeuvres to try to speed them up. Adding

a second unloading dock would also be positive, but would have a high cost impact. With these results, it is worthwhile to carry out the feasibility assessment of reducing the unloading time by 3 or 2 days, in order to have the project completed before the beginning of September.

#### 6.4.2. Variation of storage capacity and unloading times

We assess the increase in storage capacity of turbine components. The parameters varied in this optimisation are:

- Reducing the unloading time up to 3 days
- Increase the storage capacity of turbine components in 3 units and 6 units more.

Table 4 shows data with colour gradient, using white for the later date and dark green for the earlier ones. The results show a noticeable improvement when the capacity of the storage is increased by 3 turbine units, especially if the unloading duration is the base scenario.

We can conclude that by acting on the unloading times and slightly increasing the



component storage capacity, a significant reduction in completion dates could be achieved.

#### 6.4.3. Reduction of primary steel storage capacity

As a result of the previous analysis, we evaluate the impact of reducing the storage area reserved for steel component. The parameters varied in these scenarios are:

- Reducing the unloading time up to 3 days
- Reducing the storage capacity of steel components up to 4 complete units.

Table 5 shows data with colour gradient, using white for the later date and dark green for the earlier ones. This shows that reduction of the steel components storage hardly affects the completion times. There are small variations between scenarios due to random distributions.

We can conclude that steel components storage area could be reduced compared to the initial one without affecting delivery times, as long as unloading can be guaranteed to be reduced at least 1 day.

## 7. CONCLUSIONS

The floating offshore wind market is starting and has high growth expectations for the next few years. The entire supply chain must be prepared for the upcoming demand for units. Seaplace identified the need to prepare the facilities for the construction of these floaters and as a result developed Parnasus.

The base case developed, included in this paper, shows the optimization potential that Parnasus can offer to supply chain stakeholders. Through the simulation of the digital model we were able to improve the preliminary approach to the manufacturing plan in terms of:

- Project timeline optimisation: utilizing digital model simulations, we have identified and mitigated bottlenecks, resulting in a substantial reduction in the project's overall timeline, from 05/10/2027 to 13/08/2027.
- Storage area optimisation: the digital model facilitated the identification of an optimized layout for storage areas at the port, enhancing efficiency in material handling and storage.
- Procurement plan enhancement: through the digital model, we have located a bottleneck in the unloading area and, by analysing various scenarios, we have found the best solution to mitigate the delays that were being caused.

Parnasus offers a comprehensive suite of services encompassing port analysis, manufacturing strategy assessment, integration evaluation, digital modelling and optimization processes. Its adaptable nature ensures customization to meet the unique requirements of each client.

Looking ahead, the integration of a digital twin represents the next frontier, allowing real-time monitoring of factory operations and predictive modelling based on the digital model generated by Parnasus.



SRP



SRE



STP



SCP



SRP-R



SPJ



STT



SRT

# WE KNOW WHAT MOVES VESSELS

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

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

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

# Experimental analysis of frigate exhaust impact on helicopter operations over the flight deck



Juan Carlos  
Matías García



Estela  
Barroso Barderas

Rafael Bardera Mora  
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)

Paper presented at the 63rd International Congress of Naval Architecture, Marine Technology and Marine Industry. Madrid, 24 - 26 April 2024.

## ÍNDICE

### Abstract / Resumen

#### 1. Introduction

#### 2. Theoretical background

#### 3. Experimental set-up

##### 3.1. Wind tunnel

##### 3.2. Smoke visualization technique

##### 3.3. Particle Image Velocimetry (PIV) technique

##### 3.4. Experimental tests using PIV technique

#### 4. Conclusions

#### 5. References

## Abstract

The integration of helicopters into frigates provides a substantial enhancement in the operational and military capability of these vessels. However, it is important to note that placing the helicopter deck at the stern poses particular challenges. The accumulation of smoke from the propulsion system of frigates in this area could create potential interference during helicopter landing or takeoff operations. This highlights the need to implement effective measures to mitigate such interferences and ensure a safe and efficient environment for airborne operations aboard frigates.

To effectively address smoke accumulation at the stern of frigates during helicopter operations, experimental tests simulating emissions from the propulsion system of frigates need to be conducted. This research presents two experimental techniques to assess the main and exhaust flows in a wind tunnel based on physical similarity laws, aiming to represent real flows as faithfully as possible.

Flow visualization tests have been conducted by injecting smoke into the funnels of frigates,

and velocity contours have been obtained using the Particle Image Velocimetry (PIV) technique to evaluate the effects of exhaust on frigate flight decks. The experimental tests were carried out at the facilities of the National Institute of Aerospace Technology (INTA) using a scaled model of a simplified frigate. Experimental data collected in the wind tunnel allow to assess the effects of exhausts on the frigate flight decks, where the most critical helicopter manoeuvres take place.

## Resumen

La integración de helicópteros en fragatas proporciona una mejora sustancial en la capacidad operativa y militar de estas embarcaciones. Sin embargo, es importante señalar que la ubicación de la cubierta de vuelo en la popa plantea desafíos particulares. La acumulación de humos provenientes de la planta de propulsión del buque en esta región podría generar interferencias potenciales durante las operaciones de aterrizaje o despegue de helicópteros. Este aspecto resalta la necesidad de implementar medidas efectivas para mitigar tales interferencias y garantizar un entorno seguro y eficiente para las operaciones aéreas a bordo de las fragatas.

Para abordar eficazmente la acumulación de humos en la popa de las fragatas durante las operaciones de helicópteros, se deben realizar ensayos experimentales que simu-

len las emisiones de la planta de propulsión del buque. En esta investigación se presentan dos técnicas experimentales para evaluar el flujo principal y el de exhaustaciones en un túnel de viento en función de las leyes de semejanza física, con el objetivo de representar los flujos reales de la manera más fiel posible.

Se han llevado a cabo ensayos de visualización del flujo mediante inyección de humo en las chimeneas del buque y contorno de velocidad obtenidos mediante la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas (PIV) con el objetivo de evaluar los efectos de las exhaustaciones sobre las cubiertas de vuelo de las fragatas. Los ensayos se han realizado en las instalaciones del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) con un modelo de fragata simplificado a escala reducida. Los datos experimentales obtenidos en el túnel de viento permiten evaluar los efectos de las exhaustaciones sobre la cubierta de vuelo de las fragatas donde tienen lugar las maniobras más críticas de los helicópteros.

## 1. Introduction

Military ships possess the necessary infrastructure to facilitate helicopter operations on board, primarily centered around landing and take-off on the flight deck, as well as refueling either on the flight deck or within the hangar [1].



Figure 1. Helicopter-ship maneuvers.



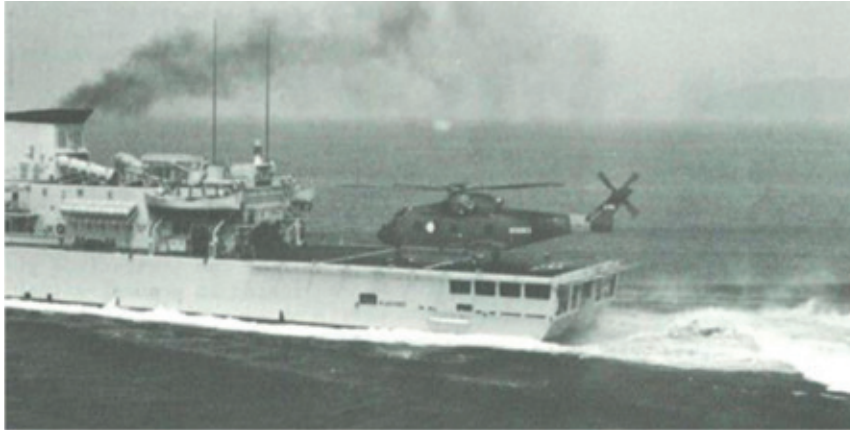


Figure 2. Exhaust flow over the flight deck of a frigate.

The smoke nuisance problem on naval ships arises when exhaust gases interfere with regular operations. It is crucial to swiftly eliminate combustion gases from the ship's engines, used for propulsion, due to the sensitivity of various areas to contamination [2]. These sensitive zones include the flight deck, communication antennae, radars, weapons systems, command deck, and more. The downwash of exhaust leads to the dispersion of gases toward the flight deck instead of dissipating far away from the ship. If the exhaust flow is not effectively removed from these areas, the operational efficiency of the ship-helicopter combination is negatively affected, reducing the visibility of the helicopter pilots and endangering the helicopter maneuvers over the ship [3].

The highly unfavorable exhaust pipe configuration causes the exhaust smoke to exit into a complex and turbulent flow due to the geometry of the ship superstructure. The characteristic topside distribution of a frigate is composed of bluff bodies, which cause flow separations and the creation of a low-pressure zone behind the pipe, sucking wind into that area [4]. This causes the downwash phenomenon that prevents gas plume from rising.

The downwash phenomenon of the gas exhaust comes from the inherently unfavorable exhaust pipe configuration, and

the ship superstructure, characterized by bluff bodies. The pipe geometry causes the exhaust smoke into a turbulent and complex flow, while the superstructure induces flow separations and the formation of low-pressure regions behind the funnels, sucking wind into that region [5].

The smoke dispersion problem is a relevant aspect of the ship design, as multiple variables are involved, such as wind velocity and direction, turbulence level, superstructure geometry and exhaust funnels [6]. Therefore, it is essential to collect experimental data from the regions most affected by smoke under specific conditions in order to obtain the most critical areas to ensure the safety of helicopter maneuvers on the flight deck.

This paper highlights the capabilities of INTA to conduct experimental wind tunnel tests to analyze the smoke dispersion problem on naval ships. Firstly, flow visualization tests have been conducted by injecting smoke into the funnels of frigates to directly find the critical regions (most affected by the smoke), and secondly, velocity contours obtained from PIV measurements have been analyzed to evaluate the effects of the exhaust flow on frigate flight deck. These experimental tests have been carried out at the n°1 low speed wind tunnel of INTA using scaled models of simplified frigates.

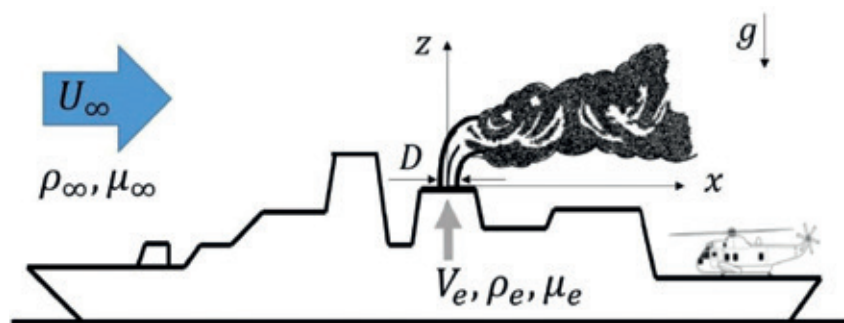


Figure 3. Schematic of the dispersion of the exhaust flow of a frigate

## 2. Theoretical background

The physical phenomenon of dispersion of the gases expelled from funnels of frigates is composed of two flows, the main one produced by the wind and the secondary flow associated with the exhaust gases, commonly referred to as the thermal plume. To establish dynamic similarity between the scaled model used in wind tunnel testing and the real case, specific scaling laws must be applied to the exhaust flow.

Under the operation conditions when the ship advances against the wind within its longitudinal plane of symmetry, viscous forces are neglected and the initial angle of the exhaust gas velocity in the vertical direction (z-direction), the variables involved in the flow dynamics problem are presented in Figure 2.

It can be schematically observed that the ship being impacted by the wind with velocity  $\rho_\infty$ , while the exhaust flow from the funnel has an initial velocity  $v_e$ , with a funnel diameter  $D$ . Other variables are the density of the air  $\rho_\infty$  and the exhaust flow  $\rho_e$ , and the viscosity of the air  $\mu_\infty$  and the exhaust flow  $\mu_e$ . In this condition, the flight deck is affected by the combustion gases coming from the funnels.

Considering the assumption that the geometry of the ship and its funnels are fixed, the parameters involved in the smoke nuisance problem are as follows.

The first one is the ratio of amounts of movement between the main wind flow and the initial exhaust flow, defined as initial plume momentum,  $J$ :

$$J = \frac{\rho_\infty v_{rel}^2}{\rho_e v_e^2} \quad (1)$$

The next dimensionless parameter is the ratio of mass fluxes between the main wind flow and the exhaust flow, defined as plume mass flow rate,  $RFM$ :

$$R_{FM} = \frac{\rho_e v_e D^2}{\rho_\infty v_{rel} A} \quad (2)$$

Where  $A$  is the reference surface of the ship.

The last parameter takes into account the buoyancy of the thermal plume, produced by the exhaust flow, defined as plume buoyancy,  $RFP$ :

$$R_{FP} = \frac{\Delta \rho g D}{\rho_\infty v_{rel}^2} \quad (3)$$

where  $\Delta \rho$  represents the difference density between the exhaust gases and the ambient air:

$$\Delta \rho = \rho_e - \rho_\infty \quad (3)$$

To achieve the dynamic similarity between scaled models and real ships, it is essential for the values of the mentioned parameters to align. However, practical constraints often make a comprehensive match unfeasible,

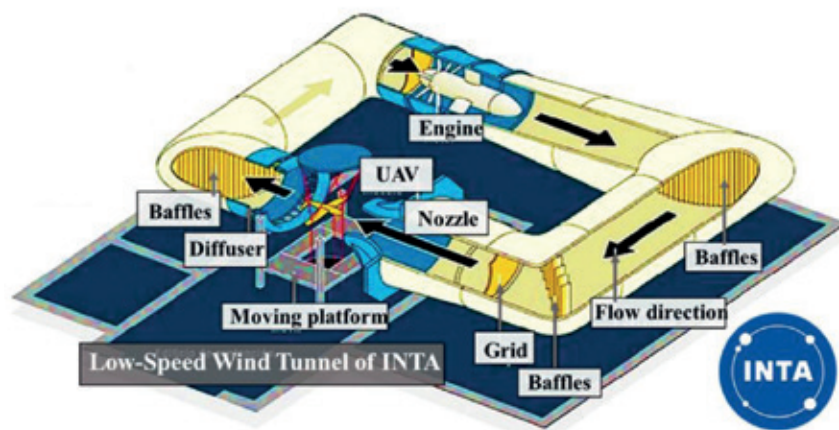


Figure 4. Low-speed wind tunnel n°1 of INTA.

leading to the preservation of only the most crucial parameter.

Notably, the buoyancy parameter is determined to be small in full-scale conditions. Given that buoyancy forces are considerably smaller than momentum forces, the influence of plume buoyancy can be safely neglected [7 - 9]. Among the remaining parameters, plume momentum typically emerges as the most significant parameter. Consequently, the focus is placed on matching solely this specific parameter.

### 3. Experimental set-up

The experimental tests to study the dispersion of the ship's combustion gases require to take into account the assumptions outlined in the previous section. It has been confirmed that the most relevant quantity in this aerodynamic problem is the ratio of amounts of movement between the main wind flow and the initial exhaust flow ( $J$ ). In terms of the Reynolds number, given the geometric characteristics of the vehicle involving edges, it is sufficient to exceed the critical Reynolds number,

$$Re = \frac{\rho_{\infty} U_{\infty} D}{\mu_{\infty}} \sim 10^5$$

which is characteristic of blunt bodies.

### 3.1. Wind tunnel

The n°1 wind tunnel of the Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) is a low-speed wind tunnel with a closed circuit and an elliptical open test section of  $3 \times 2 \text{ m}^2$ . The power system, a DC 450 kW electric motor at 420 V, allows reaching an air flow velocity up to 60 m/s and it is located at the opposite side to the test section. The turbulence intensity is lower than 0.5 %. Furthermore, the test platform is designed with streamlined leading and trailing edges to reduce the flow fluctuations.

### 3.2. Smoke visualization technique

Smoke visualization serves as a qualitative technique in wind tunnel testing, offering insights into the overall flow patterns. These results provide an understanding of flow behavior, enabling to find the critical areas over the flight deck in a faster, simpler and cheaper way than other techniques such as PIV (explained in the next section) by directly observing the flow patterns to get an idea of how the flow is flowing. This experimental technique has been widely used in commercial tests of naval ships at INTA facilities.

In our methodology, flow visualization was achieved by injecting smoke provided by a Rosco model 1900 commercial fog machine. This machine produces smoke by heating an

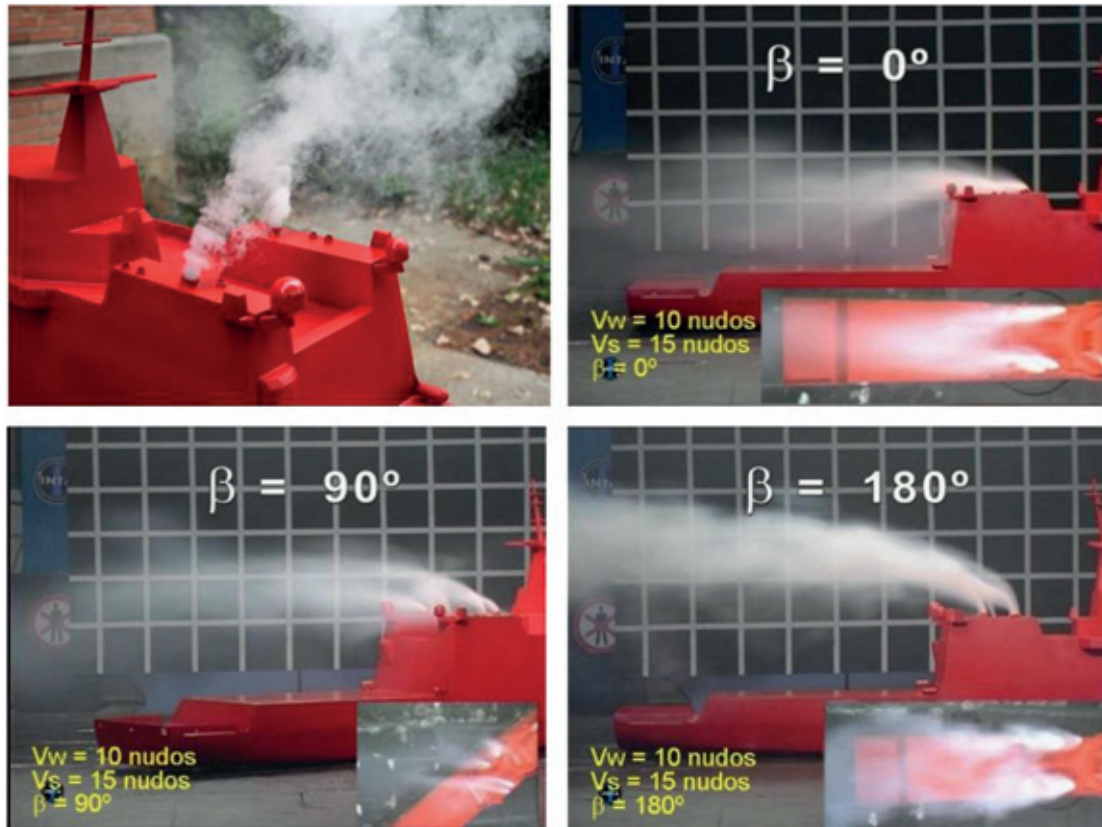


Figure 5. Smoke exhaust visualization through the funnels (a) and exhaust visualization with different  $\beta$  (b,c,d).

aqueous glycol solution, resulting in particles approximately 5 microns in size. The smoke was injected through small pipes directed towards exhaust stacks, accurately scaled to the model. The study presented in this test focuses on a frigate model built by aluminum with a scale of 1:50, highlighted with red paint to accentuate the smoke pattern around it. Figure 4 shows a photograph of the first smoke injection tests and its exit through the funnels of the model.

Figure 4 shows the photographs of the most representative cases of the flow visualization tests in the n°1 low speed wind tunnel of INTA. This study involved the activation of four exhaust nozzles—two for diesel propulsion and two for generators. In them, the dispersion of smoke from the exhausts can be observed over the flight deck. To facilitate

the flow interpretation, two perspectives are provided: one in elevation and the other in plan, delineating the areas influenced by smoke.

With  $\beta = 0^\circ$  almost all flight deck is immersed into the smoke. It is clearly observed the downwash effect of the exhaust flow over the flight deck. However for the other two positions ( $\beta = 90^\circ$  and  $\beta = 18^\circ$ ) the flow tends upward and consequently the flight deck is less affected by the smoke.

### 3.3. Particle Image Velocimetry (PIV) technique

Another experimental technique that allows to evaluate the effects of the exhaust flow on naval frigate is the use of Particle Image Velocimetry (PIV) measurements. This is a



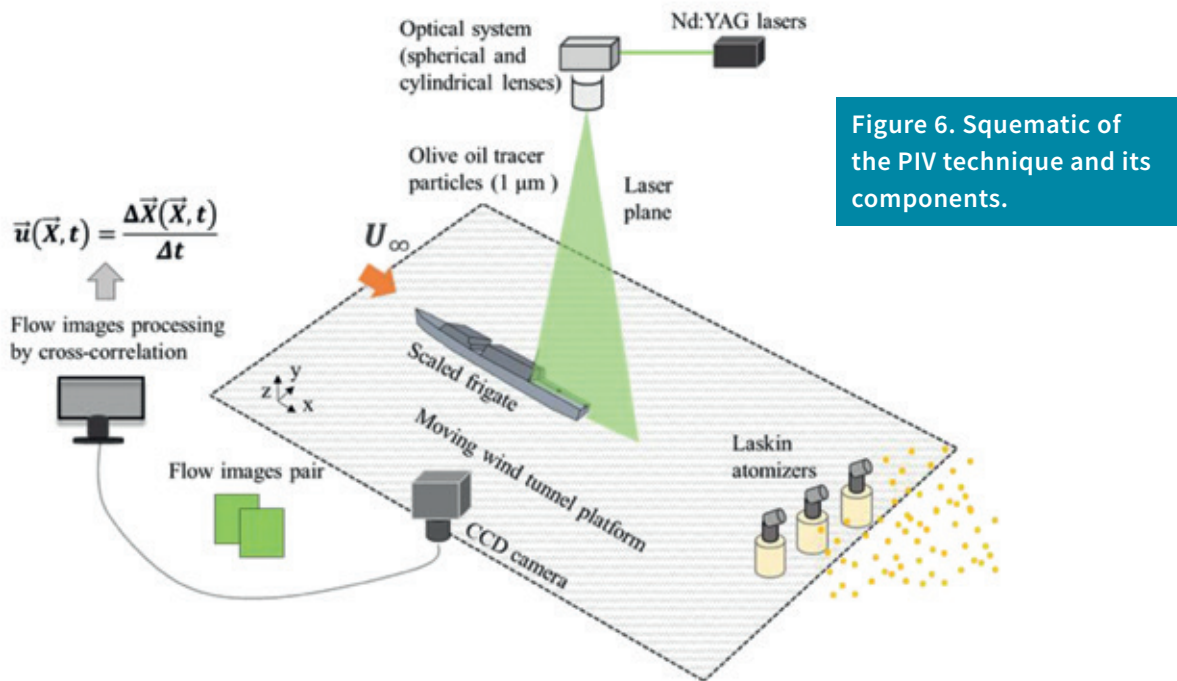


Figure 6. Schematic of the PIV technique and its components.

non-intrusive experimental technique for wind tunnel testing [10]. This technique allows the precise measurement of flow velocity fields by tracking tracer particles seeded within the airflow and illuminated by a laser plane. In this study, olive oil tracer particles, with a diameter of 1 μm, were generated using Laskin atomizers connected to compressors.

Two pulsed neodymium-doped yttrium aluminum garnet (Nd:YAG) lasers, each emitting 190 mJ, were used to generate a laser plane using an optical system (spherical and cylindrical lenses). The time interval between the two laser pulses was  $\Delta t = 25 \mu s$ . A high-resolution CCD camera (placed at the perpendicular direction to the flow stream velocity of the wind tunnel), featuring 2048 x 2048 pixels (Nikon Nikkor 50 mm 1:1.4D), captured synchronized flow images corresponding to the two laser pulses. Subsequent data processing was conducted using INSIGHT-3G commercial software. This involved analyzing pairs of flow images to calculate the average displacement of tracer particles through

cross-correlation functions, implemented via Fast Fourier Transform (FFT). The flow images were divided into interrogation windows measuring 32 x 32 pixels, with a 50 % overlap satisfying the Nyquist Sampling Criteria. Within each window, velocity vectors ( $\vec{u}$ ) were derived from the time interval ( $\Delta t$ ) and average displacement ( $\Delta \vec{x}$ ).

To construct the velocity field, a total of 100 pairs of flow images were acquired at a data acquisition frequency of 10 Hz and post-processed by fitting Gaussian peaks. Additionally, a local mean filtering technique was employed to eliminate spurious data and interpolate missing velocity vectors.

### 3.4. Experimental tests using PIV technique

Numerous experimental research tests have been conducted at INTA to evaluate the effects of exhausts flows on naval frigates. In these types of tests is more appropriate the use of scaled models of simplified frigates, that is, simple designs proposed by the NATO in view of future investigations

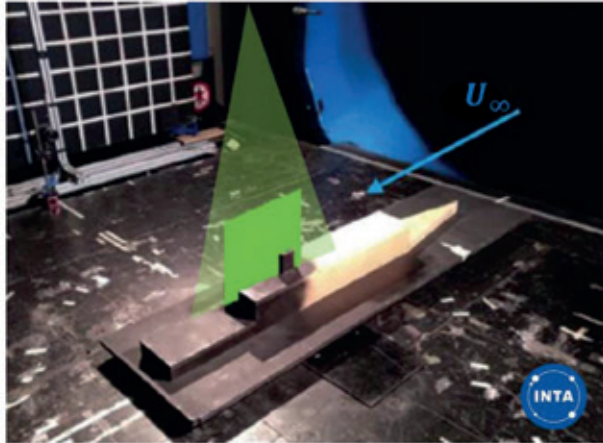
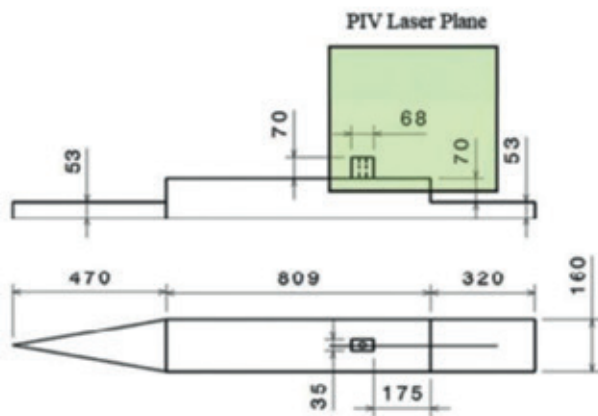


Figure 7. Dimensions of the Simplified Frigate Shape (SFS2) and experimental set-up into the wind tunnel n°1 of INTA.

[11]. These frigates are models that do not accurately represent the details of a real frigate geometry, instead, they are simpler geometries to design that allow simulating real frigates in a simpler way but ensuring reliability in the results.

In this case, the frigate model used was the Simplified Frigate Shape 2 (SFS2) with a geometric scale of 1:85 to prevent blockage effects. The scaled model was made of wood and painted in black to avoid possible laser reflections during the tests (figure 7). The

exhaust outlet of the model is centered on the wooden module that forms the pipe and its diameter is 19 mm. The model exclusively represents the superstructure of the frigate above the waterline

The experimental tests were carried out with a wind tunnel velocity of 13.6 m/s and the characteristic length of the scaled model was 1.6 m therefore the Reynolds number was higher than the critical Reynolds number for bluff bodies, the similarity condition is ensured.

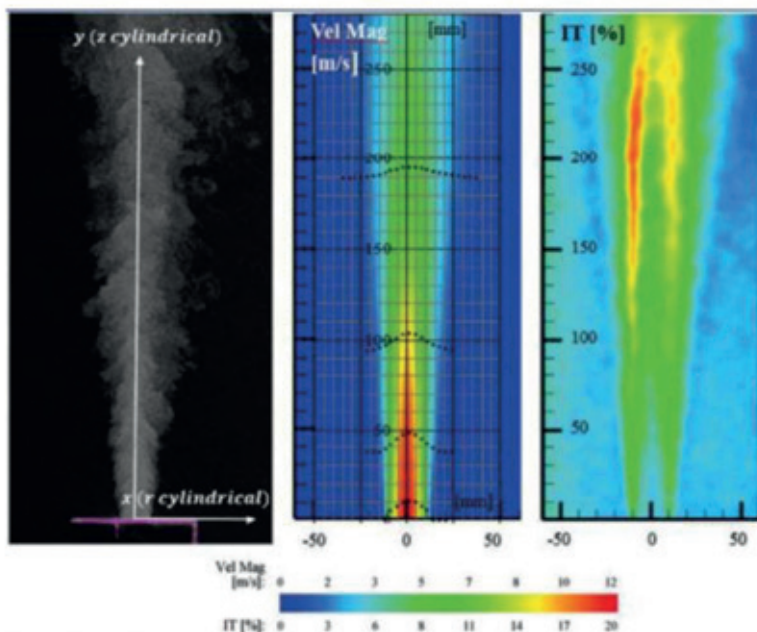


Figure 8. PIV instantaneous image (left), velocity contour map (central) and turbulence intensity of the isolated jet (right).

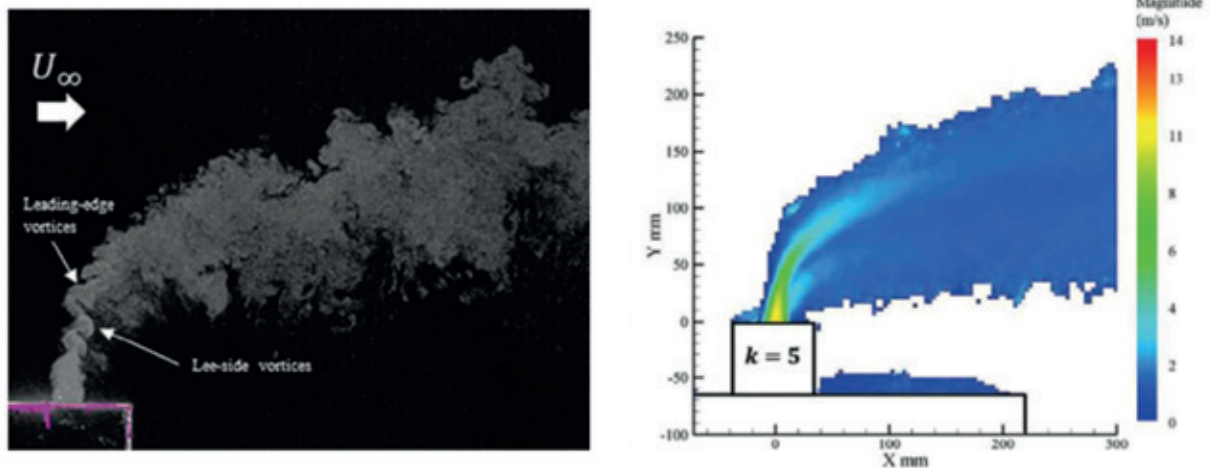


Figure 9. PIV instantaneous image and PIV velocity contour with  $k = 5$ .

The scaled frigate was placed on the platform of the low-speed wind tunnel (n°1 INTA), on a wooden board (that was painted in black to avoid laser reflections), that simulates the sea surface. The frigate was orientated with an incident yaw angle of  $\beta = 0^\circ$  as it can be seen in figure 7. Over the frigate was launched the laser plane and only the green window was the field of view recorded by the CCD camera of the PIV system used.

All the maps presented in this paper represent the velocity field average over 100 instantaneous velocity maps of the exhaust gases. Then the PIV maps obtained show the area affected by the smoke and not the instantaneous shape of the exhaust plume.

In figure 8, the left image shows a PIV instantaneous image of the isolated jet. A flow seeded with olive oil tracer particles was injected in the funnel emulating the exhaust flow from the propulsion plant. This image shows a very unsteady and turbulent flow with several vortex formations. The PIV velocity contour (central) reveals a potential core by orange tones with high velocities around 12 m/s. Then the velocity decreases around it with values around 7- 8 m/s. The turbulence intensity field (IT) (right) represents the ratio between total standard

deviation  $\sigma$  and the freestream velocity in each test (eq. 5).

$$IT [\%] = \frac{\sigma}{U_\infty} \cdot 100 = \frac{\sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_w^2}}{U_\infty} \cdot 100 \quad (5)$$

Where  $\sigma_u$  and  $\sigma_w$  are the horizontal and vertical velocity fluctuation components. The turbulence intensity field in figure 7 shows that the turbulence is higher at distances higher than 100 mm from the funnel than in the area near to it.

Figure 9 shows the PIV instantaneous image (left) and velocity contour (right) for the jet in crossflow, with a velocity ratio  $k = V_{jet}/U_\infty = 5$ . This transition from an isolated jet (figure 7) to a cross flow scenario is depicted, providing insight into the flow dynamics. The exit jet velocity was  $V_{jet} = 10$  m/s and the wind tunnel velocity was  $w_\infty = 2$  m/s. In these PIV maps, there were not tracer particles seeded in the wind tunnel flow, only in the exit jet from the funnels, to obtain a better visualization of the flow dispersion.

In figure 10, the velocity contours for the jet in crossflow are presented with a velocity ratio of  $k=2$  ( $U_\infty = 5$  m/s) and  $k=0.75$  ( $U_\infty = 13.6$  m/s). The exit jet velocity maintains the same value as in the previous case

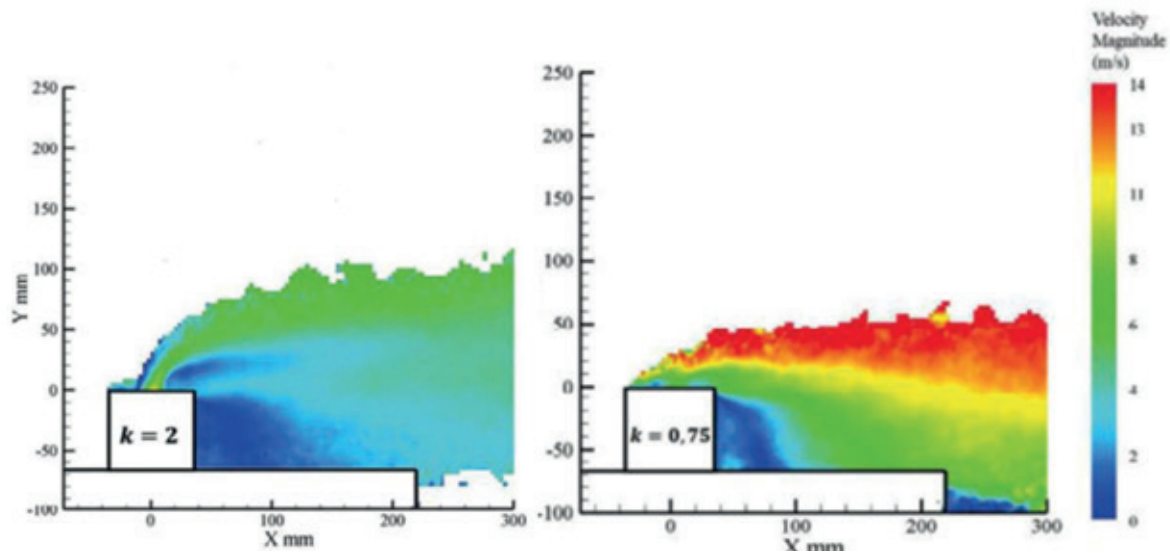


Figure 10. PIV velocity contour with  $k = 2$  (left) and  $k = 0.75$  (right).

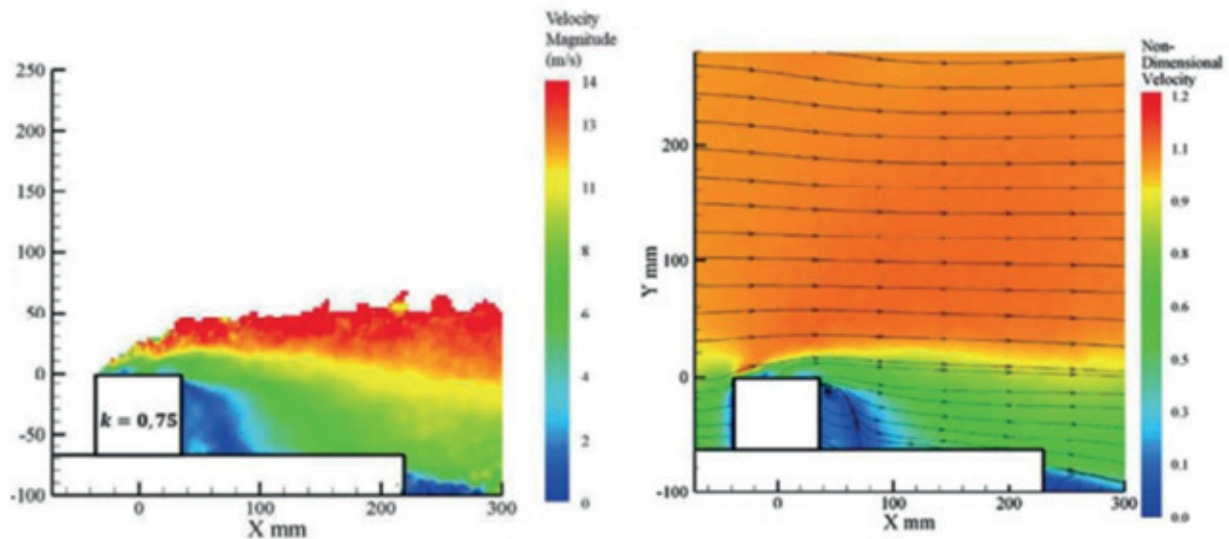


Figure 11. PIV velocity contour without (left) and with seeded external air flow (right) ( $k = 0.75$ )

( $V_{\text{jet}} = 10$  m/s). From these results, it seems clearly that higher wind tunnel velocities ( $k=0.75$ ) will force the exit jet flow towards the flight deck with higher velocities in the plume (red regions).

In the next test, the external air flow was seeded with olive oil tracer particles as was the exit jet flow to obtain an overall flow structure. Figure 11 shows the PIV velocity contours of the previous case ( $k=0.75$ ) without (left) and with external air flow seeded (right).

The exhaust jet is visibly influenced by the bluff body comprising the funnel of the frigate model. Notably, a stagnation area manifests on the windward side, accompanied by a localized acceleration of the fluid at the upper edge, resulting in flow separation at the top of the funnel. The exhaust jet is emerged in the recirculation bubble under this flow separation. Additionally, a substantial recirculation zone forms downstream, marked by pressure drops that cause the plume to descend towards the deck from the lee-edge.



## 4. Conclusions

The integration of helicopters into frigates represents a significant advancement in their operational and military capacity. However, the flight deck where these operations take place faces particular challenges, such as the accumulation of fumes from the ship's propulsion plant, which could cause interference during helicopter take-offs or landings. This situation underscores the importance of implementing effective measures to mitigate such interferences and ensure the safety and effectiveness of aerial operations aboard frigates.

This document highlights the capabilities of INTA to effectively address the issue of fume accumulation at the stern of military frigates during helicopter operations. Two experimental techniques are described to simulate emissions from the ship's propulsion plant, ensuring flow similarity between the study case and reality. Experimental trials were conducted in INTA's Wind Tunnel No. 1 using scale models of military frigates.

On one hand, flow visualization trials are detailed, involving the injection of smoke into the chimneys to identify critical areas under specific conditions. On the other hand, trials using Particle Image Velocimetry (PIV) are described to evaluate the chimney exhaust flow based on velocity contours.

The experimental data obtained in the wind tunnel enable the assessment of the effects

of exhaust emissions on the flight deck of frigates, where the most critical helicopter maneuvers take place.

## 5. References

- [1] [1] Kulkarni PR, Singh SN and Seshadri V., (2005). Flow Visualization Studies of Exhaust Smoke Superstructure Interaction on Naval Ships. *Naval Engineering Journal*, 117: 41 – 56.
- [2] Kulkarni PR, Singh SN and Seshadri V., (2005). The smoke nuisance problem on ships, a review. *International of Maritime Engineering Journal*, 147.
- [3] Kääriä CH (2012). Investigating the impact of ship superstructure aerodynamics on maritime helicopter operations. PhD Thesis, School of Engineering, University of Liverpool, UK.
- [4] Bardera R (2014). Experimental Investigation of the Flow on a Simple Frigate Shape (SFS2). *The Scientific World Journal*.
- [5] Dobrucali E (2012). A brief review on examination of exhaust gas dispersion on marine ships. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8: 46 – 56.
- [6] Baham GJ, McCallum D (1997). Stack Design Technology for Naval and Merchant Ships. *SNAME Transaction*, 85: 324 – 349.
- [7] Vijayakumar R, Seshadri V, Singh SN and Kulkarni PR (2008). A wind tunnel study on the interaction of hot exhaust from the funnel with the superstructure of a naval ship. *OCEANS*.
- [8] Ergin S, Dobrucali E (2014). Numerical modeling of exhaust smoke dispersion for a generic frigate and comparisons with experiments. *Journal of Marine Science and Application*, 13: 206- 211.
- [9] Recker E, Bosschaerts W, Wagemakers R, Hendrick P, Funke H, Börner S (2010). Experimental study of a round jet in cross-flow at low momentum ratio. *Journal of fluid mechanics*, 306: 111 – 144.
- [10] Prasad AK (2000). Particle Image Velocimetry. *Current Science*, 79: 51 – 60.
- [11] NATO (2012). Modelling and simulation of the ship environment for safer aircraft launch and recovery. Technical report TR-AVT-148, pp. 5 – 25.

# EAGLE - Hacia la digitalización de las operaciones con sistemas aéreos no tripulados para el mantenimiento de parques eólicos offshore



Marcos  
Míguez  
González



Anne  
Gosset



Marta  
Cabaleiro  
Figueroa



Milica  
Vidić



Lucía  
Santiago  
Caamaño

Grupo Integrado de Ingeniería, CITENI, Campus Industrial de Ferrol, Universidade da Coruña

EAGLE es un proyecto coordinado financiado en la Convocatoria 2021 de Proyectos Estratégicos Orientados a la Transición Ecológica y a la Transición Digital del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, y que se ha venido realizando entre principios de 2023 y final de 2024.

Se trata de un trabajo colaborativo, que está liderado por la Universidade de Vigo y en el que participan la Universidade da Coruña y el Centro Avanzado de Tecnologías Aeroespaciales (CATEC), estando dividido en tres subproyectos, EAGLE ENVIRONMENT, EAGLE MARINE y EAGLE FLY, y con un objetivo común, consistente en digitalizar el espacio aéreo y marino para optimizar la operación de drones aplicados al mantenimiento de parques eólicos offshore.

El Pacto Verde Europeo transformará la UE en una economía competitiva y eficiente en el uso de los recursos para frenar el cambio climático y la degradación del medio ambiente. La estrategia verde promueve el crecimiento de las energías renovables y con ello el crecimiento de los parques eólicos marinos offshore para lograr la descarbonización del suministro energético y el desarrollo de todo el potencial de la energía eólica marina.

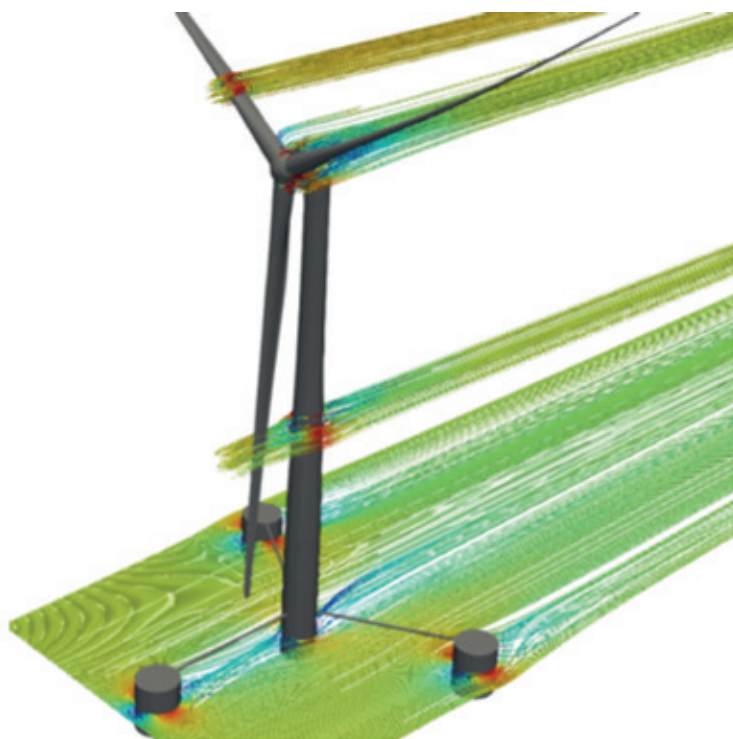
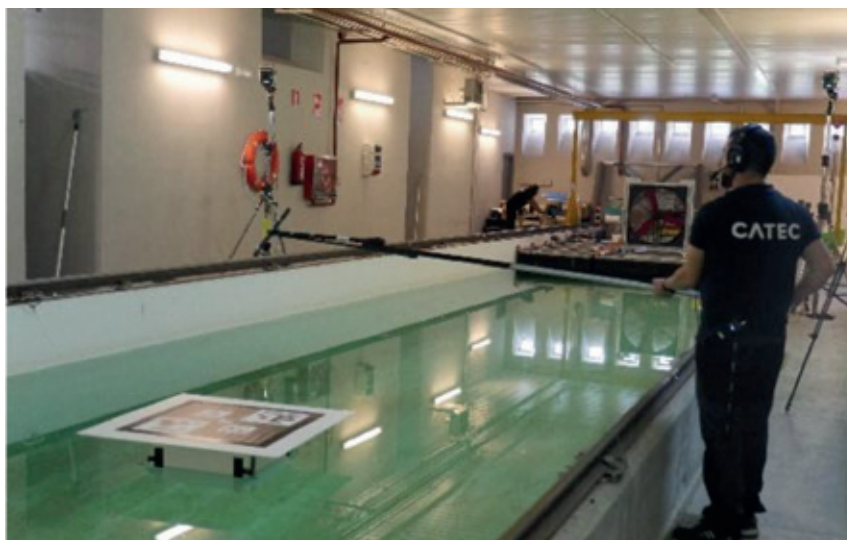


Figura 1. Simulación CFD del flujo del viento alrededor del conjunto plataforma - aerogenerador.  
Universidade de Vigo



**Figura 2. Operaciones de calibrado de las cámaras de captura de movimientos. Ensayos de despegue / aterrizaje en plataforma flotante. CATEC / Universidade da Coruña. Canal de Ensayos Hidrodinámicos. CITENI, UDC (Campus Industrial de Ferrol)**

La Comisión Europea estima llegar a una producción de 60 GW renovables antes de 2030 y de 300 GW antes de 2050. Para poder lograr este objetivo, la energía eólica offshore debe continuar mejorando y reduciendo sus elevados costes de operación y mantenimiento, generados principalmente por las condiciones ambientales complejas y en ocasiones hostiles del mar.

Para ampliar el ciclo de vida de las instalaciones eólicas offshore, y por lo tanto su rendimiento medioambiental y económico, las tareas de inspección y mantenimiento son vitales. Pero al mismo tiempo, representan aproximadamente el 30% de sus costes totales de explotación, por ello, el uso de vehículos aéreos autónomos (AUVs) se ha convertido en una apuesta realista para optimizar dichas tareas.

El uso de drones en tareas de inspección y logística resulta de gran interés debido a la rapidez de despegue, la seguridad al evitar usar operarios a grandes alturas, facilidad de utilización y reducido tiempo de opera-

y que además está rodeada por un flujo de aire altamente irregular.

El proyecto EAGLE se centra en abordar la problemática de las operaciones de mantenimiento en parques eólicos marinos utilizando vehículos aéreos no tripulados, teniendo en cuenta los distintos condicionantes existentes: modelizado del ambiente en que opera el dron, incluyendo viento y olas; modelado del comportamiento bajo la acción de este viento y olas del conjunto plataforma y aerogenerador; y por último, optimización de las maniobras de despegue, aterrizaje y vuelo del dron.

El proyecto estudia las dos operaciones más críticas en la inspección y logística en parques eólicos marinos: el aterrizaje en plataformas móviles (cubiertas de buques y góndolas de aerogeneradores flotantes) y el vuelo cerca de las infraestructuras de las turbinas eólicas. Así, dentro del subproyecto EAGLE ENVIRONMENT, coordinado desde la Escuela de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio de la Universidade de Vigo, se ha tra-

ción. No obstante, también presenta ciertas complejidades, entre las que se encuentran la dificultad de aterrizaje y despegue autónomo sobre plataformas flotantes o buques de apoyo, o el vuelo en la cercanía o en contacto con una estructura, ya sea la plataforma de soporte o el propio aerogenerador, que se mueven debido al efecto del viento y el oleaje





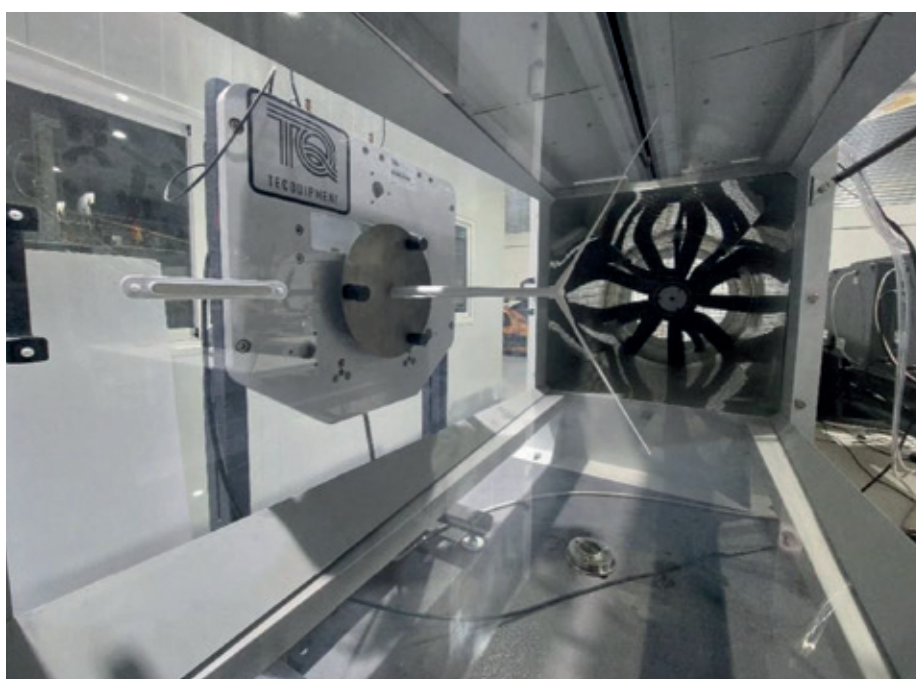
Figura 3. Atterrizaje del dron en la plataforma flotante en condiciones de viento y olas. CATEC / Universidade da Coruña. Canal de Ensayos Hidrodinámicos. CITENI, UDC (Campus Industrial de Ferrol)

bajado en el desarrollo de una herramienta que permite, a partir del conocimiento de la previsión meteorológica en la zona de operación, y mediante la aplicación de simulaciones CFD y modelos de orden reducido, reproducir el flujo del viento alrededor de los aerogeneradores flotantes, modelando posibles turbulencias y estelas.

En segundo lugar, y dentro del subproyecto EAGLE MARINE, coordinado desde el Grupo

Integrado de Ingeniería de la Universidade da Coruña (CITENI, Campus Industrial de Ferrol), se ha trabajado en modelar, para distintas condiciones de oleaje y para los campos de viento obtenidos en el proyecto anterior, el comportamiento de las estructuras flotantes implicadas, incluyendo tanto los buques de apoyo, como los aerogeneradores, considerando en este último caso también el efecto del aerogenerador en operación. Por último, y en el subproyecto EAGLE FLY, coordinado

Figura 3. Ensayos en túnel de viento del aerogenerador objeto de estudio. Túnel de viento del Laboratorio de Aerodinámica de la Universidad de Vigo (Ourense)





por CATEC, se ha trabajado en estudiar las operaciones de las aeronaves no tripuladas, incluyendo la optimización de la ruta de operación y la automatización de las maniobras de despegue y aterrizaje desde plataformas móviles, tareas en las que se han incorporado los datos de movimiento obtenidos en el subproyecto EAGLE MARINE, y las predicciones de campos de viento obtenidas en el proyecto EAGLE ENVIRONMENT.

Con el objetivo de validar los datos numéricos y simulaciones obtenidos a lo largo del proyecto, estos se han acompañado de una serie de campañas experimentales realizadas en conjunto por todos los socios, tanto en CATEC, como en el Canal de Ensayos Hidrodinámicos del CITENI (Centro de Investigación en Tecnologías Navales e Industriales, Ferrol) de la Universidade da Coruña, como en el túnel de viento del Laboratorio de Aerodinámica de la Universidad de Vigo (Ourense).

Estos ensayos han incluido tanto el estudio de la operación del dron bajo la acción de vientos fluctuantes en el túnel de viento, como el estudio del comportamiento en olas de un buque de apoyo y el conjunto plataforma flotante y aerogenerador y el estudio de las maniobras de despegue / aterrizaje de un dron en una plataforma flotante, realizadas ambas en el canal de Ensayos Hidrodinámicos del CITENI, o los ensayos de aterrizaje / despegue del dron realizados en CATEC.

El conjunto aerogenerador – plataforma elegido para su estudio durante el proyecto, tiene las siguientes características: la turbina es un modelo de unos 15 MW de potencia y con un rotor de unos 120 m de radio, mientras que la plataforma es del tipo semisumergible de tres flotadores, del tipo VoltturnUS, desarrollada en la Universidad de



Figura 4. Modelo de plataforma semisumergible VoltturnUS seleccionada en este proyecto. Universidade da Coruña. Canal de Ensayos Hidrodinámicos. CITENI, UDC (Campus Industrial de Ferrol)

Maine (Estados Unidos). Este conjunto ha sido definido como caso de benchmark en la “International Energy Agency (IEA) Wind Task 37 on Systems Engineering in Wind Energy”, lo que ha permitido tener acceso a una gran cantidad de datos tanto de sus características de diseño, como operacionales y experimentales.

Los resultados obtenidos hasta el momento son muy prometedores en los tres subproyectos, y permitirán, una vez concluidos, disponer de un conjunto de simuladores numéricos, validados experimentalmente, que permitirán optimizar la operación de los drones de mantenimiento en condiciones reales y que, en un futuro, permitirán el desarrollo de un gemelo digital completo de un parque eólico offshore junto con los drones de mantenimiento que en él se desplieguen. Proyecto TED2021-129756B-C33 financiado por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR.

# Innovación en el horizonte de la energía eólica marina: tecnología Triwind-Hex de Beridi Maritime S.L.

El sector energético se encuentra inmerso en un proceso de transformación sin precedentes, impulsado por la necesidad urgente de reducir las emisiones de carbono y mitigar los efectos del cambio climático.

En este contexto, la energía eólica marina emerge como una solución clave para cumplir los compromisos adquiridos en acuerdos internacionales como el Acuerdo de París y el Pacto Verde Europeo. Sin embargo, a pesar de su gran potencial, la expansión de la energía eólica marina enfrenta importantes desafíos tecnológicos, especialmente en regiones como España, donde la plataforma continental es escasa y las aguas son profundas.

Aquí es donde Beridi Maritime S.L. aporta su innovadora solución, TRIWIND-HEX, para enfrentar estos retos de manera efectiva y sostenible.

## La necesidad de nuevas soluciones tecnológicas en el panorama energético

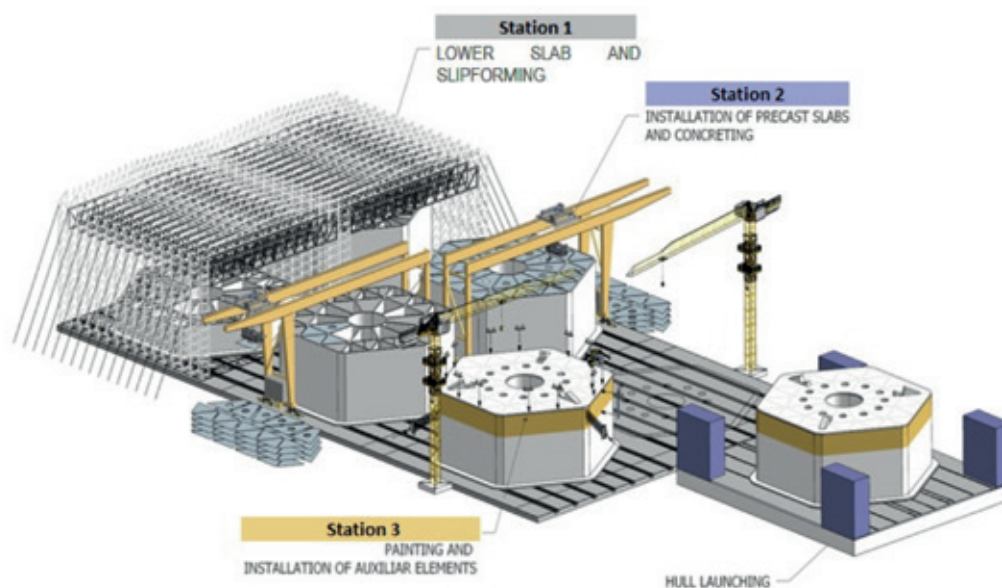
La transición hacia una economía neutra en carbono es un desafío global urgente. Desde que en 2015 se firmó el Acuerdo de París, los países han inten-

sificado sus esfuerzos para limitar el calentamiento global por debajo de los 2 °C, con un objetivo ideal de no superar los 1.5 °C. En este contexto, la energía eólica marina, al ser una fuente de energía limpia, se presenta como un recurso esencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El Pacto Verde Europeo, promovido en 2019, tiene como objetivo que la Unión Europea sea climáticamente neutra para 2050. Esto implica una completa transformación de los sectores industriales, con la energía eólica marina desempeñando un papel crucial.

El caso de España, con más de un millón de kilómetros cuadrados de aguas territoriales y un gran potencial eólico, es especialmente significativo. Sin embargo, a pesar de los avances en energía eólica terrestre, la insta-





lación de parques eólicos marinos en España sigue siendo limitada debido a la topografía submarina del país, lo que requiere soluciones tecnológicas avanzadas.

### Nuestra Tecnología como Solución

Para enfrentar los desafíos del sector de la energía eólica flotante, proponemos una innovadora plataforma flotante de hormigón llamada TRIWIND-HEX. Esta solución de bajo coste y rápida fabricación, está diseñada para soportar aerogeneradores de gran tamaño, superiores a 20 MW, lo que permitiría maximizar la generación de energía y reducir el LCOE (coste nivelado de energía).

El primer reto crítico es el tamaño de las turbinas. Las turbinas más grandes permiten una mayor producción de energía sin que el coste del CAPEX se incremente de forma lineal, lo que reduce significativamente el LCOE.

Sin embargo, este aumento de tamaño trae consigo fuerzas hidrodinámicas mucho mayores, que complican la estabilidad de las plataformas flotantes, sometiendo sus estructuras a enormes tensiones que pueden comprometer su seguridad y longevidad.

TRIWIND-HEX está diseñada para resolver estos desafíos. Su estructura hexagonal de hormigón, conocida como “cajón”, cuenta con celdas interiores dispuestas en un patrón similar a un panel de abejas, que distribuyen las cargas de manera eficiente y minimizan las concentraciones de tensión. Esta configuración proporciona una elevada rigidez estructural y flotabilidad con un calado reducido, evitando las fallas por fatiga en puntos críticos y reduciendo al mínimo las flexiones en toda la plataforma.

Además, la malla triangular del perímetro actúa como un doble casco de seguridad, donde cualquier impacto o daño que ocasione una vía de agua solo afectaría a una pequeña celda, sin poner en peligro la estructura en su totalidad.

Otro aspecto clave es la capacidad de la plataforma para manejar grandes volúmenes de agua (hasta 70.000 toneladas).

Esta masa adicional mejora significativamente el comportamiento hidrodinámico de la plataforma frente al viento y el oleaje, reduciendo el movimiento y las aceleraciones ( $<2 \text{ m/s}^2$ ) que sufre el aerogenerador, lo que aumenta la estabilidad sin necesidad

de sistemas de lastrado activo. Además, el diseño de TRIWIND-HEX ofrece un par de restauración considerablemente mayor (de 2 a 3 veces) en comparación con otras plataformas, garantizando un comportamiento hidrodinámico óptimo y minimizando resonancias.

### **Innovador Método Constructivo**

Una de las características disruptivas de TRIWIND-HEX es su método de construcción mediante encofrados deslizantes, una técnica avanzada y eficiente que permitiría construir la plataforma de una forma extraordinariamente rápida, reduciendo los tiempos de instalación de meses a semanas, lo que ofrece una enorme ventaja en términos de costes y plazos.

Este enfoque de construcción no solo optimiza los tiempos y costes, sino que también ofrece flexibilidad en el diseño, adaptándose fácilmente a las condiciones específicas del sitio. Al evitar complejos procesos de transporte y ensamblaje, TRIWIND-HEX se posiciona como una opción altamente viable y rentable para parques eólicos flotantes de gran escala.

### **Reducción del CAPEX y OPEX**

El uso de hormigón en lugar de acero es un elemento clave en la reducción de costes tanto de CAPEX como de OPEX. El hormigón es mucho más económico, resistente a la corrosión y requiere menos mantenimiento que el acero, lo que reduce significativamente los costes operativos a lo largo de la vida útil de la plataforma. Además, el diseño en panal de abejas optimiza la distribución de las cargas, minimizando la necesidad de refuerzos de acero, lo que a su vez reduce los costes de material.

El innovador método constructivo de TRIWIND-HEX, también genera ahorros sustan-

ciales. Al reducir el tiempo de construcción de varios meses a solo unas pocas semanas, se minimizan los costes asociados a tarifas portuarias y amortización de equipos, lo que impacta positivamente en el CAPEX. Además, la plataforma tiene una estabilidad extraordinaria sin la necesidad de sistemas de lastre activo, a diferencia de otras plataformas competidoras que dependen de estos sistemas auxiliares, que añaden complejidad y aumentan tanto el CAPEX como el OPEX debido al desgaste de sus componentes.

Gracias a su estabilidad, durabilidad y bajo mantenimiento, TRIWIND-HEX ofrece un importante ahorro económico. Según nuestras estimaciones preliminares, la plataforma puede reducir el CAPEX en un 50% y el OPEX en un 40%, lo que supondría un ahorro de entre 0,5-1,5 millones de euros por MW instalado.

Esta reducción de costes nos permitiría alcanzar un LCOE inferior a 60 €/MWh, posicionando a TRIWIND-HEX como una de las soluciones más coste-eficientes del mercado eólico flotante.

### **Estado Actual de Desarrollo y Planes Futuros**

TRIWIND-HEX es el resultado de más de cuatro años de intensa investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), durante los cuales hemos optimizado la tecnología para superar los desafíos del sector eólico flotante. Esta tecnología está protegida por cuatro patentes y ha sido sometida a un exhaustivo proceso de validación, tanto a nivel computacional como mediante ensayos de modelos físicos.

Actualmente, estamos en pleno proceso de certificación de la plataforma para aerogeneradores de 22 MW, lo que representará un



hito en la industria, siendo la primera plataforma flotante certificada para turbinas de este tamaño. Paralelamente, en los próximos meses llevaremos a cabo la fabricación a escala real de un mock-up de la plataforma utilizando encofrados deslizantes.

Este paso es fundamental para demostrar que nuestra tecnología puede fabricarse con este método constructivo, lo que validaría las enormes ventajas en términos de tiempos, costes y viabilidad de construcción que proponemos.

De cara al futuro próximo, nuestros esfuerzos se centran en concluir el proceso de certificación, realizar el mock-up a escala real y prepararnos para la implementación comercial de TRIWIND-HEX en parques eólicos flotantes a gran escala.

Estas iniciativas no solo consolidarán la viabilidad técnica y económica de la plataforma, sino que también permitirán reducir significativamente los costes de la energía eólica flotante, contribuyendo a una transición energética más eficiente y sostenible.

## Conclusiones

La plataforma TRIWIND-HEX de Beridi Maritime S.L. representa un avance significativo en la tecnología de energía eólica marina, abordando de manera efectiva los desafíos inherentes a la instalación de parques eólicos en aguas profundas.

Su innovadora estructura de hormigón y su diseño hexagonal optimizado no solo garantizan una estabilidad excepcional, sino que también facilitan una generación de energía más eficiente al soportar aerogeneradores de gran tamaño. El método de construcción mediante encofrados deslizantes proporciona una solución rápida y económica que

minimiza los costes de transporte y logística, acortando significativamente los plazos de instalación.

Esta flexibilidad en el diseño permite que la plataforma se adapte a las condiciones específicas de cada sitio, posicionando a TRIWIND-HEX como una opción altamente viable para proyectos de energía eólica flotante.

Además, la notable reducción en los costes de CAPEX y OPEX, no solo mejora la rentabilidad del proyecto, sino que también contribuye a un bajo coste nivelado de energía (LCOE). Esto sitúa a TRIWIND-HEX entre las soluciones más competitivas del mercado, impulsando la viabilidad económica de la energía eólica offshore.

Con el proceso de certificación en marcha y la planificación de la fabricación de un mock-up a escala real, TRIWIND-HEX está bien posicionada para liderar la transición hacia una mayor adopción de la energía eólica marina, contribuyendo a los objetivos de sostenibilidad y reducción de emisiones en el sector energético.

La innovación continua y el compromiso con la investigación y el desarrollo serán clave para el éxito de esta tecnología en el futuro.

## Agradecimientos

Este proyecto ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Unión Europea dentro del programa Instrumento Pyme, en el marco del Pacto Verde Europeo de 2020 (Green Deal). El proyecto ha recibido financiación con el Grant Agreement number: 101009363, lo que ha permitido a Beridi Maritime S.L. avanzar en el desarrollo de la tecnología TRIWIND-HEX y contribuir a la transición energética global.

# Conferencia: “Diseño, construcción y certificación de submarinos comerciales” de la FNB en colaboración con la Delegación Territorial en Cataluña



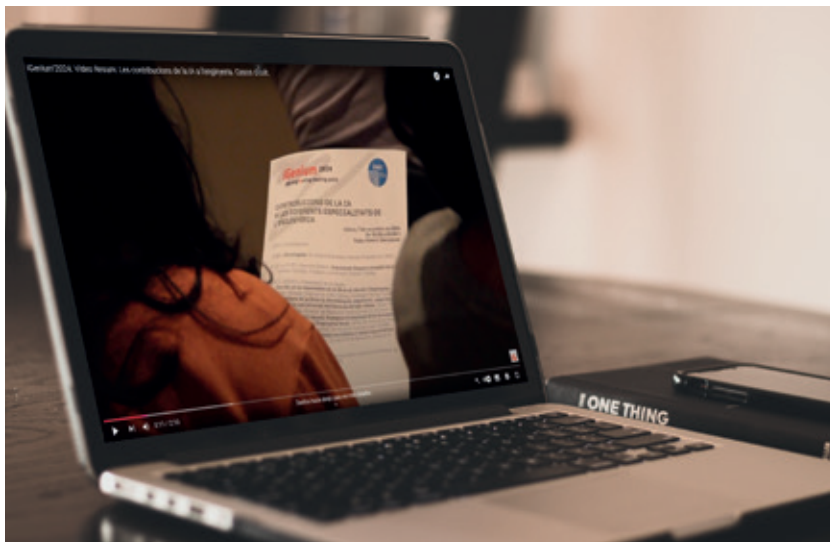
Vallès donde diseñan y fabrican sumergibles clasificados por DNV. Estos están pensados para desarrollar tareas de investigación o para uso recreativo. Diferenciados tanto por la profundidad de inmersión y por la capacidad de pasajeros que pueden albergar.

Teniendo en cuenta la profundidad de las inmersiones, diferencian estas entre grandes profundidades que empiezan

Desde hace varios años la Delegación del COIN en Cataluña colabora con el Departamento de Ciencia e Ingeniería de la Facultad de Náutica de Barcelona (FNB) en la búsqueda de ponentes ingenieros navales para los ciclos de conferencias que se comparten entre ETSIN y FNB. La primera de este curso, que tuvo lugar el pasado 16 de octubre, fue impartida por Inmaculada Ortigosa Barragan, física y Dra. Ingeniera Naval por la UPC y que hasta el curso pasado impartía clases en la FNB. Su conferencia se ha basado en explicar el método de diseño, construcción y pruebas de estos sumergibles comerciales bajo el control y supervisión del DNV. Inma es actualmente Engineering Manager en TRITON Submarines EMEA, una empresa americana que se dedica al diseño, construcción y clasificación de sumergibles comerciales que tiene una factoría en Sant Cugat del

a partir de los 1.000 m de profundidad. Han construido el tipo 36000/2 que puede hacer inmersiones de profundidad ilimitada y que ya ha operado en los puntos más profundos y desconocidos de nuestro océano. Por otra parte, el modelo 7500/3 está diseñado para profundidades de hasta 2286 m, pero con la característica de Basándose en este mismo concepto, actualmente están diseñando el 4000/2, que será capaz de alcanzar profundidades de 4.000 m.

Además, Hector Salvador, director de operaciones, es el único español que ha bajado a 10.706 metros de profundidad, hasta el abismo de la Sirena, el punto más profundo de la Fosa de las Marianas, en un descenso que duró 12 horas. Lo hizo en un submarino de Triton, el único fabricante capaz, a día de hoy, de descender a estas profundidades.



# I'Genium 2024

El pasado 7 de noviembre, tuvo lugar I'Genium 2024, reunión de profesionales de la ingeniería, que agrupa el INEC (Instituto de la Ingeniería de Cataluña) representando a 9 especialidades y que este año analizaron la “Contribución de la IA en las diferentes ramas de la ingeniería”.

Durante la misma se presentaron los últimos avances tecnológicos que están contribuyendo, por ejemplo, al desarrollo de terminales marítimas de carga rodada, la creación de gemelos digitales de los barcos, y proyectos relacionados con la Copa América (Se presentó el proyecto que el Puerto de Barcelona ha llevado a cabo para la Copa América de Vela, con David Serral, CIO del Puerto de Barcelona). Estas soluciones no solo buscan mejorar la eficiencia y la seguridad, sino que

también impulsan un uso responsable y ético de las nuevas tecnologías. Uno de los ejes centrales del evento fue el debate sobre los aspectos éticos en el uso de la IA en la ingeniería. ¿Cuáles son los límites éticos que deben establecerse para asegurar un desarrollo responsable? ¿Cuáles son los retos a los que nos enfrentamos a la hora de garantizar que estas tecnologías se desarrollen y utilicen de manera justa, segura y transparente?

Compañeros de la delegación territorial en Cataluña participaron en este evento. Concretamente, Miguel Pardo, por Grimaldi, y, Joel Jurado, por Compassis, presentaron parte de la contribución de la IA, en los proyectos de sus empresas: gestión de terminales marítima de carga rodada y gemelo digital del barco, respectivamente.

## Intervención de Miguel Pardo



[https://youtu.be/7dw\\_D-UoeS8?si=LreW986WBD3xJXnd](https://youtu.be/7dw_D-UoeS8?si=LreW986WBD3xJXnd)

## Intervención de Joel Jurado



[https://youtu.be/oxd9Jz4\\_4bE?si=Vkg8p3Zq-DK6rbM](https://youtu.be/oxd9Jz4_4bE?si=Vkg8p3Zq-DK6rbM)

# Acto institucional del día de la Delegación de Defensa en Galicia 2024

La Delegación de Defensa en Galicia ha querido distinguir este año a la Delegación Territorial del Colegio de Ingenieros Navales y Oceánicos. Esta distinción se otorga a “aquellas instituciones que destacan por su colaboración en la difusión de la Cultura de la Defensa, así como en el mantenimiento de las relaciones entre sus propios miembros y los de la Sociedad con la Fuerzas Armadas”.

La distinción se entregó, en el marco de los actos del XXVII aniversario del Día de la Delegación de Defensa en Galicia, el pasado 18 de octubre en la sede de dicha institución en La Coruña.

Durante la celebración del acto se procedió a la entrega de condecoraciones militares, a la distinción al COIN, a los premios del concurso literario escolar promovido entre los institutos de Galicia por la Delegación de Defensa, así como a reconocimiento de la labor realizada por los reservistas voluntarios.

Jorge Dahl, en representación de la Junta Directiva Territorial del COIN, recogió de manos del coronel Antonio Bernal Martín, Delegado de Defensa en Galicia, la citada distinción simbolizada en una reproducción en bronce del edificio que alberga la sede de la Delegación de Defensa en la Comunidad Gallega.

El coronel Bernal detalló, en las palabras que siguieron a la entrega de la distinción, las razones por las que el COIN ha sido galardonado, destacando su contribución en la difusión de la cultura de Defensa, con espe-



Pie de foto: De izda. a dcha.: Exdecano Territorial José Joaquín de Troya, Delegado de Defensa Coronel Antonio Bernal y Decano Territorial Jorge Dahl mostrando la distinción

cial hincapié en la relación mantenida con la Armada durante la organización conjunta de la exposición conmemorativa del 250 aniversario de la creación del Cuerpo de Ingenieros de la Armada y de la profesión de ingeniero naval y las, ya tradicionales, jornadas técnicas que la Delegación Territorial en Galicia lleva organizando en la Escuela Naval Militar de Marín (ENM), desde 2018.

Igualmente, el Delegado de Defensa hizo referencia a las visitas, que organizadas por el Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos y la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España, con la colaboración del



CGES (Consello Galego de Enxeñerías), se han efectuado a las instalaciones de Urovesa, empresa dedicada a la fabricación de Vehículos de Alta Movilidad Táctico (VAMTAC) para el Ejército de Tierra e Infantería de Marina y a la fragata Blas de Lezo (F-102), y que han servido para y acercar la labor de los ejércitos a la sociedad civil, difundir los valores de las FFAA y su compromiso con la industria Nacional.

Cabe mencionar que el coronel Antonio Bernal es un asiduo asistente a los actos organizados en Galicia por COIN y AINE, tanto si son conferencias o jornada técnicas como si son la tradicional celebración de la Virgen del Carmen. Cercano ya su retiro, aprovechamos este artículo para agradecerle su

colaboración y desearle un feliz retiro. Cabe mencionar también que esta distinción no habría sido posible sin la labor realizada tanto el anterior Decano Territorial, Pepe Troya, como Guillermo Gefaell, organizador y “Padre” de las Jornadas AINE – ENM.

Quizás el acto más entrañable de la jornada, fue la entrega del premio del concurso literario escolar “Carta a una Militar Española” y la lectura de la Carta por la ganadora; Leticia Yáñez Carpintero, hija de Álvaro Yáñez, Ingeniero Naval y Responsable en Navantia Seanergies de los programas de Monopiles para la Eólica Marina. Enhorabuena a Leticia por ese premio y esa magnífica carta, y enhorabuena por supuesto a sus padres.



## CARTA A UNA MILITAR ESPAÑOLA

LA CORUÑA  
Leticia Yáñez Carpintero, 1º BACH.  
Colegio Plurilingüe Compañía de María,  
CARTA A MI MADRE.

Querida mamá:

No quiero que sientas mis palabras como un reproche. ¿Cuántas veces me has explicado que ellos te necesitan más?  
Seguramente más pero no como yo te necesito.

Leticia Yáñez durante la lectura de la carta y encabezado de la misma

## La Delegación en Galicia celebra una nueva sesión AINE/COIN-EPEF: Inteligencia Artificial



La Delegación Territorial en Galicia del Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos y de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España, en colaboración con la Escola Politécnica de Enxeñería de Ferrol (EPEF), celebraron, el pasado 19 de noviembre, en el salón de actos del Vicerrectorado del Campus de Ferrol, una nueva sesión AINE/COIN-EPEF titulada “El Impacto

de la Inteligencia Artificial en la Construcción Naval” impartida por nuestro compañero Dr. Ingeniero Naval Rodrigo Pérez Fernández.

El decano territorial del COIN/AINE en Galicia, Jorge Dahl de Sobrino, y el director de la EPEF, Vicente Díaz Casás, dieron la bienvenida al público asistente que consistía princi-

palmente en estudiantes de Grado y Máster de la EPEF, para a continuación dar paso a la conferencia magistral de Rodrigo Pérez Fernández. Esperamos que los/as asistentes, alcanzaran una visión sobre como la IA puede impulsar una ventaja competitiva y dar forma al futuro industrial naval, tal y como indicaba Rodrigo Pérez.

## El Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos firma un acuerdo con RTVE

El pasado mes de octubre, el Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos, representado por su decana, Pilar Tejo Mora-Granados, y la Corporación de Radio y Televisión Española, S.A., S.M.E. (RTVE), firmaron un convenio marco de cooperación, en lo referido a la sensibilización social y difusión mediática del valor y las oportunidades laborales, económicas y de desarrollo social que ofrece el ámbito oceánico, naval y marítimo. Entre las acciones recogidas en este convenio, destaca la participación y colaboración periódica en el programa divulgativo de Radio Nacional de España (REE), “Españoles en la mar”, de repercusión internacional, con carácter quincenal.

“Es una oportunidad única a través de la cual, podemos hacer llegar a la sociedad española la importancia del transporte marítimo, del sector marítimo en general, y especialmente, la relevancia de la ingeniería naval en nuestro día a día”, destaca Pilar Tejo. “Nos sentimos muy honrados e ilusionados de poder desarrollar una línea de trabajo con el ente público RTVE que redunde en una mayor valoración por los ciudadanos, especialmente los más jóvenes, de la ingeniería naval y del sector marítimo-naval en general, y también en la atracción de talento a esta parte de la economía azul”, añade.



Estrenamos **sección quincenal** en el programa de radio **Españoles en la mar**.

Lo ha inaugurado nuestra decana Pilar Tejo hablando sobre el proyecto **“Mujer e Ingeniería Naval”**.

**radio e**

**Españoles en la mar**

**rne**

Puedes escucharlo escaneando este QR:

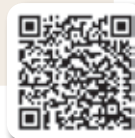



**MUJER E INGENIERÍA NAVAL**

Programa de Mentorías

**rne**

Puedes escucharlo escaneando este QR:

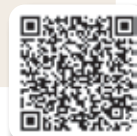




Puedes escucharlo escaneando este QR:



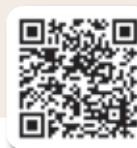
Puedes escucharlo escaneando este QR:



## Jornada: Energía nuclear en buques y usos marinos civiles



Puedes ver la Jornada al completo en nuestro canal de YouTube (@IngenierosNavalesyOceanicos), escaneando este código QR:



El pasado lunes 18 de noviembre, la Comisión de transición energética de la Asociación de Ingenieros Navales de España una nueva jornada. En esta ocasión, abordaron la energía nuclear en buques mercantes y otros usos civiles marítimos. Ante el interés de grandes armadores internacionales sobre este asunto, mirando hacia las nulas emisiones y la producción de energía ilimitada

una solución viable, especialmente ante las dificultades: tecnología, seguridad, rentabilidad, financiación, autorizaciones, tripulaciones, operaciones portuarias, mantenimiento, etc.

En esta jornada participaron: Diana Cuervo, profesora titular de tecnología nuclear en la ETSIN/UPM; Elena Seco, directora general

para toda la vida del buque, no parece ser

de ANAVE; Eduardo Álvarez y Minas Diacakis, de la sociedad de clasificación American Bureau of Shipping; y Miguel Calvo, CEO de la oficina en Madrid de Rubicon Capital Advisors.

Tras esta Jornada ha quedado claro que el interés en los reactores nucleares de nueva generación aplicados al ámbito marítimo está creciendo, pero enfrenta una considerable oposición debido a su complejidad técnica, riesgos asociados y altos costos iniciales.

Aunque el sector presenta potencial, su implementación estaría limitada a un pequeño porcentaje de buques, principalmente los de gran tamaño y gran potencia instalada, que representan menos del 1% de la flota global (aproximadamente 1.000 de más de 100.000 buques en servicio). Curiosamente, estos buques son los mayores emisores de CO<sub>2</sub>, lo que sugiere que los reactores nucleares podrían ser clave en la transición energética.

Además de los buques, existen otras aplicaciones marinas para los reactores nucleares, como centrales eléctricas flotantes. Rusia, por ejemplo, ya cuenta con instalaciones operativas en Siberia. Sin embargo, los reactores diseñados para buques civiles necesitarían ser significativamente más pequeños que los utilizados en centrales terrestres, y menores incluso que los reactores modulares pequeños (SMRs), con una capacidad máxima de 50-70 MW.

Aunque hay más de 70 propuestas de reactores nucleares de cuarta generación, la mayoría sigue en etapas de diseño teórico. Solo algunos prototipos están en construcción en países como China, Estados Unidos

y Rusia, y su entrada en uso comercial no se espera antes de 2040. A pesar de los avances tecnológicos, que prometen mayor seguridad y menor producción de residuos, los desafíos financieros y técnicos son significativos. El coste de construcción de un buque equipado con un reactor nuclear puede triplicar el precio de un buque convencional.

Aunque el combustible para años de operación se paga por adelantado, lo que podría ser rentable a largo plazo, este modelo presenta riesgos de mercado y dificultades de financiación. Además, conseguir seguros de responsabilidad civil es complejo, y la normativa internacional aún está lejos de ser uniforme.

Un gran reto que no puede obviarse es la necesidad de tripulaciones altamente especializadas. También las autorizaciones en puertos y países, limitaría su operación a rutas dedicadas y tipos específicos de buques. Este panorama sugiere que el liderazgo inicial recaerá en países como China y Rusia, mientras que Estados Unidos podría participar en menor medida. Para el resto del mundo, los RRNN marinos parecen estar fuera de alcance sin un apoyo gubernamental masivo.

En conclusión, los reactores nucleares en aplicaciones marinas presentan un enorme potencial para reducir las emisiones de carbono y diversificar las fuentes de energía, pero sus limitaciones económicas, técnicas y regulatorias dificultan su adopción generalizada en el corto plazo.

Solo una colaboración internacional sólida y el apoyo estatal podrían acelerar su desarrollo y adopción.



# Astilleros de Murueta bota el buque carguero *Bermeo NM* para MAAS



En la foto Juan Manuel Arana, presidente del grupo Murueta junto a Jose Luis Grijalvo Decano Territorial del COIN en el País Vasco

El pasado 29 de octubre, Astilleros de Murueta celebró en sus instalaciones de Erandio, el acto de bendición y botadura del buque carguero *Bermeo NM*, que construye para el armador MAAS.

El nuevo buque dispone de una propulsión diésel eléctrica, lo que complementado con tecnología de baterías de última generación permite realizar operaciones libres de emisiones y ajustar la potencia generada con la potencia que se necesita en cada momento, optimizando el consumo durante todas sus travesías y reduciendo significativamente el impacto ambiental.

El *Bermeo NM* entrará a formar parte del pool MAAS (Murueta Atlántico Alcudia Shipping), con sede en Bilbao, que dispone de 14 buques de transporte de todo tipo de carga seca, graneles y grandes proyectos por todo Europa, Norte de África y Mar Negro.

## Quinto buque para MAAS

Se trata del quinto barco de la serie 6200 que Astilleros Murueta diseña y construye para el armador MAAS, tras el *Mundaka NM*, el *Katuxa NM* y el *Gernika NM* y el *Arteaga NM*. De hecho, al igual que en los cuatro buques anteriores, tanto la concepción como el diseño del buque han sido realizados íntegramente por la división de ingeniería de del propio astillero en colaboración con el armador. El barco se entregará en el segundo trimestre de 2025 y supone la construcción número 332 del astillero.

El trabajo afianza la apuesta de este astillero por los diseños de buques tecnológicamente avanzados y con alto componente de innovación, que buscan la eficiencia energética y la utilización de nuevos combustibles.

Los últimos proyectos del astillero han ido en esa línea de alta innovación, como la construcción de buques con propulsión LNG, el buque *Oizmendi* (2018) primer buque de suministro de LNG (Gas Natural Licuado) de España y el *Ibaizabal Quince* (2020), primer remolcador de puerto propulsado con Gas Natural Licuado (LNG) de España, buques de propulsión eléctrica con tecnología híbrida,

diésel eléctrica y baterías, como el *Bahía Levante* (2022), oil tanker híbrido cero emisiones tanto acústicas como de CO<sub>2</sub> en puerto, debido a la incorporación de baterías, junto a los nuevos buques también Diesel Eléctricos de carga seca en construcción para MAAS.

En la actualidad, Astilleros Murueta tiene una carga de trabajo de tres buques: el buque arrastrero congelador *Kaassassuk*, que está construyendo para la compañía groenlandesa Royal Greenland; el buque químico *Bahía Candela* que está construyendo para Murevi Energy; y el buque carguero *Busturia NM*, que está construyendo para MAAS en su factoría de Murueta.

#### Características técnicas del Bermeo NM: Los datos del buque híbrido de Carga Seca son los siguientes:

Eslora total	103,40 m
Eslora entre perpendiculares	96,80 m
Manga de trazado	15,60 m
Tripulación	11 personas
Capacidad de bodega	8.050 m <sup>3</sup>
Capacidad de carga	6.000 t
Velocidad	13,50 nudos
Peso muerto	6.200 t
MDO	265 m <sup>3</sup>
Sociedad de clasificación	Lloyd's Register
Cota de clase	+ 100A1, strengthened for heavy cargoes, LI, *IWS, X LMC, BWTS/BWTS*

## Navantia comienza a embarcar los equipos del AIP en el submarino S-83

El astillero de Navantia en Cartagena ha comenzado a embarcar en el submarino S-83 los equipos que componen el novedoso sis-

tema de propulsión independiente del aire (AIP), una tecnología que convierte la clase S80 en uno de los modelos de submarinos



convencionales más avanzados del mercado.

Este sistema, único en el mundo, genera hidrógeno a partir de un alcohol generado de forma sostenible (bioetanol) y almacenado a bordo del submarino. Este proceso lo realiza el Sistema de Procesamiento de Bioetanol. Este hidrógeno, combinado con oxígeno almacenado también a bordo, genera electricidad a través de una pila de combustible capaz de cargar las baterías del submarino y mantenerlo en inmersión entre dos y tres veces más que cualquier otro submarino convencional. Este sistema AIP es capaz de

operar a cualquier profundidad y en todas las condiciones operativas, lo que permite adaptarse a cualquier misión de la Armada y lo convierte en el sistema AIP más avanzado del mercado.

Los submarinos de la clase S80 son los únicos de 3.000 toneladas dotados de este sistema en todo el mundo. Este sistema sumado a una diseño y sistema de producción orientado a crear un submarino casi indetectable abren la puerta a oportunidades de exportación, reforzando el posicionamiento internacional de la compañía y de todo su ecosistema de colaboradores.

## Botadura del nuevo buque oceánico *Duque de Abumada* de la Guardia Civil



Esta embarcación renovará la flota del Servicio Marítimo del Cuerpo y trabajará en la prevención de la delincuencia transfronteri-

za o la seguridad marítima y participará en misiones humanitarias, rescatando vidas en la inmensidad del mar y ofreciendo apo-



yo logístico a otras unidades de la Guardia Civil. Además, luchará contra la migración irregular, el narcotráfico o la trata de seres humanos.

El nuevo buque de la Guardia Civil supone un hito tecnológico de primer nivel y un importante incremento de las capacidades operativas del Cuerpo en el desempeño de sus funciones en el ámbito marítimo.

El Mando de Fronteras y Policía Marítima de la Guardia Civil, teniente general Manuel Navarrete, ha presidido en el puerto de Vigo la botadura del nuevo buque oceánico *Duque de Ahumada* del Servicio Marítimo de la Guardia Civil.

### **Un buque de grandes capacidades**

La inversión para este nuevo navío ha sido cofinanciada con fondos de la acción específica de equipamiento de la agencia europea Frontex. Su construcción se está realizando por los astilleros Armón y estará en servicio en el último trimestre de 2025.

Este nuevo buque oceánico Duque de Ahumada sustituirá al *Río Miño* tras haber cumplido su periodo de vida útil. Se trata de una embarcación que ayudará a preservar el medio marino al incorporar tecnologías avanzadas que minimizarán su huella ecológica y que contribuirán en la lucha contra la contaminación marina.

Dispondrá de cinco cubiertas, con helipuerto, dos embarcaciones de rápida intervención y un ROV para la inspección y rastreo subacuático de hasta un kilómetro de profundidad.

Además, estará dotado con equipos de navegación y comunicaciones de última generación, espacios hospitalarios y enfermería, área de seguridad y zona de náufragos para un mínimo de 100 personas.

Tendrá una autonomía superior a las 11.000 millas, con capacidad para permanecer en el mar sin tocar puerto de hasta 30 días. Podrá alcanzar una velocidad de 18 nudos y tendrá una velocidad de patrulla superior a los 11. Contará con alojamiento a bordo para 44 miembros de la tripulación y 12 personas ajenas a ella.

### **El Servicio Marítimo de la Guardia Civil**

El Servicio Marítimo está compuesto por casi 150 unidades navales entre buques oceánicos, embarcación de altura, patrulleras medias, ligeras y de apoyo. Este servicio de la Guardia Civil está desplegado en las provincias costeras.

Además, existe un despliegue en África occidental con el Destacamento de Senegal, otro en Mauritania y tres Asistencias Técnicas de vigilancia fluvial en Saint Louis y Kaolack (Senegal) y Banjul (Gambia).



# Saltchuk Marine elige las soluciones de Schottel en la renovación de su flota

Los cuatro nuevos remolcadores de escolta de Saltchuk Marine que se destinarán a la costa oeste de EE. UU., Hawái y Alaska, estarán equipados con propulsores azimutales de Schottel.

Los sistemas de propulsión de Schottel irán en remolcadores de escolta RApport 2600, diseño de Robert Allan. Concretamente, dos hélices azimutales Schottel RudderPropellers tipo SRP 510 (2.800 mm de diámetro y potencia de entrada de 2.610 kW suministrada por motores Caterpillar 3516E) en cada unidad.

Los propulsores permitirán a los remolcadores operar con un tiro a punto fijo de más de 85 toneladas y una velocidad de servicio de 12 nudos.

Los propulsores estarán equipados con Schottel LeaCon, el sistema de monitorización de juntas certificado por DNV. LeaCon evita que el aceite lubricante se derrame en el agua y que el agua entre en la caja de cambios, lo que hace que el sellado del eje de la hé-

lice deje de ser una interfaz aceite-agua de acuerdo con las regulaciones de la EPA. Además, el alcance del suministro se completa con el sistema de monitorización de estado MariHub de Schottel para permitir el mantenimiento basado en el estado a través de una pantalla a bordo y también un análisis remoto.

Este contrato marca el inicio del proyecto de renovación de la flota a largo plazo de Saltchuk Marine, con los nuevos remolcadores listos para apoyar las operaciones portuarias de la Costa Oeste y cumplir con los requisitos ambientales de EPA Tier 4 y California Air Resources Board (CARB). Serán operados por Foss Maritime.

Los remolcadores tendrán una eslora de 25,60 m, una manga de 12,80 m y un calado de 5,50 m. Con capacidad para ocho personas a bordo. Se construirán en las instalaciones de Allanton y Port St. Joe de Eastern Shipbuilding Group y su entrega está prevista para 2026.



# SPC Spain informa del descenso del transporte marítimo de corta distancia internacional registrado durante el primer semestre de 2024



Escanea este QR para leer el informe semestral del Observatorio Estadístico del TMCD:



Por su parte, según dicho informe, el TMCD internacional de vehículos en régimen de mer-

El transporte marítimo de corta distancia internacional (TMCD) de carga rodada, excluyendo vehículos en régimen de mercancía, movió 13,6 Mt en el primer semestre de 2024, según los datos recogidos en la edición más reciente del informe semestral del Observatorio Estadístico del TMCD, publicado el 29 de octubre por SPC Spain. Esta cifra supone un descenso de un 3,8% respecto al mismo periodo de 2023.

Analizando los datos por fachadas, la atlántica creció un 19,7% respecto al mismo periodo del año anterior, mientras que la mediterránea se redujo un 7,0%. Respecto a los países de origen y destino, en la fachada atlántica registran aumentos todos los países, desatacando significativamente los tráficos con Bélgica, que crecen un 44% impulsados por la puesta en marcha de la conexión marítima de Vigo con la terminal de Zeebrugge. En la mediterránea se registran aumentos en todos los países, a excepción de Marruecos, que registra una tasa negativa del 14,4%, aunque presenta el mayor volumen de intercambio.

cancía registró durante la primera mitad del año un ligero descenso de un 5,3% respecto al mismo semestre de 2023. En total se movieron 1,7 Mt (aproximadamente unos 741.000 vehículos). El informe muestra que la capacidad ofertada de TMCD alternativo a la carretera ha disminuido en ambas fachadas respecto al segundo semestre de 2023. En la atlántica ha decrecido un 4,6%, pasando de 1.418.000 a 1.352.000 metros lineales. Por su parte, en la fachada mediterránea el descenso de capacidad ha sido significativo (-26,7%), desde 3.852.000 hasta 2.822.000 metros lineales.

Finalmente, durante el primer semestre de 2024 operan un total de nueve Autopistas del Mar (AdM) frente a las trece que operaban en el segundo semestre de 2023. En la fachada Atlántica se ha mantenido el número de las AdM, con un descenso de los metros lineales en un 13,5%, pasando de 510.700 a 441.900 metros lineales; mientras que en la Mediterránea se han reducido en cuatro y su capacidad ha disminuido un notable 37,7%, pasando de 3.574.386 a 2.280.590 metros lineales.

# El PCTC *Nereus Highway* en su viaje inaugural hace escala en Barcelona para repostar GNL



## Características principales:

Eslora total	199,99 m
Manga	38 m
Puntal	39,28 m
Calado	9 m
Tonelaje bruto	75.698 gt
Capacidad	7.000 vehículos
Motor principal	WinGD 7X62DF-2.1
Velocidad	19 kn
Sociedad de clasificación	DNV
Bandera	Panamá
Astillero	China Merchant Jinling Shipyard (Jiangsu) Co., Ltd

K Line, representada en España por Bergé, incluyó Barcelona como escala en el viaje inaugural de su nuevo barco *Nereus Highway*, propulsado íntegramente por GNL. Forma parte de la serie de 11 barcos que la compañía ha encargado y que serán puestos en circulación en los próximos años.

Tras salir de los astilleros chinos el pasado mes de agosto y haber hecho escala ya por puertos de China y Japón, el buque ha llegado al puerto de Barcelona para la operativa de carga y descarga de vehículos y carga proyecto, desde donde partirá hacia el norte de Europa.

Con motivo de esta escala inaugural, la Autoridad Portuaria de Barcelona celebró un acto de homenaje, algo tradicional cuando recibe barcos que escalan por primera vez en el puerto, en el que se le ha hecho entrega de una metopa conmemorativa al capitán del navío, en el que ha estado presente Lluís París y Anna Llisterri por parte de la Autoridad Portuaria; y Susanna Hakobyan, Jan Handler y Aleix Martínez Catasús, por parte de Bergé.

Bergé es agente general en España de K Line y comercializa servicios de importación/exportación desde el Puerto de Barcelona con





destino a la costa este de Estados Unidos y Golfo de México, así como Asia, desde el Puerto de Santander.

con el medio ambiente y reduciendo la huella de carbono de las mercancías transportadas.

Los buques propulsados por GNL permiten una reducción del 21% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con los combustibles marinos convencionales. También las emisiones de otros contaminantes, como los óxidos de azufre (SOx), los óxidos de nitrógeno (NOx) y las partículas (PM), son cercanas a cero cuando se usa GNL, ayudando así a un transporte más respetuoso

## Schottel de Colombia dispondrá de un taller de propulsores de última generación



Schottel de Colombia está construyendo actualmente un nuevo taller de última generación en Cartagena, una ubicación estratégica privilegiada con acceso al mar Caribe. Esta instalación será la única de su tipo

operada por un fabricante de sistemas de propulsión marina en Colombia, ofreciendo beneficios significativos para los clientes de toda la región latinoamericana. La inversión total asciende a 5 M€. El objetivo de esta inversión es aumentar la proximidad a los clientes de LATAM, ampliar servicios in situ y seguir aprovechando el potencial de este mercado.

Julio Carrasquilla, gerente general de Schottel de Colombia, destaca: “Con este nuevo taller, estamos cerrando una importante brecha en la oferta de servicios para sistemas de propulsión en LATAM y llevando el soporte al cliente a





un nuevo nivel.” Estratégicamente situada cerca de los principales astilleros, la instalación permitirá realizar servicios de mantenimiento y reparación rápidos y eficientes, mejorando significativamente los tiempos operativos de las flotas de los clientes: “Nuestros clientes se beneficiarán enormemente de este completo servicio posventa.”

### **Amplios locales equipados con maquinaria de vanguardia**

Situado en un terreno de 4.700 m<sup>2</sup> en Cartagena, la filial colombiana de la empresa alemana Schottel GmbH contará, a partir del verano de 2025, con un nuevo taller de 1.000 m<sup>2</sup>, equipado con maquinaria moderna y la capacidad de elevación de grúas necesaria. Los clientes podrán contar con una gama de servicios muy amplia, incluido el mantenimiento a nivel de OEM. Para facilitar, se dispone de puentes grúa dobles con capacidad de elevación de hasta 60 toneladas y escáner 3D para la evaluación de piezas complejas. El taller tendrá capacidad para trabajar en varias unidades de propulsión simultáneamente, un área de mecanizado para torneado, fresado y rectificado, y capacidad de montaje vertical de hasta 12 metros de altura de nave. Así como una grúa auxiliar pivotante de 6,3 toneladas de capacidad y 5,5 metros de alcance mejorará aún más la eficacia operativa.

Entre las características operativas se incluye un almacén de piezas de recambio de 100 m<sup>2</sup>, un manipulador automático de cajas de cambios, un limpiador automático de piezas, un hueco de montaje de diseño ergonómico para subcomponentes y purgadores de aceite.

Como complemento, el nuevo centro contará con una zona de oficinas de 800 metros cuadrados y una sala de formación, todo ello diseñado de acuerdo con las normas más recientes de ergonomía y desarrollo de trabajo en equipo.

### **Diseñado según las últimas normativas y lineamientos de sostenibilidad**

Todo el nuevo edificio y su logística interna están equipados según las últimas normas de sostenibilidad, que incluyen el uso reducido de energía, la conservación de recursos, reducción de la contaminación, distancias de transporte cortas, eliminación de residuos y normas de reciclaje. El sistema fotovoltaico instalado en el tejado está diseñado para producir 138 kW de energía fotovoltaica al año, lo que cubrirá el 100% de las necesidades energéticas del edificio. Además, el sistema aportará 60 kW de exceso de energía a la red pública, contribuyendo a la sostenibilidad y compensando la huella de CO<sub>2</sub> de Schottel de Colombia.

# Instalados paneles solares en las cubiertas de los talleres de Navantia Ferrol



El astillero de Navantia en Ferrol ha dado un paso significativo hacia la sostenibilidad con la puesta en marcha de sus dos primeras instalaciones de producción de energía eléctrica renovable a partir de paneles solares fotovoltaicos. Se ubican en las cubiertas de los talleres de Prearmamento II y de Módulos y Reparaciones y, con un tercer parque solar en la cubierta del almacén del muelle 9, ahora en proceso de licitación, cubrirán hasta un 10% del consumo eléctrico de la planta. Estas instalaciones no solo contribuirán a la reducción de la huella de carbono de Navantia, sino que también representan un avance hacia la independencia energética y la eficiencia operativa, además de un ahorro de costes.

La cubierta del taller de Prearmamento II cuenta con 846 paneles de 450 Wp (pico de Watios), alcanzando una potencia total de 388,80 kWp (pico de kiloWatios: potencial máximo al que se llega en condiciones ideales).

La instalación del Taller de Módulos y Reparaciones alberga 630 paneles de 450 Wp, con una potencia instalada de 283,5 kWp. La futura cubierta de los almacenes del muelle 9 implican el montaje de un campo solar de

1.680 paneles de 450 Wp, con una potencia instalada total de 705 kWp. Se prevé que este último pueda estar en marcha a finales del próximo enero. Entonces se podrá llegar a ese 10% del consumo eléctrico, un primer paso dentro de los objetivos de sostenibilidad de la compañía. Esta inversión cuenta con financiación de los fondos Next Generation de la Unión Europea, en el marco del

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia del Gobierno de España, asociado al Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica para la modernización y diversificación del ecosistema naval español (PERTE Naval).

La empresa continúa trabajando en proyectos innovadores que promuevan el uso de energías renovables y la reducción de emisiones, consolidándose como un referente en el sector naval y en la transición hacia un futuro más verde. Navantia está comprometida con los objetivos de la Unión Europea de convertirse en una economía neutra en emisiones de CO<sub>2</sub> en 2050 y con el Plan Nacional de Energía y Clima para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la generación de energía por fuentes renovables. A través de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático establecidas en la Estrategia de Sostenibilidad, la compañía está ejecutando un plan con el que se pretende llegar a un 55% de descarbonización para el año 2030 y al 100% en el 2040, comprometiéndose así a medir y reducir la huella de carbono causada por el desarrollo de su actividad.





## 2025. La flota mundial crecerá. Viento en las velas e incertidumbres



**Por José-Esteban Pérez García**

I.N. Colegiado nº 700

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

Ex secretario general, Community of European Union Shipbuilders Associations.

y Director General AWES. Ex director Ast. Cádiz (AESA).

Académico de Número de la Real Academia de la mar.

Ex Presidente Comité Asuntos Marítimos IIE.



Vaya por delante, en este artículo, el sentimiento más profundo por los efectos demolidores en la Comunidad Valenciana, provocados por la DANA que la asoló en los días de fin de octubre y principios de noviembre, especialmente desastrosos en el área costera al Sur de Valencia capital.

También por la indefensión de los habitantes que la han sufrido, y el deseo de máxima colaboración y concertación entre todas las Instituciones con poder de decisión en el Reino de España para reparar y reconstruir lo destruido, y empatía suficiente para ayudar a “reconstruir” humanamente lo que ya no tiene remedio. Igualmente, en los casos de menor dimensión habidos en Castilla-La Mancha y Andalucía.

Desde un punto de vista marítimo, cabe decir que es bueno meditar sobre la importancia que puede tener en casos de siniestros costeros o interiores cercanos a la costa, sean naturales o no, el aprovisionamiento de lo necesario por mar, especialmente cuando los accesos terrestres a la zona estén afectados por el propio siniestro. Este asunto es importante, y de alguna manera está relacionado con el concepto de autonomía o capacidad estratégica, del que llevamos hablando mucho tiempo ha.

### **Una cosa es el deseo, y otra la capacidad**

En la Coyuntura del pasado mes de octubre, hicimos un somero recorrido sobre los aspectos marítimos de los llamados Informes Letta y Draghi, y lo que podría representar su aplicación a la inversión en la industria naviera en la Unión Europea. Se mencionó la posibilidad de que el Informe Draghi sea usado como arma o escudo dialéctico por los “relatos” de unos contra otros y no como un documento de trabajo para elaborar decisiones consensuadas y basadas en criterios razonables. Esto es especialmente importante

cuando, tanto la Comisión Europea como el propio Parlamento son nuevos, y el Consejo de Ministros experimentará probables cambios en los próximos meses, mientras el panorama internacional se vuelve potencialmente más agitado, y especialmente tras las elecciones en EE. UU. y la victoria de Donald Trump. Además de esta circunstancia que parece, en principio, no muy favorable para la Unión Europea, está el estancamiento económico de Alemania y su inestabilidad política tras la dimisión de su Canciller Scholz y la convocatoria de elecciones.

**Sin duda, el año 2025 se presenta como uno de los más complicados de este primer cuarto del siglo XXI, y el mundo marítimo en todos sus sectores seguirá siendo, quizá más que antes, un elemento no sólo valioso, sino esencial en un escenario convulso.**

Volviendo a un asunto que ha sido recurrente en las entregas de esta colaboración en el último año, y que no es en absoluto nuevo, pero en el que se ha profundizado poco, hay que citar el concepto de autonomía estratégica, que parafraseando lo que se dice en los informes que hemos citado al principio, se empezó a emplear en la Unión Europea hace aproximadamente una década en ámbitos muy específicos, especialmente en los de seguridad y defensa.

La preocupación motivada en cuanto a lo que se incluía en ese concepto, ha ido aumentando con el tiempo, y muy especialmente durante la pandemia de la Covid-19. Las razones del aumento de sensibilidad europea se debieron, como no podía ser de otra forma, a las enormes distorsiones que se produjeron en el funcionamiento de las cadenas de suministro en todo el mundo.

**Como sabemos, la mayor responsabilidad fáctica (no política, o no esencialmente política) respecto al funcionamiento de las cadenas de suministro corresponden a la**



actividad que hace posible que estas cadenas puedan fluir, que como todo el mundo sabe, es el transporte marítimo que hace posible que los buques muevan entre el 80 y el 90 % del volumen del comercio internacional. Las consecuencias de los desajustes creados son bien conocidas por todo el mundo.

Ahora, con un escenario muy condicionado por la política internacional, el panorama se vuelve, en principio, bastante oscuro. Los desajustes del tiempo de la pandemia y los consecuentes aislamientos se pueden reproducir y agudizar por razones de política internacional. Es difícil intentar explicar los efectos posibles en el mundo marítimo, si obviamos las referencias a sus razones políticas, que no se pueden ignorar, aunque esta revista de Ingeniería Naval sea una publicación de carácter técnico. Por ello, el autor entiende que pequeñas incursiones en las posibles consecuencias de actos políticos son admisibles para tratar de desarrollar, desde un punto de vista europeo, lo que se pretende explicar. Todo esto es más crucial desde el momento en el que, como en otros sectores de la economía y de la vida, vivimos en un periodo de enorme globalización.

Por lo dicho en líneas anteriores, defender los intereses (no sólo marítimos) de la Unión Europea en un entorno geopolíticamente hostil, sufriendo desde hace tiempo la dependencia respecto a cadenas de suministros extracomunitarias, deberían convertir el concepto de autonomía estratégica desde ser un deseo, hasta ser una “capacidad”. Estamos hablando, pues, de lo que siempre hemos llamado “soberanía estratégica”.

La posición de la Unión Europea lleva muchos años, siendo especialmente tibia en cuanto a acciones a tomar contra la competencia desleal que se ha sufrido durante largo tiempo en la industria de construc-

ción naval. Ahora, lo poco que queda deberá enfrentarse a un posible cambio radical.

El presidente electo de EE. UU. Donald Trump parece haber mencionado que: “arancel es una de las palabras más bonitas que existen”. Esto significa un claro anuncio de plantear una guerra comercial internacional que obviamente cortocircuitaría la globalización y transformaría rutas marítimas comerciales. Como ha manifestado Peter Sand, Analista Jefe de BIMCO: **“Todas las medidas restrictivas al comercio son, en principio perjudiciales para el sector naviero internacional”**, lo cual es rigurosamente cierto en un mundo en el que el comercio marítimo es lo mismo que decir “casi todo el volumen del comercio internacional”.

Un mundo en el que existiese una gran liberalidad daría lugar a una competencia que encontraría por sí misma un “level playing field” que favorecería simultáneamente al naviero y al consumidor de los productos transportados, y por ende, al consumidor final. Esta situación, propia del liberalismo a ultranza, no se ha dado nunca en el mundo; pero otra cosa es que se acabe imponiendo una realidad repleta de barreras comerciales que transforme los bienes demandados en más caros y que tal situación haga girar la demanda hacia productos o bienes que procedan de zonas o países más baratos y de menor calidad que no han sido “castigados” por el país que dice defender su economía y su empleo. En nuestro caso, Los EE. UU., poniendo en marcha un arsenal de barreras arancelarias para proteger sus industrias, su agricultura, su pesca, etc., etc.

### La resurrección de los aranceles. (Aunque nunca estuvieron muertos)

Hay posiblemente dos maneras de reaccionar en este tumultuoso escenario, que retratan dos modos de defenderse para subsistir



en él. El protegerse poniendo aranceles a todos los productos extranjeros contra los que la producción nacional no es competitiva, o luchar para mejorar tu competitividad hasta conseguir que exista un campo de juego para competir en igualdad de condiciones. Claro que se puede definir un tercer camino, que es lograr esa competitividad mediante ayudas de estado, que en cualquiera de los casos pervierten el mercado.

En esta probable lucha de aranceles, para la que Donald Trump ha amenazado durante su campaña electoral, por ejemplo, un 60 % de tarifa aduanera a productos chinos, especialmente a los coches eléctricos, y un 10 % para los europeos. Es muy posible que China responda gravando las importaciones agrícolas norteamericanas. Si esta suposición llegara a ser realidad, las rutas marítimas de los car-carriers entre ambas naciones se tendrían que modificar, y en el otro sentido, las

grandes importaciones chinas actuales de soja podrían cambiar de EE. UU. en su costa del Golfo de México, a Brasil. La ruta desde Brasil es más larga que desde el sur de EE. UU., lo que, aparte de provocar excedentes de cereales en EE. UU. con los consecuentes efectos negativos para su economía, encarecería también el coste para los chinos.

Esto sólo es un ejemplo sencillo de lo que puede suceder como consecuencia de una guerra comercial, de la que no sólo puede resultar el cambio de tamaño de los buques a fletar y por supuesto, el aumento de los niveles de fletes, así como el incremento de los consumos de combustible debido también al más que lógico aumento del cómputo de toneladas-milla en el tráfico marítimo.

Aún con todas las incertidumbres que rodean al desenvolvimiento del comercio y su vertiente marítima, y también con toda la

precaución que inspira el momento presente, exponemos una previsión de utilización de la flota existente para el año 2025:

### Previsión de la utilización de la flota mercante en 2025

	A	B
LNG	14	9
LPG	5	4
Contenedores	6	3
T. Crudo	2	3
T. Productos	6	2
Quimiqueros	4	2
Bulk carriers	3	1
Total, Flota	4	1

Crecimiento de la flota. TPM. [A] %

Distancia ajustada al crecimiento de la demanda [B] %

### Adam Smith. Los mercados y los cuatro nuevos jinetes del apocalipsis

El transporte marítimo y fluvial ha sido el motor de la economía global desde que existieron intercambios, es decir, hace miles de años, y su importancia ha ido creciendo con el paso del tiempo. Por ello ya Adam Smith (“La riqueza de las naciones”) mantenía que la industria de la construcción naval era una de las pocas industrias que requerían un apoyo nacional y no debería ser dejada sola frente a las fuerzas del mercado. Esto representaba una excepción en los planteamientos del mismo fundador de la ciencia económica, pues en general, él reconocía la interacción entre comercio y crecimiento económico, y define como “ventaja absoluta” la que tiene un país capaz de producir un bien utilizando menos factores productivos que otros. O lo que es lo mismo, con un coste de producción menor. Aboga también por favorecer la movilidad internacional de los factores de producción.

Teniendo en cuenta que Adam Smith nació en Escocia en 1723, hay que reconocer que fue un profeta adelantado a su tiempo, y

que sus teorías han sido cimientos para el desarrollo más pormenorizado de las teorías económicas modernas. Sin embargo, en su referencia anterior a una industria como la de construcción naval, Adam Smith reconoce el poder limitado de los mercados y la necesidad de una acción gubernamental complementaria.<sup>1</sup>

La realidad ha corroborado el papel fundamental que los gobiernos han desempeñado y desempeñan en la economía de mercado. Esto puede producir en casos especiales una tremenda distorsión en el funcionamiento del mercado cuando uno o varios gobiernos intervienen de manera superlativa en la protección de un determinado producto, basadas en políticas dirigidas a dominar un mercado o parte de él para expulsar a los competidores. Y esto se puede hacer así, o interponiendo barreras aduaneras a las importaciones del otro.

En el ámbito de la industria de la construcción naval, parece que los propósitos del presidente electo Trump pasan por utilizar los dos sistemas, aranceles y subsidios. En una petición realizada por el sindicato United Steelworkers, se acusa a China de distorsionar el mercado global de la logística marítima y el de la construcción naval por el uso de “prácticas políticas y legislativas irrazonables y discriminatorias”<sup>2</sup>.

La acusación que se presenta tiene el mismo fundamento que la que en la década de los noventa del siglo pasado y con los mismos argumentos presentó EE. UU. en la OCDE referidos Europa, Japón y Corea; pero los tiempos han cambiado y parece que EE. UU. prefiere la acción a la denuncia.

Este asunto, que aparentemente afecta a una industria, tiene, sin embargo, implicaciones mundiales. No afectaría solamente a conflicto comercial de EE.UU. con China,





sino también al acelerado crecimiento de la construcción naval militar china, apuntalado por la masiva industria y capacidad de los astilleros chinos duales, y sus enormes inversiones en las tecnologías correspondientes.

En este escenario hay además que reconocer que la industria de construcción naval civil de los EE. UU. no tiene un papel significativo en el conjunto de la industria de construcción naval en el mundo.

Basta ver unas pocas cifras de hace un año: (Entregas en gt)<sup>3</sup>

China	25,9 Mgt
Corea S	29,24 Mgt
Japón	17,25 Mgt
EE. UU	73.000 gt

No vamos a entrar en generalidades de otros sectores, pero las frases “*America First*” y “*América Great Again*” inducen a recordar la



definición que de los nuevos “Cuatro Jinetes del Apocalipsis” de Blasco Ibáñez, dio hace años la entonces Secretaria de Estado de los EE. UU., Condoleezza Rice: “El populismo, el nativismo o nacionalismo, el aislacionismo y el proteccionismo”.

De todo esto, en mayor o menor grado hemos tenido ejemplos siempre, y destacadamente en la industria de la construcción naval en el mundo, un mundo que ahora se reparten dos con tendencia a ser uno sólo en el caso un producto, el buque, que es la herramienta de la que dependen los intercambios comerciales que podrían hacer a todos “*Great for the First Time*”.

**Hay que recordar que, durante bastante tiempo, la política de competencia comercial de la UE actuó, en cuanto a la industria de construcción naval propia y de manera doctrinaria, en una ensoñación respecto a los competidores extraeuropeos que, montando a la grupa de esos cuatro jinetes, no encontraron más que facilidades para abatir a la industria europea.**

Con este panorama, Europa tiene que despertar del largo sueño en el que ha dormido desde décadas. La industria china ha pasado ya hace tiempo la frontera que separa a un país que apoyó su crecimiento acelerado en la exportación de productos intermedios baratos, a un país que exporta productos terminados.

Esto ha venido coincidiendo con el declinar de la capacidad exportadora de la industria europea, que ahora se tendrá que enfrentar también a las barreras arancelarias a sus exportaciones a EE. UU.

Valga como ejemplo general, que las exportaciones manufactureras<sup>4</sup> de la Eurozona tenían en el año 2000 una cuota de mercado de un 27%, y las de China, un 7%. Del año 2015 al 2020 fueron parejas en aproximadamente

un 18%, y ya en 2023, un 16 y un 22% respectivamente, con tendencias mantenidas, a la baja para la Eurozona, y en alza para China.

### **La construcción naval al final de 2024. Trio → ¿Dueto? → ¿¿Solista??**

El escenario de la industria mundial marítima, parece rutilante en la mayoría de los aspectos, y muy especialmente para los que desde hace unos años podemos llamar “los habituales”. Durante el año que termina se registra una cantidad masiva de entregas de nuevos buques. La mayoría de los astilleros orientales presentan carteras de pedidos que les garantizan entregas incluso en 2027.

Sin embargo, el maná no es igual para todos en China; hay un grupo de 170 astilleros<sup>5</sup> que en conjunto poseen una capacidad estimada del 27% de la capacidad global, que solamente tienen un 5% de la cartera de pedidos mundial, y que durante 2024 y 2025 que esperan sólo utilizar entre al 23 y el 27 % de su capacidad real. En cambio, el grupo de astilleros dominantes o de primera línea van a tener su capacidad plenamente en uso hasta el año 2027.

En todo caso parece razonable hacer una consideración respecto a ese “segundo grupo” al que nos hemos referido con carteras de pedidos no tan largas. Muchos de ellos reciben pedidos de armadores o entidades que trabaja en caladeros de mercado (me resisto a usar la palabra “nichos” por su significación mortuoria) en los que la mayoría de los buques pertenecen a los que, según la denominación generalmente admitida, (OCDE), se llaman “buques no de carga”.

Este es actualmente el segmento de buques en el que los astilleros españoles privados se suelen desenvolver, y en algunos casos con notable éxito.

Hecha esta aclaración, hay que decir que el grupo de astilleros (130) que dominan el mercado global, y que podíamos llamar “primer grupo”, poseen el 73 % de la capacidad de construcción mundial y un 95 % de los contratos, mayoritariamente buques con una mayor demanda, lo que ha favorecido mucho la subida de los precios, cosa que evidentemente no está sucediendo en el caso de los astilleros del llamado segundo grupo; aunque también resulta lícito decir que, en este caso, la demanda es más rígida y estable, y aguantarán mejor los ciclos producidos por sobrecapacidad de oferta.

También hay que decir, que la mayoría de los armadores que contratan en los astilleros del segundo grupo, y es el caso de nuestro país, han ido adquiriendo una cierta confianza en los astilleros con los que

contratan, una especie de fidelización, que también es “medible” en el coste para el armador y que puede disuadir a éste a contratar aquí y no fuera de Europa. Como siempre, hasta cierto punto, y en un escenario en el que la cadena de valor de los suministros no este demasiado colonizada por fabricantes, digamos, chinos.

La construcción naval china es la que acumula más contratos, 24 millones de cgt que suponen el 42 % de la capacidad mundial disponible, que disponen un índice de cobertura de<sup>6</sup> más de cuatro años.

En el caso de Corea del Sur, el primer grupo de astilleros controlan el 22 % de la capacidad mundial con 13 millones de cgt, con un índice de cobertura de tres años, mientras que Japón, estas cifras son 17 % y





10 millones de cgt. Su índice de cobertura es ahora de dos años.

Como se puede apreciar, la industria china va ganando terreno a la coreana, y no muestra intenciones de moderar su capacidad, con al menos por el momento dos astilleros más entrando de nuevo en el mercado con un contrato de 20 portacontenedores de entre 10.300 y 11.500 teu, con propulsión GNL dual para MSC (que rompe su acuerdo de reparto con Maersk a final de este año).

La misma MSC también ha firmado contratos para 10 buques de 21.000, igualmente de propulsión dual, para el astillero Jiangsu Hantong, que estrena nuevo dique, para entregas en 2027 y 2028 mientras se rumorean otros contratos suyos en astilleros también chinos para dominar el tráfico a medio plazo entre ambas orillas del Pacífico.

Vamos viendo que el trio se fue convirtiendo en un dúo y que pronto tendremos en el escenario, a su solista.

### Algunas cifras ilustrativas sobre el estado mundial del arte

El conjunto de los astilleros chinos que hemos llamado primer grupo, o primera fila son 70 del total de 140 de los astilleros de China, pero su capacidad anual, estimada en 79 millones de cgt estará operando a pleno rendimiento hasta finales del año 2027, mientras los otros astilleros restantes, y de acuerdo con las cifras actuales de cartera y su capacidad, se encuentran en 2024 utilizando aproximadamente el 72 % de su capacidad anual. Esta utilización se reducirá hasta un 26 % en 2025.

En el caso del segundo país constructor mundial, Corea del Sur, parece que sus asti-

lleros estarán funcionando al casi 100 % de su capacidad en 2024 y 2025, pero cayendo a un 85 % en 2026 y a 64 % durante 2027.

Esta es más o menos la “foto fija” de la industria de la construcción naval china cuando se han consumido tres cuartas partes del año que estamos a punto de terminar, y, debido al elevado número de incógnitas que se abren en el tránsito entre 2024 y 2025, y a las que nos hemos referido al principio, se pueden llegar a producir variaciones significativas en el tráfico marítimo.

Algunos segmentos de este tráfico presentarán más debilidad que otros; por ejemplo, el crudo, los graneles secos e incluso el gas natural licuado, teniendo en cuenta que China acumula importantes reservas de ellos y estos productos representan en volumen una gran parte de las importaciones marítima de dicho país.

Vemos a continuación<sup>7</sup> las cuotas de transporte marítimo en las importaciones y exportaciones chinas en los productos que se citan:

	Importación	Exportación
Graneles secos	39 %	4 %
Contenedores	6 %	18 %
Petróleo crudo	26 %	0 %
Productos petr.	4 %	4 %
Productos quim.	16 %	15 %
Gas licuado	19 %	0,4 %

No conviene olvidar que prácticamente todas las predicciones hechas para el conjunto de la economía mundial, y en especial para los países o grupos de países más representativos son pesimistas en lo que se refiere a la evolución de sus productos interiores brutos en los dos próximos años. No negativas, pero sí en desaceleración.

Tabla 0. Indicadores económicos

Países	PIB 12 ult meses	PIB 2024 %	Población	Ppto % PIB	Deuda % PIB	IPC.Est. 2024	Desempleo	Tasa Interés	Divisa/ \$	H Trab/ % PIB	R+D / % PIB	Salario/ mes	CO <sub>2</sub> / cápita	Defensa % PIB
España	3,1	2,7	48,8	-3,2	106,3	3	11,3	3	1,1	1.695	1,4	2.064	4,3	1,5
Eurozona	0,6	0,8	448,4	-3,1	88,7	2,4	6,4	2,3	1,1	1.513	2,1	1.093	5,4	1,2
Francia	1	1,2	68,4	-6,1	111,6	2,5	7,5	3,3	1,1	1.402	2,2	3.137	4	1,9
Alemania	0	0,1	84,7	-1,6	63,7	2,4	3,5	2,3	1,1	1.322	3,1	4.094	7,3	1,4
Italia	0,6	0,6	56	-4,4	139,2	1,2	6,2	3,5	1,1	1.657	1,4	2.233	4,7	1,7
Irlanda	0,5	1,7	5,3	-2,7	41,2	3,3	4,2	4	1,1	1.772	1,1	3.241	6,8	0,2
Noruega	4,2	1	5,7	12,3	38	2,2	4	3,6	11	1.424	2,1	5.847	6,7	1,6
Polonia	3,2	3,2	37,9	-5,7	55,1	3,8	5	5,8	4,4	2.023	1,5	2.430	7,4	2,4
R. Unido	0,7	1,1	69,5	-4	104,3	2,9	4	4,2	0,77	1.676	2,9	5.460	4,6	2,2
Rusia	4,1	3,6	143,4	-1,2	20,8	7,5	2,9	16	96,4	1.874	nd	1.400	12,1	4,1
EE. UU.	3	2,7	341,4	-7,3	123,3	3	4,1	4,2	1	1.783	3,4	3.600	13	3,5
China	4,6	4,7	1.425,5	-4,4	88,6	0,5	5,1	1,8	7,13	2.174	2,4	1.820	7,8	1,6
Japón	-1	0,2	126	-4,7	254,6	2,6	2,5	1	153	1.712	3,3	2.808	8	1,1
India	6,7	6,9	1.435,20	-4,9	82,5	4,7	7,8	6,8	84,1	2.117	nd	1.454	1,6	2,4
Corea Sur	1,7	2,5	51,5	-1,8	56,6	2,5	2,1	3,1	1.382	2.113	4,9	3.122	11	2,7

oct-24

NOTAS: PIB 24: estimación. IPC: estimación. Desempleo: mes citado. Divisa: mes citado. Horas: 2023. RD: 2022

PIB: cambio en 12 últimos meses. Defensa: gastos anuales % PIB. Mundo, defensa 2,3 PIB

Tasa int.: Bonos gobierno a 10 años. Desempleo: % población activa. España no incluye parte Prop. Fijos discontinuos

CO<sub>2</sub> MUNDO: 4,6, 2022. 2023: 35,8 gt

Fuentes: The economist, banco Mundial, OCDE STI

## Indicadores Marítimos

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Flota Mundial. 1.000 Mtpm	1.747	1.806	1.862	1.964	2.058	2.016	2.116	2.200	2.309	2.424*
Tamaño medio en TPMx1.000		36	37	37	37	38	39	39	39	40*
Cartera mundial NC % Flota	17	17	11	10.3	8.8	10	10.8	10	12	12*
Tráf mar. Mund. Mt-milla	51.113	52.775	53.361	56.996	57.399	56.993	58.365	59.055	65.358	75.027*
Traf. Mar. Mundial Mt	10.023	10.295	10.716	11.019	11.071	10.648	11.063	12.119	12.410	12.800*
Cartera Mundial NC. Mcgt	110	89	83	85	82	8	24	120.9	126	144
Entregas NNCC en Mcgt	39	37	35	33	35	30	45.3	34.2	35	36*
Peroleo Brent \$/barril	36,7	55,2	68,7	62,7	69,3	83,5	77,8	84,86	82,4	73
Comb Ifo-380 \$/t (Rott)	162	213	370	367	251	450	458	418	449	595
Comb MGO/VLSFO \$/t	335	383	593	544	567/502	687/580	697	535	640/582	659/524
Metanol \$/t Verde/gris									1.300/1.000**	
LNG \$/MMBTU. H.Hub	1.93	3	3.12	2.73	2.33	5.08	5.05	3	6	2
Acero plancha. \$/t (Ch)	420	460	580	600	580	850	750	905	900	650
PIB Mundial 2024* M\$	74,954	76,153	80,823	85,883	87,390	84,971	94,935	103,860	105,568	109,263
Emissiones CO <sub>2</sub> % Total mund.					2,3	2,2	2,5	3	2,3	2,3

oct 24

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

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

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

(\*) Estimación 2024 Fechas: Se entiende fin de año o de mes

(\*\*) Estimación de Drewry para 2026, incluyendo certificados



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

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>PETROLEROS</b>						
VVLCC (300.000 tpm)	92	86	109	121	124	129
Suezmax (150.000 tpm)	61	56	76	84	82	89
Aframax (110.000 tpm)	48	47	61	64	66	74
Panamax (70.000 tpm)	45	41	36	42,5	54	55
Handy (47.000 tpm)	36	34	33	33	52	51
<b>GRANELEROS</b>						
Capesize (170.000 tpm)	50	46,5	60	61	67	76
Kamsarmax* (82.000 tpm)	27	26	33	34	38	37
Handymax (60.000 tpm)	25	24	30	31	35	34
Handy (35.000 tpm)	23	23	28	28	32	30
<b>PORTACONTENEDORES</b>						
1.000 teu	19	18,5	18,5	16,7	23	24
3.500 teu	40	40	50	32	27	29
6.700 teu**	72	72	72	66	42	44
8.800 teu***	89	88	95	81	86	128
13.000 teu****	109	108	140	112	126	160
20.000 teu	145	144	182	150	190/240**	242
<b>GASEROS</b>						
LNG 174.000 m <sup>3</sup> *)	186	186	208	260	260	264
LPG 82.000 m <sup>3</sup>	71	71	82	76	69	124 #
<b>CAR CARRIER</b>						
3.500-4.000 / 6.500 ceu	59	59	67	68,5	68,5	68,5
2.300-1.700	48	47,6				
<b>MULTIPROPÓSITO</b>						
17.200 tpm	25	21,5	21,5	22	22	22

# Propulsión: amoniaco

LNG: antes 160.000 m<sup>3</sup>. (Antes 20.000 teu)

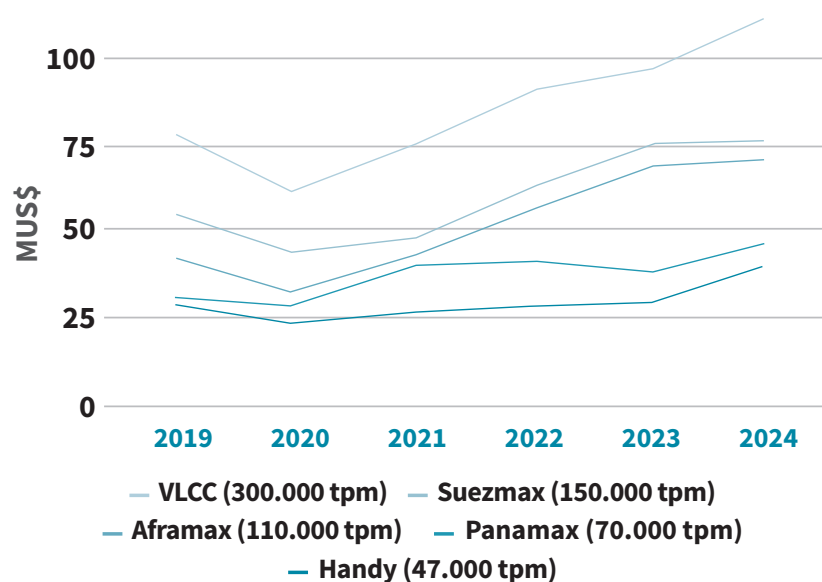
(\*) Antes 70.000 (\*\*) Antes 6200. (\*\*\*) Antes 8000. (\*\*\*\*) Antes 12000. Fuente: ATHREP, Baltic Exchange. Clarkson. OCDE, ITF

LPG #: LPG/amoniaco

oct-24

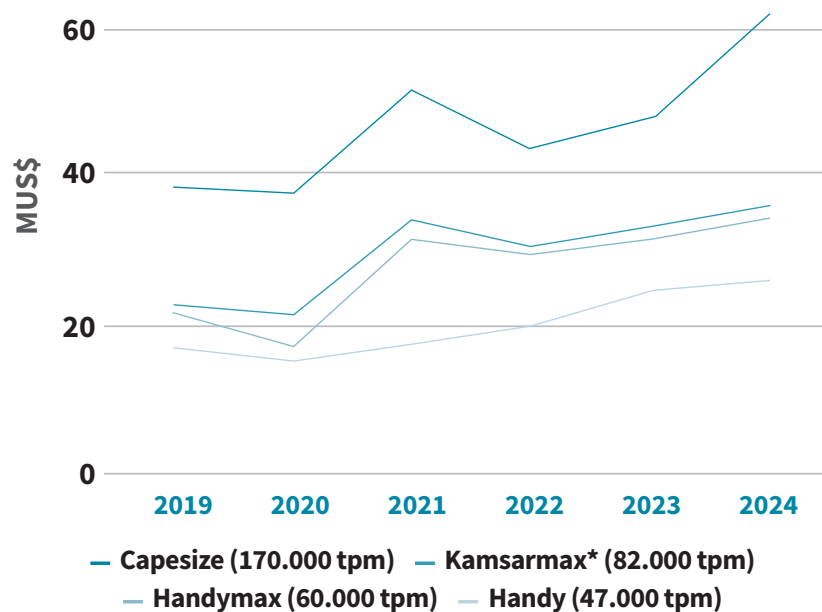
Fearnleys O. Report, Athenian R 11/2022. R 09/24 (\*\*) Metanol





**figura 1a.**  
**Precios petroleros segunda mano**

Fuente: ATHREP, Baltic EXchange, Fearnleys, Clarkson, OCDE, ITF. sept-24



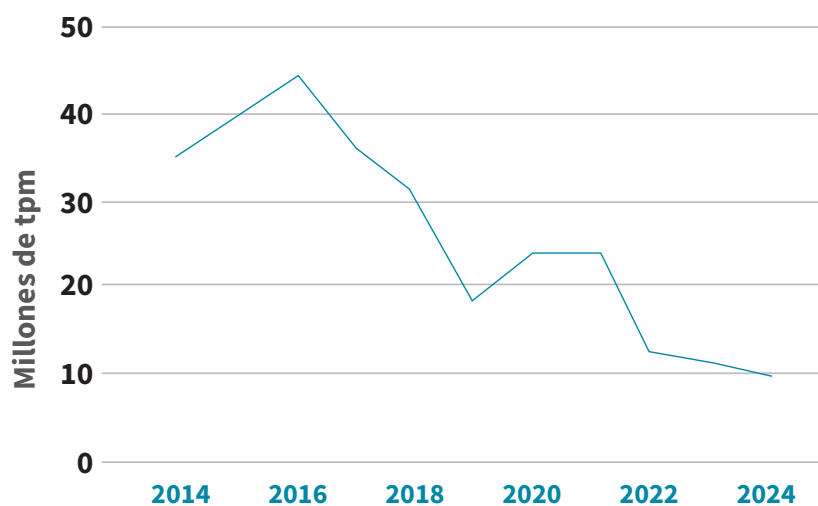
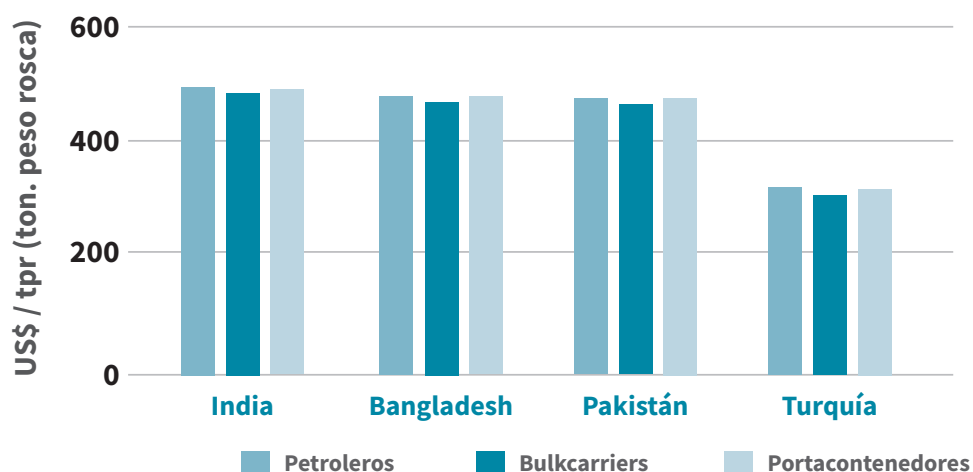
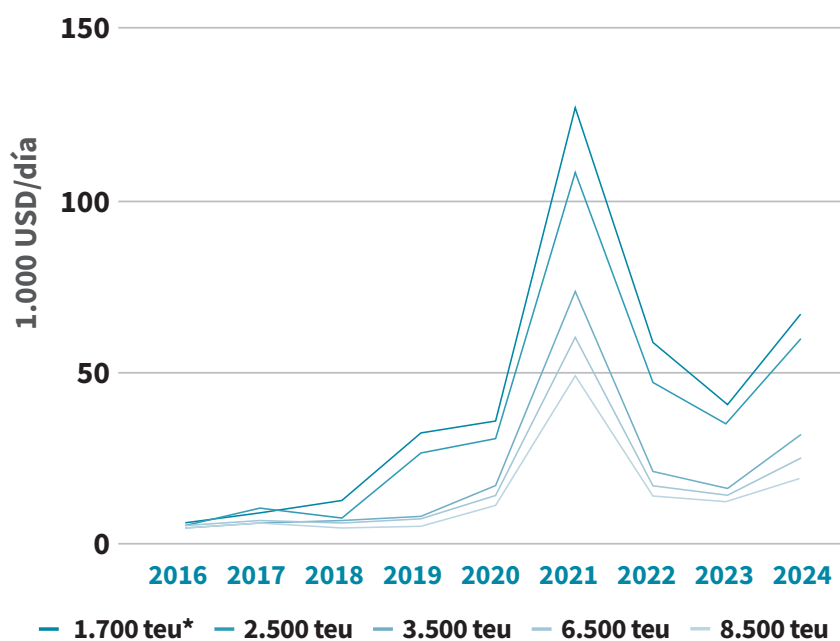
**figura 1b.**  
**Precios graneleros segunda mano**

Fuente: ATHREP, Baltic EXchange, Fearnleys, Clarkson, OCDE, ITF. sept-24

**figura 1c. Mercado de compra/venta de buques.** Fuente: Athenian SB. sept-24

Mes	ene	feb	mar	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	Total
PPetroleros	30	29	23	21	19	26	23	18	25	214
Graneleros	46	65	61	52	53	40	37	41	41	436
Gaseros	4	2	2	6	2	10	7	14	5	52
Contenedores	5	9	8	15	12	8	4	6	15	82
Multipropósitos	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Frigo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RoRo	2	8	7	3	5	0	3	1	2	31
Ferry	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
Cruceros	2	1	0	2	0	0	0	0	0	5
<b>Totales</b>	<b>89</b>	<b>115</b>	<b>101</b>	<b>99</b>	<b>93</b>	<b>84</b>	<b>74</b>	<b>80</b>	<b>88</b>	<b>741</b>

NOTA: Cifras, n.º buques al final de cada mes. Se excluyen ventas por desguace. Fuentes: Athenian SB



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

Tipo	1 / 2 Año		1 Año		2 Años	
	Atlant	Pacific	Atlant	Pacific	Atlan	Pacific
Capesize	26	29	24	27	24	25
Pan/kmax	16	13,7	14,2	14	14,5	14,5
Sup/Ultra max	16,5	16,2	15,5	16,5	15	15
Handy	14	14,2	13	14,5	12	13,3
Fin septiembre 2024						
Capesize	21	21	22	22	22	22
Pan/kmax	15,8	13,7	14	13,5	14,2	14,2
Sup/Ultramax	16	17,5	15,7	1.713,2	15	15,7
Handy	13	14,5	13	14,5	12,2	13
Med octubre 2024						

Fuentes: Alibra SL, At. Sbrokers, Elab Propia

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

Tipo	Spot	1 Año	3 Años	5 Años
VLCC	30	45	52,5	50
Smax	37	42	44,5	42,5
Aframax	21	39	42,5	37,5
LR 2		39,5	42,5	38,5
LR1		35	33	31
MR IMO 3		25	25,9	25,5
Handy		23,5	24	22
Fin septiembre 2024				
VLCC	32	42,5	52,5	50
Smax	34	41,5	43,5	41,5
Aframax	20	37,5	42	37,5
LR 2		37,5	33	38,5
LR 1		31	31	31
MR IMO 3		25,5	25,9	24
Handy		24,5	23,5	22
Med octubre 2024				

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

Fletes buques gaseros

Año 2024 abril	2021	2022	2023	2024
LLPG 82.000 spot. Butano Mar del Norte. US\$/t	426	557	500*	563
LNG 160.000. Spot Oeste Suez. 1.000 US\$/día	150	200	95	10
LNG 160.000 TC 1 Año. 1.000 US\$/día	47	184	67.5	30

Fuente: Fearnleys. (\*) Butano. Fines de año o del mes indicado

Bibliografía

- [1] Fuente: J. E. Stiglitz. Capitalismo progresista.
- [2] Fuente: Financial Times, 03/24
- [3] Fuente: UNCTAD.
- [4] Fuente: Trade data monitor (excluyen energía y productos energéticos), 2023
- [5] Fuente: Danish Shipfinance DSF
- [6] Índice de cobertura = Cartera de pedidos / Capacidad
- [7] Fuente: DSF, Clarksons, Nat. Bureau Stat, chino, S& Global, Vortexa

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



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

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

## 7. EQUIPOS DE CUBIERTA

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

## 8. ESTABILIZACIÓN, GOBIERNO Y MANIOBRA

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

## 9. EQUIPAMIENTO Y HABILITACIÓN

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

## 10. PESCA

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

## 11. EQUIPOS PARA ASTILLEROS

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

## 12. EMPRESAS DE INGENIERÍA Y SERVICIOS

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

## 13. ASTILLEROS

## 1. ESTRUCTURA DEL CASCO

### 1.3 Cierres estructurales del casco



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

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

Sevilla • Vigo • Algeciras • Barcelona

sp@spconsulto.com

www.spconsulto.com

## 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

### 2.7 Líneas de ejes



#### Masson Marine Ibérica

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

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

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

info@masson-marine.es

www.masson-marine.com

## VULKAN COUPLINGS

#### VULKAN Española S.A.

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

Avda. Montes de Oca 19 - Nave 7

E-28703 San Sebastián de los Reyes  
Madrid - España

T +34 913590971 | F +34 913453182

vulkan@vulkan.es

www.vulkan.com

## 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



Inserte  
aquí su  
**publicidad**

## 2.13 Componentes de motores



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

c/ García Camba, 6 • Oficina 403

36001 Pontevedra

Telf + 34 692 549 549

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

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



Inserte  
aquí su  
**publicidad**



**VULKAN  
COUPLINGS**

### **VULKAN Española S.A.**

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

Avda. Montes de Oca 19 – Nave 7

E-28703 San Sebastián de los Reyes  
Madrid - España

T +34 913590971 | F +34 913453182

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

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



### **Molinetes. Chigres. Cabrestantes.**

Avda. Cataluña, 35-37

bloque 4, 1º Izquierda

50014 Zaragoza (España)

Tel.: 976 29 80 39 / 82 59

Fax: 976 29 21 34

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



Inserte aquí su  
**publicidad**



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

#### **GRAN STOCK PERMANENTE**

Parque Empresarial de Coirós

Parcela 10

15316 COIRÓS (A Coruña)

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

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

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

## 7.4 Equipos de salvamento (botes, pescantes, balsas salvavidas)



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

Avda. Cataluña, 35-37

bloque 4, 1º Izquierda

50014 Zaragoza (España)

Tel.: 976 29 80 39 / 82 59

Fax: 976 29 21 34

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

## 8. ESTABILIZACIÓN, GOBIERNO Y MANIOBRA

### 8.1 Sistemas de estabilización y corrección del trimado



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

Campo Volantín, 24 - 3º • 48007 BILBAO

Tel.: 94 413 26 60

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

## 8.2 Timón, Servomotor



### Servotimones.

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

## 8.3 Hélices transversales de maniobra



### Hélices de maniobra.

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

## 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>

## 9.5 Recubrimientos, pintura. Tratamiento de superficies



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

Polígono Santa Rita  
C/. Estática, 3  
08755 CASTELLBISBAL Barcelona  
Tel.: 93 771 18 00 - Fax: 93 771 18 01  
E-mail: iberica@jotum.es

## 9.6 Protección catódica



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

**Maquinaria de pesca NOSFOR.**  
Rúa Tomada, 74 Navia  
36212 Vigo (PONTEVEDRA)  
Tel.: 986 24 03 37  
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: fcarceller@carceller.com  
[www.carceller.com](http://www.carceller.com)



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

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



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

Edificio Pyomar Torre 2,  
Avda. Pio XII, 44. Bajo Izda  
28016 Madrid  
Tels.: +34 91 345 97 30  
INFO@TSISL.ES  
WWW.TSISL.ES



Inserte  
aquí su  
publicidad





#### INGENIERÍA NAVAL Y OFFSHORE

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

c/ BOLIVIA, 5 • 28016 MADRID

Tel.: +34 91 458 51 19

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

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

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



**GESTENAVAL**  
NAVAL ARCHITECTS & SURVEYORS

Design, Engineering, Stability Books,  
Surveys, Expert Reports, Appraisals.  
Forensic Naval Architecture  
RCD CE Marking Inspectors.  
Small Commercial Vessels Examiners.  
Ships Tow Studies

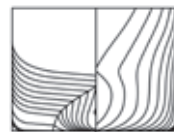
Méndez Núñez, 35 -1º  
36600 Villagarcía de Arosa

Phone: +34 986508436

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

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

## 12.2 Clasificación y certificación



#### ORP MARÍTIMA S.L.

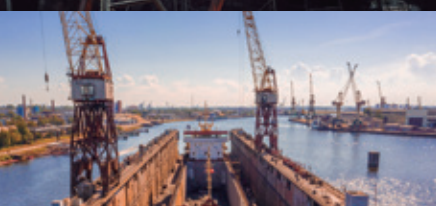
Informes técnicos periciales  
Naval, Marítimo, Industrial,  
Energía, Transporte.  
Asistencia en procesos judiciales,  
arbitrales y de mediación.  
Nacional e internacional.

Calle Écija 7, Madrid.

Tf. +34 661 83 00 89

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

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



# Programa Editorial 2025

## Editorial Program

### ENERO • JANUARY

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

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

### FEBRERO | FEBRUARY

Reparaciones y transformaciones. Astilleros de reparación.

Pinturas y protección de superficies.

Repairs & Conversions. Repair yards. Paint and surface protection

### MARZO • MARCH

Pesca. Acuicultura. Política pesquera

Fishing. Aquaculture. Fishing legislation

### ABRIL | APRIL

Seguridad marítima. Flota de remolcadores. LNG.

Maritime Security & Safety. Tugboats fleet. LNG.

### MAYO • MAY

Industria auxiliar. Gobierno y maniobra

Auxiliary industry. Steering and manoeuvre

### JUNIO | JUNE

Construcción naval. Tendencias

Shipbuilding. Trends

### JULIO-AGOSTO • JULY-AUGUST

Ingeniería. Formación. Sociedades de clasificación

Engineering. Training. Classification societies

### SEPTIEMBRE • SEPTEMBER

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

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

### OCTUBRE | OCTOBER

Sector naval militar. Electrónica y Automatización

Naval sector. Electronics and Automation

### NOVIEMBRE • NOVEMBER

Offshore • Offshore

### DICIEMBRE | DECEMBER

Energías renovables y Medio ambiente Resumen del Sector Marítimo 2025

Renewable energy and environment

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

Artículos técnicos • Technical articles

Descripciones de buques • Ship descriptions

Noticias nacionales e internacionales • International and national news

Artículos sobre legislación, economía, fiscalidad y normativa

Articles above legislation, economy, taxes and regulations



INGENIERÍA  
naval

REVISTA DEL SECTOR MARÍTIMO

sectormaritimo.es

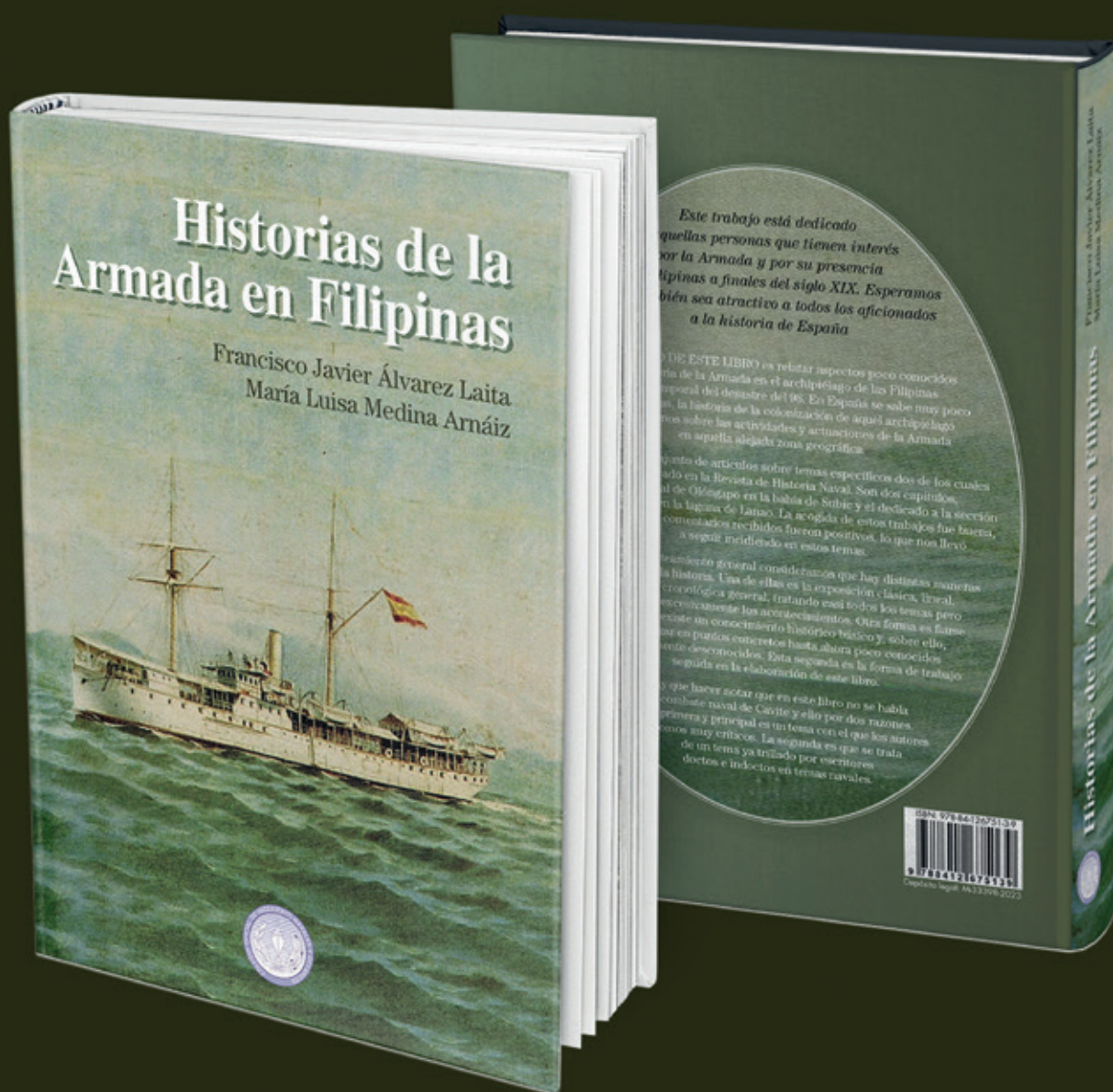


Suscríbete ya en  
**www.sectormaritimo.es**





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



FONDO EDITORIAL DE INGENIERIA NAVAL  
COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS NAVALES Y OCEANICOS