

63rd International Congress of Naval Architecture, Marine Technology and Maritime Industry

Madrid, 24th-26th April, 2024



TRANSFORMING
OCEANS:
INNOVATION and naval architecture for
a CONNECTED and SUSTAINABLE world



I SIMPOSIO INTERNACIONAL DE BUQUES HISTÓRICOS

24 Y 25 DE ABRIL DE 2024

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES - MADRID

ORGANIZA: COMISIÓN DE BUQUES HISTÓRICOS



ASOCIACIÓN DE INGENIEROS
NAVALES Y OCEÁNICOS DE ESPAÑA

WWW.INGENIEROSNAVALES.COM

Redacción

Nº 1031 · FEBRERO · 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

revista@sectormaritimo.es

ADMINISTRACIÓN

Noemí Cezón López

DIRECCIÓN

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

DISEÑO Y MAQUETACIÓN

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

IMPRESIÓN

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

SUSCRIPCIÓN ANUAL

SUBSCRIPTION FEE (2024):

Electrónica general 80,00 €
Electrónica estudiantes 40,00 €
Papel + electrónica 100,00 €
(sólo España)



NOTAS:

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

CONSEJO TÉCNICO ASESOR

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

AÑO XCIII • N.º 1031
febrero 2024
Publicación mensual
ISSN: 0020-1073
Depósito Legal: M 51 - 1958
REVISTA DEL SECTOR MARÍTIMO

90.

artículo técnico

“IMO regulation applied to the control of emissions on ships”, por R. Villa Caro y J. M. Pernas Urrutia

“State of the art of nuclear propulsion - Ulstein Thor”, por J. J. García Agis



113.

reparaciones y transformaciones

121.

conectados

126.

actualidad

132.

coyuntura del sector naval

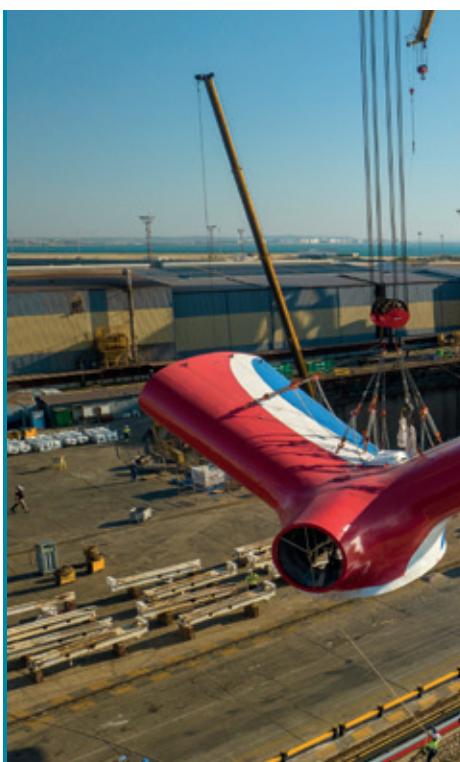
“El agua y su problemática ineludible”, por J-E. Pérez García



147.

tribuna

“El nacimiento del Astillero del Arsenal de Ferrol. (II parte)”, por José M. de Juan-García Aguado



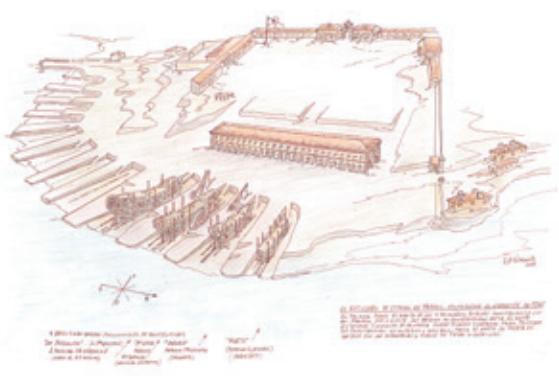
161.

guía de empresas

145

tribuna

El nacimiento del Astillero del Arsenal de Ferrol



123 conectados

Mesa redonda:
“Atracción de Talento
en la Ingeniería Naval”



121 conectados

Nueva reunión del Alto
Consejo Consultivo de la
Asociación de Ingenieros
Navales y Oceánicos
de España



113 reparaciones y transformaciones

Navantia Reparaciones cerró 2023
con casi un centenar de buques
comerciales reparados



Editorial

Captar y retener talento

Hay escasez de profesionales en todos los niveles del sector naval y de la industria marítima. A nosotros nos toca, directamente, la escasez de ingenieros navales y oceánicos. Un futuro que presenta grandes desafíos, ya que: no habrá un relevo suficiente, pues se está reduciendo el número de estudiantes. Dos hechos: el bajo porcentaje de estudiantes universitarios que deciden estudiar una ingeniería y aquellos que habiendo cursado el grado no continúan sus estudios de máster. Existen otros, como la fuga a otros sectores, debido a la gran polivalencia del ingeniero naval y oceánico, o la fuga al extranjero.

Y no es que el resto del mundo esté en mejor situación. Como ejemplos: recientemente, varios medios de comunicación especializados se hacían eco del retraso en la entrega de la primera de las fragatas clase Constellation de la US Navy debido, entre otros factores, a la dificultad para contratar más trabajadores en áreas claves; Francia, por su parte, ha lanzado desde su Secretaría del Mar la campaña “La mar contrata”, con el fin de dar a conocer y promover la diversidad de la formación y las profesiones en la mar.

En la clausura del 62 Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima, anunciábamos la puesta en marcha de un plan “disruptivo y ambicioso” para acercar a los más jóvenes a la ingeniería. Un plan que encabeza el “Informe de Situación de la Ingeniería Naval en España”, elaborado por un grupo de trabajo formado por empresarios, Universidades y Administración. Próximamente, daremos más detalles de este Informe. De momento, entre las páginas de este número, encontraréis, las primeras acciones llevadas a cabo por la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España y por el Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos: la reunión del Alto Consejo Consultivo y la celebración de la Mesa redonda “Atracción De Talento En La Ingeniería Naval”.

Debemos trabajar todos juntos para comunicar el valor social de nuestra actividad, del sector marítimo en general y de la ingeniería naval en particular. Asimismo, acercarnos a las nuevas generaciones para fomentar nuevas vocaciones, potenciar los mecanismos con las Universidades y especialmente con la Administración.

“Nuestra aspiración: duplicar el número de nuevos ingenieros navales en los próximos 5 años”.

IMO regulation applied to the control of emissions on ships



RAÚL VILLA CARO, Dr. I. N.



JULIO MANUEL PERNAS URRUTIA,
Dr. I. N.

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

INDEX

- 1. Introduction**
- 2. MARPOL 73/78**
- 3. MARPOL applied to emission control**
- 4. MARPOL applied to NO_x control**
- 5. MARPOL applied to SO_x control**
- 6. NO_x emission control systems**
- 7. SO_x emission control systems**
- 8. Conclusions**
- 9. References**

ABSTRACT

The 1973 international convention for the prevention of pollution from ships (MARPOL) is concerned with preserving the marine environment by preventing pollution. Regarding the application of Annex VI on the control of pollutant emissions into the atmosphere, SO_x emissions are generally controlled by limiting the sulphur content in fuel. Regarding the control of NO_x emissions, a scope of application is established for marine diesel engines with power greater than 130 kW (except emergency engines), based on Tier I, II and III emission levels. To reduce the level of NO_x emissions to Tier III, mandatory in ECA zones ("Emission Control Areas"), in addition to the combustion optimization processes corresponding to the Tier II level, the help of other technologies is required. This article tries to expose the problem of compliance with Annex VI (air pollution) in ships, reviewing the applicable regulations and the state of the art related to emission control technologies.

1. INTRODUCTION

The fight against climate change and environmental pollution have become a top-level social demand. In the particular case of ships, the shipping companies and owners of many countries around the world are reinforced with the development of operations for the transport of goods

and people in a manner that respects the conservation of the environment and the fight against pollution, both sea and atmospheric.

Within the regulations of the IMO (“International Maritime Organization”), the MARPOL Convention of 1973 deals with preserving the marine environment by preventing pollution by oil and other harmful substances and minimizing the accidental discharge of said substances. Its technical content is presented in annexes that cover pollution of the sea by hydrocarbons, by harmful liquid substances in bulk, by harmful packaged substances, by wastewater from ships, by garbage from ships, in addition to covering air pollution [1].

In the specific case of Annex VI, related to the control of emissions into the atmosphere, a series of rules related to the different types of pollutants emitted by ships are included, differentiating between ODS (“Ozone Depleting Substances”), nitrogen oxides (NO_x), sulphur oxides (SO_x), PM (“Particulate Material”), VOC (“Volatile Organic Compounds”) and products related to the incineration of substances on board.

This article exposes the problem of compliance with Annex VI, related to air pollution from ships, reviewing all the regulations applicable to emission control, as well as the state of the art related to emission control technologies currently available.

2. MARPOL 73/78

The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) of 1973 deals with preserving the marine environment by preventing pollution by oil and other harmful substances and minimizing the accidental discharge of such substances. Its technical content is presented in six (6) annexes, of which the first five

have been adopted by the 1973 Protocol, modified by a 1978 Protocol (MARPOL 73/78). These annexes cover pollution of the sea by hydrocarbons, by harmful liquid substances in bulk, by harmful packaged substances, by wastewater from ships, by garbage from ships, in addition to covering air pollution [2].

Although the MARPOL Convention was adopted on November 2, 1973, the 1978 Protocol was adopted in response to the large number of tanker accidents that occurred between 1976 and 1977. As the 1973 MARPOL Convention had not yet entered into force, the 1978 Protocol absorbed the original Convention. The new Convention entered into force on October 2, 1983. In 1997, a Protocol to amend the Convention was adopted and a new Annex VI was added, which entered into force on May 19, 2005. Over the years, the MARPOL Convention has undergone numerous updates through the incorporation of numerous amendments.

The MARPOL Convention contains rules aimed at preventing and minimizing pollution caused by ships, both accidental and in regular operations. In most of the annexes there are special areas where strict controls are carried out with respect to operational discharges.

The MARPOL Convention is mandatory for any ship flying the flag of any of its States Parties. On the other hand, it does not derogate the sovereign rights of the States Parties to the Convention over their waters.

The annexes included in the current MARPOL Convention are listed below [2]:

- Annex I: Rules to prevent pollution by hydrocarbons (entry into force: October 2, 1983).
- Annex II: Rules to prevent contamination by noxious liquid substances transported in bulk (entry into force: October 2, 1983).



Figure 1.1. Container ship
(source: IAN TAYLOR – UNSPLASH)

- Annex III: Rules to prevent contamination by harmful substances transported by sea in packages (entry into force: July 1, 1992).
- Annex IV: Rules to prevent pollution by sewage from ships (entry into force: September 27, 2003).
- Annex V: Rules to prevent pollution caused by garbage from ships (entry into force: December 31, 1988).
- Annex VI: Rules to prevent air pollution caused by ships (entry into force: May 19, 2005).

Regarding the control of emissions into the atmosphere, Annex VI establishes the limits of SO_x and NO_x emissions from ship exhaust, while deliberate emissions of ODS and VOC substances are prohibited. For the ECA “Emission Control Area” zones and, more specifically, the SECA zones (“Sulphur Emission Control Area”) and NECA zones (“Nitrogen Emission Control Area”), stricter standards are established in relation to the emission of SO_x , NO_x and PM. As of 2011, mandatory technical and operational energy efficiency measures are established aimed at reducing greenhouse gas emissions from ships.

3. MARPOL APPLIED TO EMISSIONS CONTROL

Unlike pollution from oil spills, harmful substances in bulk, etc., air pollution from ships causes a cumulative effect that originates general air quality problems, mainly in coastal towns. Annex VI limits the main atmospheric pollutants contained in the exhaust gases of ships’ internal combustion engines, mainly SO_x and NO_x , prohibits the deliberate emission of ODS, regulates the incineration of products on board and VOC emissions.

After the entry into force of Annex VI on May 19, 2005, resolution MEPC.129(53) of July 22, 2005, agrees to review said annex and the NTC (“NOX Technical Code”). As a consequence of this, the amendments MEPC.176(58) and MEPC.177(58) of October 10, 2008, revised both Annex VI and the NTC of 1997 respectively, revisions that entered into force on July 1, 2010 [3], [4], [5].

In general terms, the main changes introduced in Annex VI by resolutions MEPC.176(58) and MEPC.177(58) have been

the progressive reduction of SO_x and NO_x emissions worldwide and the introduction of ECA zones in order to further reduce the emissions of those air pollutants in those selected maritime areas. In addition, it is the first time that particulate matter (PM) emissions are addressed.

Regarding the issue of the types of pollutants emitted into the atmosphere, Annex VI includes the following rules related to the types of polluting substances emitted by ships into the atmosphere [1]:

- Rule 12.- ODS, its deliberate emission is prohibited. Facilities containing ozone-depleting substances on ships built or equipment delivered after April 19, 2005 are prohibited.
- Rule 13.- NO_x, applicable to any marine diesel engine with output power greater than 130 kW (except emergency engines). Three (3) Tier levels are defined.
- Rule 14.- SO_x and PM, defines the maximum sulphur content allowed in fuel.
- Rule 15.- VOC, exclusive applicability to tankers and gas carriers when the cargo loading and containment systems are of a type that allows safe retention on board of VOC that do not contain methane or their safe return to earth.
- Rule 16.- Incineration on board. It defines the operating limits of incinerators, as well as the substances prohibited for incineration.

Regarding Rule 12 of Annex VI, the main ODS include chlorofluorocarbons and halons used, respectively, in refrigeration systems and fixed fire-fighting equipment on board old ships. Hydrochlorofluorocarbons were introduced as an intermediate replacement for chlorofluorocarbons, but are still classified as ozone depleting agents.

On a global scale, the production and use of ODS is being phased out under the provisions

of the 1987 Montreal Protocol, within the Vienna Convention for the protection of the ozone layer.

Regarding Rule 15 of Annex VI, it only applies to oil and gas tankers if they are equipped with loading and containment systems that allow the safe retention of non-methane VOC substances on board or their safe shipment to land.

In relation to the previous paragraph, the control of VOC substances must be carried out by means of VECS ("Vapor Emission Control System") equipment that comply with the circular MSC/Circ.585 of April 16, 1992 [6].

In addition, ships affected by Rule 15 must have a VOC Management Plan approved and implemented on board according to resolution MEPC.185(59) of July 17, 2009 [7].

In relation to Rule 16 of Annex VI, the applicability of the requirements is divided between ships in general and therefore potentially applicable to all ships and ships built on or after 1 January 2000 or incinerators installed on existing ships in that date or later.

The incineration process must be carried out in equipment (incinerators) designed for this purpose.

In addition, the incineration of certain materials is prohibited, therefore, in this sense, Rule 16 can be considered complementary to Annex V regarding the processing of garbage generated on board ships.

Incinerators installed on ships built after January 1, 2000 or on ships existing on or after that date must be certified in accordance with resolution MEPC.76(40),

as amended by resolutions MEPC.93(45) of October 5, 2000 and MEPC.244(66) of April 4, 2014. In this case, the operation manuals must be kept on board, training must be provided for its operation, and the indicated temperatures must be ensured to guarantee correct incineration. [8], [9], [10].

As for sludge from fuel and oil treatment plants, although its alternative incineration is allowed in power plants, main and auxiliary boilers, this operation can never be carried out in areas close to ports or river estuaries.

4. MARPOL APPLIED TO THE CONTROL OF NO_x EMISSIONS

As previously indicated, after the entry into force of Annex VI, it is again reviewed in accordance with the amendments included in resolutions MEPC.176(58) and MEPC.177(58), according to resolution MEPC.129(53), amendments that enter into force on July 1, 2010.

Regarding the control of NO_x emissions in marine diesel engines, the amendments to Annex VI include the structure in three levels of emissions, or Tier levels, for new engines, a structure that establishes permitted levels of emissions based on the date of engine installation.

It also establishes controls on existing engines in the event that there is an approval method certified by the Administration and said certification has been submitted to the IMO by the certifying Administration.

The Tier structure includes phased reductions in NO_x emissions from marine diesel

engines, with a Tier II emissions cap for engines installed in a ship built on or after January 1, 2011, as well as a stricter Tier III emission limit for engines installed in a ship built on or after January 1, 2016 that operates in ECA zones.

In the case of marine diesel engines installed in a ship built on or after January 1, 1990, but before January 1, 2000, they are required to comply with Tier I emission limits, if an Administration has certified an approved method for that engine.

In this sense, resolution MEPC.251(66) of April 4, 2014 incorporates amendments to Rule 13 of Annex VI in relation, among other issues, to the date of entry into force of Tier III standards [11].

These modifications establish the application of the Tier III standard to marine diesel engines installed in ships built after January 1, 2016 and that operate in both present and future ECA zones.

Excluded from compliance with Tier III requirements are marine diesel engines installed on ships built before January 1, 2021 with a gross tonnage of less than 500 gt ("Gross Tonnage"), 24 m or more in length, which have been specifically designed and are used for recreational purposes only.

The following table summarizes the global limits and for ECA zones of NO_x emissions depending on the Tier levels:

Table 4.1. NO_x limit values depending on the Tier level (source: Annex VI MARPOL)

Tier	Date	NO _x limits (g/kWh)		
		n < 130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Tier I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016*	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96

*In Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).

Likewise, upon the entry into force of Annex VI, all marine diesel engines to which Rule 13 of that annex applies must comply with the provisions of the NTC.

During MEPC 53, held in July 2005, it was agreed that the 1997 NTC would be subject to a review, concluding the review at MEPC 58, held in October 2008, based on resolution MEPC.177(58) of October 10, 2008 and entered into force on July 1, 2010 [5].

The current NTC is intended to provide mandatory testing, survey and certification procedures for marine diesel engines to enable engine manufacturers, ship owners and administrations to ensure that all marine diesel engines to which they apply conform to the NO_x emission limits specified in Rule 13 of Annex VI.

The current NTC also recognizes the difficulty of accurately establishing the true weighted average of NO_x emitted by marine diesel engines in service on ships and, for this reason, a set of simple and practical prescriptions have been formulated in which the means are defined so that the limits established in terms of NO_x emissions can be respected.

The code encourages Administrations to test the emissions produced by propulsion and auxiliary marine diesel engines on a test bench where accurate tests can be carried out under properly controlled conditions. The determination in this initial phase of compliance with the requirements of Rule 13 of Annex VI is one of the essential characteristics of the NTC.

Any further testing carried out on board the ship will inevitably be limited in scope and precision and the purpose of such testing will be to infer or deduce the emission performance of the engine and to confirm that the engine has been installed, is

operated and maintained in accordance with the manufacturer's specifications, and that any adjustments or modifications do not affect the emission characteristics of the engine established by the initial tests and the certificate issued by the manufacturer.

5. MARPOL APPLIED TO THE CONTROL OF SO_x EMISSIONS

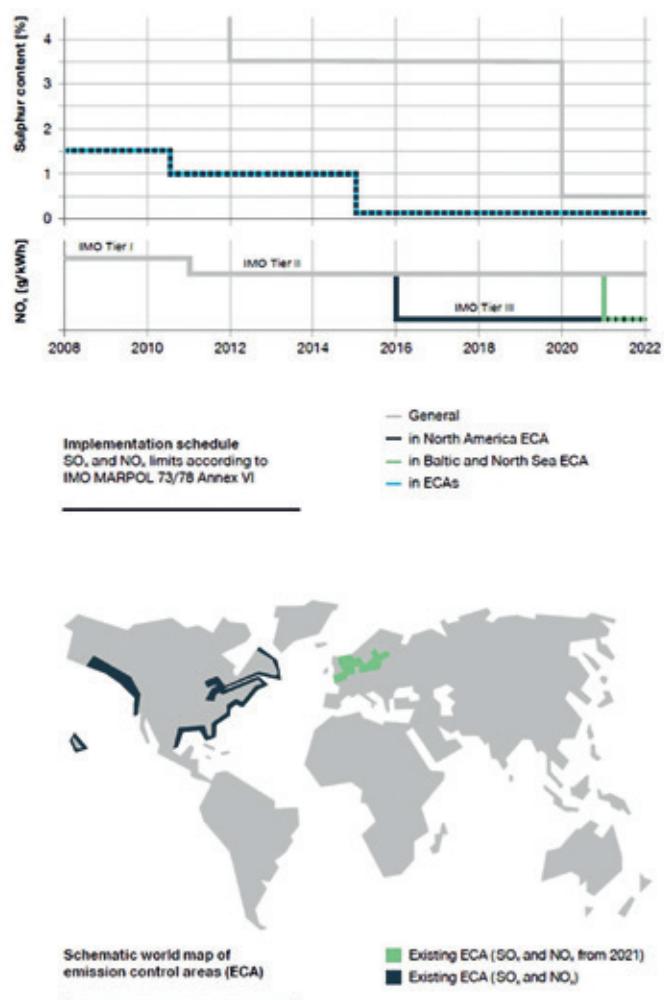
As of the entry into force of Annex VI, and after revisions carried out pursuant to resolutions MEPC.176(58) and MEPC.177(58), said annex is revised again pursuant to resolution MEPC.280(70) of October 28, 2016 and date of entry into force of January 1, 2020 [12].

The new amendments to Annex VI included in resolution MEPC.280(70) include, among others, the progressive reduction of SO_x emissions in ships from the global reduction of the sulphur content in fuel. They also include the reduction of sulphur content in fuel for ships that operate in ECA zones.

With these new amendments to Annex VI, the global sulphur limit in fuel is reduced from 3.5% m/m on January 1, 2012 to the current 0.5% m/m (as of January 1, 2020), while in areas ECA goes from 1% m/m on March 1, 2010 to the current 0.10% m/m (since March 1, 2015).

Regarding the SO_x emission control areas, although in Annex VI they were known under the name of SECA areas, after their review by resolutions MEPC.176(58) and MEPC.177(58), it is introduced the new concept of ECA emission control zones, which can be designated to control emissions of SO_x, PM or NO_x, or all three types of emissions. In other words, an ECA emission control area can be defined as one that regulates SO_x/PM emissions, commonly known as a SO_x-ECA area, that regulates NO_x emissions, commonly known as a NO_x-ECA area, or that regulates the emissions of SO_x/PM and NO_x,

Figure 5.1. Implementation schedule of SO_x and NO_x limits and world map of ECA (source: MAN)



known from the revised Annex VI with the generic denomination of ECA zones [4], [5].

Regarding this matter, resolution MEPC.320(74) of May 17, 2019 and entered into force on January 1, 2020, establishes guidelines for administrations, states, shipowners, shipbuilders and suppliers of petroleum products in order to ensure the implementation of the 0.50% m/m sulphur limit in accordance with Annex VI as of January 1, 2020 [13].

The following definitions of marine fuels are those used by resolution MEPC.320(74) to define them:

DM (“Distillate Marine”) fuels, as specified in the ISO 8217:2017 standard, for example, DMX, DMA, DMZ, DMB.

RM (“Residual Marine”) fuels, as specified in the ISO 8217:2017 standard, for example, RMA, RMB, RMD, RME, RMG, RMK.

ULSFO (“Ultra-Low Sulphur Fuel Oil”), for example, maximum 0.10% m/m S ULSFO-DM and maximum 0.10% m/m S ULSFO-RM.

VLSFO (“Very-Low Sulphur Fuel Oil”), for example, maximum 0.50% m/m S VLSFO-DM and maximum 0.50% S VLSFO-RM.

HSHFO (“High Sulphur Heavy Fuel Oil”), which exceeds 0.50% m/m S.

Regarding this matter, the ISO 8217:2017(E) standard specifies the requirements for fuels for use in marine diesel engines and boilers, before centrifuging and filtering processes on board prior to use [14].

The same standard identifies by the term fuel oil hydrocarbons from petroleum, synthetic renewable sources and their mixtures with FAME ("Fatty Acid Methyl Ester").

Recently, the ISO has published a new specification in order to comply with the current regulations regarding the maximum sulphur content for marine fuels. Under the title "Considerations for fuel suppliers and users regarding marine fuel quality in view of the implementation of maximum 0.50 % sulphur in 2020", this new specification is not a revision of ISO 8217:2017, but an application guide to the new types of regulatory fuels [15].

The new maximum sulphur limits have forced petroleum product suppliers to develop new types of fuels, called VLSFO for sulphur content $\leq 0.50\%$ m/m and ULSFO for sulphur content $\leq 0.10\%$ m/m, in order to comply to the current IMO MARPOL regulations.

6. SYSTEMS FOR THE CONTROL OF NO_x EMISSIONS

The control of NO_x emissions from marine diesel engines is carried out by complying with the recognition and certification requirements that lead to the issuance of the EIAPP ("Engine International Air Pollution Prevention") certificate and the subsequent demonstration of compliance during service, in accordance with the mandatory requirements regarding Rules 13.8 and 5.3.2 of Annex VI and the 2008 NTC (resolution MEPC.177(58), as amended by resolution MEPC.251.(66)) in the case of Tier II and III mission levels [5], [11].

Regarding the level of Tier I emissions, most existing Tier I engines have been certified with the 1997 NTC version, adopted by resolution 2 during the 1997 MARPOL Conference. According to MEPC.1/Circ.679,

the ability to certify a marine diesel engine to Tier I has been in effect until January 1, 2011. As of that date, all marine diesel engines are certified to Tier II and III depending on whether the shipping zones are ECA zones or not. In this sense, the certificates issued in accordance with the NTC of 1997 will continue to be valid during the useful life of the engine:

Unlike the control of SO_x emissions, which can be done by limiting the sulphur concentration in the fuel, the control of NO_x emissions is not possible by modifying the quality of the fuel.

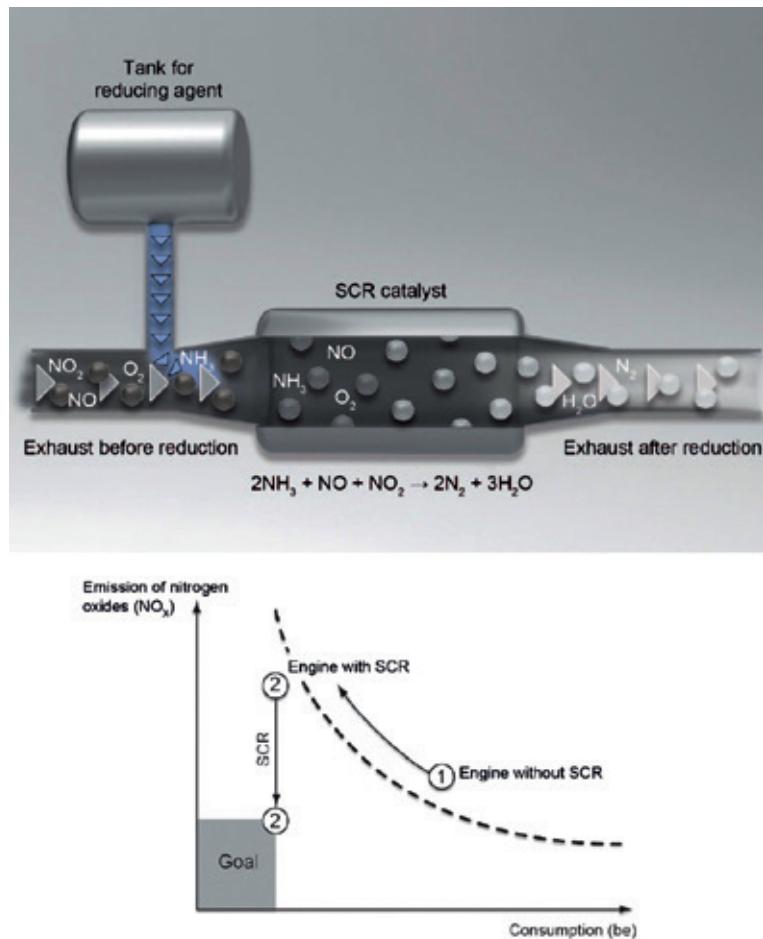
The NO_x formation precursors during the combustion process are nitrogen (N₂) and oxygen (O₂), which comprise 99% of the engine's intake air. O₂ is consumed during the combustion process, the amount of excess O₂ being a function of the air/fuel ratio under which the engine is running.

Nitrogen remains largely unreacted during the combustion process, except for a small percentage that will be oxidized to form various oxides of nitrogen, these being nitric oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO₂).

The formation of NO_x is a function of the time in which the N₂ and excess O₂ are exposed to the high temperatures associated with the combustion of the diesel engine, so that the higher the combustion temperature (for example, high maximum pressure, high compression ratio, high fuel delivery rate, etc.), the greater the amount of NO_x formation will be.

The performance of a diesel engine depends on the pressures and temperatures reached during the combustion cycle, so that as these increases, the performance of the cycle increases. In the same way, as has been seen, NO_x emissions show a direct relationship with the

Figure 6.1. Schematic of the SCR system and diagram of fuel consumption and NO_x emissions relationship (source: MTU)



temperature reached in the cycle, so that as pressures and temperatures increase, NO_x emissions also increase. Therefore, what is advantageous from the point of view of the thermal performance of the motor, in turn becomes a problem from the environmental point of view. This is the reason why a low-speed diesel engine (higher efficiency) tends to generate more NO_x than a high-speed engine (lower efficiency).

Although Tier I and II emission levels are achievable through combustion optimization processes, to reach Tier III level (precise in navigation through ECA zones), the application of other types of emission control technologies is required.

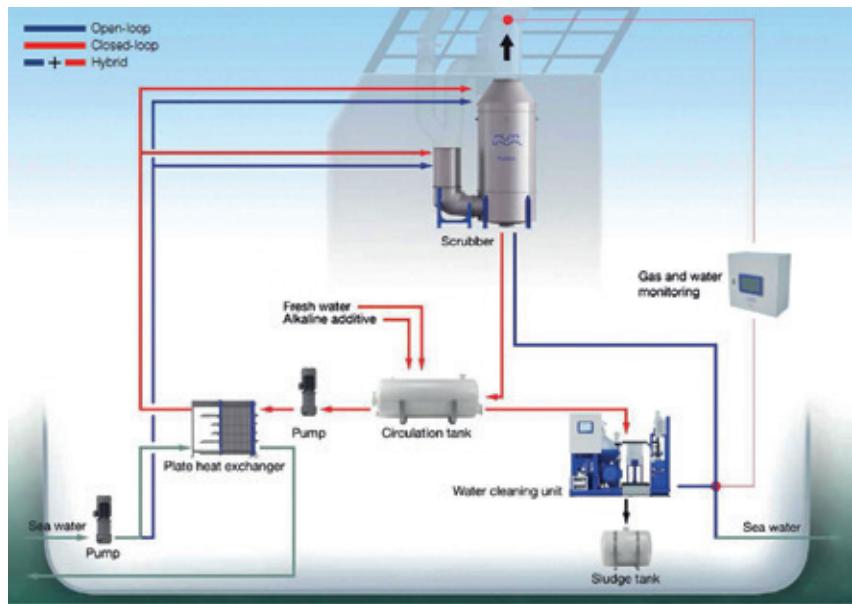
Currently, the most widely used technology to control NO_x emissions on board ships is SCR technology ("Selective Catalytic

Reduction"). Furthermore, SCR technology is the only technology capable of achieving Tier III emissions compliance regardless of the engine to which it is applied. While other technologies allow Tier III emissions level to be achieved, this only occurs for a select group of engines [16]. State-of-the-art SCR technology is capable of reducing NO_x emissions by more than 90% under certain conditions, allowing NO_x control with little or no fuel consumption penalty, since engine tuning is possible for a maximum efficiency in fuel consumption and regulate the operation of the SCR from this engine operating point.

7. SYSTEMS FOR THE CONTROL OF SO_x EMISSIONS

In addition to limiting the sulphur content in the fuel, the control of SO_x emissions into the

Figure 7.1 Schematic of the EGC system
(source: ALFA LAVAL)



atmosphere can also be carried out using equivalent methods, such as EGC ("Exhaust Gas Cleaning") emissions scrubbers.

In relation to this matter, resolution MEPC.259(68) of May 15, 2015 introduces the document called "Guidelines for Exhaust gas Cleaning Systems". The purpose of these guidelines is to specify the requirements for the testing, certification process and verification of EGC systems in accordance with Rule 4 of Annex VI, in order to ensure that they provide effective equivalence with the requirements of the Rules 14.1 and 14.4 of the same Annex VI [17].

These guidelines allow for two strategies: a "strategy A", with unitary certification based on parameter and emission controls, and another "strategy B", based on emission monitoring and parameter control in real time.

In the case of ships that are going to use an EGC system in part, or in full, to comply with Rules 14.1 and/or 14.4 of Annex VI, they must be in possession of a SECP ("SO_x Emissions Compliance Plan") approved. In this sense, EGC-type cleaning units can be approved subject to periodic controls of parameters

and emissions or with continuous emission monitoring systems, always objective and performance-oriented.

8. CONCLUSIONS

Within the IMO regulations, the MARPOL Convention deals with preserving the marine environment by preventing pollution. Regarding the scope of its Annex VI, related to the control of emissions into the atmosphere, the pollutants ODS, NO_x, SO_x, PM, VOC and products of incineration of substances on board are included.

Resolution MEPC.129(53) revises both Annex VI and the NTC, following the publication of amendments MEPC.176(58) and MEPC.177(58). The main changes introduced involve the progressive reduction of NO_x, SO_x, and PM emissions, as well as the introduction of ECA zones.

Regarding the control of NO_x emissions in marine diesel engines, the amendments to Annex VI present a Tier emission level, based on the progressive reduction of emissions. Regarding the control of SO_x emissions, through resolution MEPC.280(70) Annex VI

is reviewed again, including its progressive reduction based on the limitation of the sulphur content in fuel. In addition, the new concept of ECA zone is introduced for the control of emissions of SO_x, PM, NO_x or the three types of emissions jointly.

Resolution MEPC.320(74) establishes the guidelines to guarantee the implementation of the 0.50% m/m sulphur limit in accordance with Annex VI as of January 1, 2020.

The most widely used technology for NO_x emission control is SCR technology, with a NO_x emission reduction level of more than 90%, being the only one capable of achieving Tier III emissions compliance, regardless of the engine in which it is applied and with very little penalty in fuel consumption (performance).

To control sulphur emissions into the atmosphere, in addition to the use of fuels with a low sulphur content, there are technologies that produce equivalent effects, such as exhaust gas washing systems, also known as EGC systems.

9. REFERENCES

- [1] International Maritime Organization (IMO) (2021). International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78), Consolidated Edition 2021, London, ISBN: 9789280131413.
- [2] Villa Caro, R., Pernas Urrutia, J. M. (2022). Air pollution by ships, the particular case of the warship, 60th Congress of Naval Engineering and Maritime Industry 2021, Association of Naval Engineers of Spain (AINE), pages 62 – 78, ISBN: 978-84-939303-9-4.
- [3] Marine Environment Protection Committee (MEPC) (2005). Guidelines for Port State Control Under MARPOL Annex VI, Res. MEPC.129(53), International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [4] Marine Environment Protection Committee (MEPC) (2008). Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as Modified by the Protocol of 1978 Relating Thereto – Revised MARPOL, Res. MEPC.176(58), International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [5] Marine Environment Protection Committee (MEPC) (2008). Amendments to the Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines – NOX Technical Code, Res. MEPC.177(58), International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [6] Maritime Safety Committee (MSC) (1992). Standards for Vapour Emission Control Systems, MSC/Circular.585, International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [7] Marine Environment Protection Committee (MEPC) (2009). Guidelines for the Development of a VOC Management Plan, Res. MEPC.185(59), International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [8] Marine Environment Protection Committee (MEPC) (1997). Standard Specification for Shipboard Incinerators, Res. MEPC.76(40), International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [9] Marine Environment Protection Committee (MEPC) (2000). Amendments to the Standard Specification for Shipboard Incinerators, Res. MEPC.93(45), International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [10] Marine Environment Protection Committee (MEPC) (2014). Standard Specification for Shipboard Incinerators, Res. MEPC.244(66), International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [11] Marine Environment Protection Committee (MEPC) (2014). Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 as Modified by the Protocol of 1978 Relating Thereto, Res. MEPC.251(66), International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [12] Marine Environment Protection Committee (MEPC) (2016). Effective Date of Implementation of the Fuel Oil Standard in Regulation 14.1.3 of MARPOL Annex VI, Res. MEPC.280(70), International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [13] Marine Environment Protection Committee (MEPC) (2019). Guidelines for Consistent Implementation of the 0.50% Sulphur Limit under MARPOL Annex VI, Res. MEPC.320(74), International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [14] International Standard Organization (2017). Petroleum Products, Fuels (Class F), Specifications of Marine Fuels, ISO 8217:2017(E).
- [15] International Standard Organization (2019). Considerations for Fuel Suppliers and Users regarding Marine Fuel Quality in view of the Implementation of Maximum 0,50 % Sulphur in 2020, ISO/PAS 23263:2019.
- [16] Azzara, A., Rutherford, D., Wang, H. (2014). Feasibility of IMO Annex VI Tier III implementation using Selective Catalytic Reduction, Working Paper 2014-4, International Council on Clean Transportation (ICCT).
- [17] Marine Environment Protection Committee (MEPC) (2015). Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems, Res. MEPC.259(68), International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.

State of the art of nuclear propulsion - *Ulstein Thor*



JOSE JORGE GARCIA AGIS, I.N. Ulstein International AS

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

INDEX

- 1. Introduction**
- 2. Timeline nuclear power**
- 3. Molten salt reactors and thorium as energy source**
- 4. Nuclear power on ships**
 - 4.1. PHistory and current initiatives
 - 4.2. Implications to ship design
 - 4.2.1. Commercial
 - 4.2.2. Operational
 - 4.2.3. Technical
 - 4.3. Regulations
- 5. Ulstein Thor**
- 6. Discussion and conclusion**
- 7. Acknowledgement**
- 8. References**

ABSTRACT

Decarbonization will represent one of the most important challenges for the shipping industry in the decades to come. Different ship types, their size and their typical operational patterns have already proven that no alternative fuel solution fits all situations and applications. The energy density of the various alternative fuels is critical and detrimental as it negatively affects the vessel arrangement, size, and payload. Their availability and cost are not helping either. Hence, their applicability in the shorter-term perspective is expected to be rather limited.

Nuclear fuels can represent a solution in many shipping applications. State-of-the-art knowledge about nuclear reactor technology indicates that the challenges present in alternative fuels are not necessarily applicable when talking about nuclear technology. Fourth-generation reactors enable superior fuel efficiency, inherent safety, and almost unlimited autonomy, making them attractive for maritime applications.

This article will explore current developments in nuclear power technology for application in the maritime industry, its strengths, and its weaknesses. An elaboration on current application areas and the technical, commercial, and operational requirements

to make nuclear power feasible will be elaborated. Lastly, the article will go deeper into a practical application of a molten-salt reactor replenishment vessel - Ulstein Thor.

RESUMEN

La descarbonización del transporte marítimo representará uno de los desafíos más importantes para la industria en las próximas décadas. Debido a las diferencias entre tipos de barcos, su tamaño y sus rutas han demostrado que ninguna solución de combustible alternativo se adapta a todas las situaciones y aplicaciones. La densidad de energía de los diversos combustibles alternativos es crítica y perjudicial, ya que afecta negativamente la disposición, el tamaño y la carga útil de la embarcación. Su disponibilidad y coste tampoco ayudan. Por lo tanto, se espera que su aplicabilidad a corto plazo sea limitada.

Los combustibles nucleares pueden representar una buena solución en muchas aplicaciones. Información sobre reactores nucleares de última generación indica que los desafíos que presentan los combustibles alternativos nos son necesariamente aplicables cuando se habla de tecnología nuclear. Los reactores de cuarta generación permiten una eficiencia de combustible superior, seguridad inherente y una autonomía casi ilimitada, lo que los hace atractivos para aplicaciones marítimas.

Este artículo explorará los desarrollos actuales de tecnología nuclear en la industria marítima, sus beneficios y limitaciones. Tanto áreas de aplicación como requisitos técnicos, comerciales y operativos para hacer factible la energía nuclear serán discutidos. Por último, el artículo profundizará en una aplicación práctica de un buque de reabastecimiento con un reactor de sales fundidas - Ulstein Thor.

1. INTRODUCTION

Nuclear energy generation accounted for 10% of total energy generation worldwide in 2019 (2790 TWh), making it the second largest source of clean energy after hydropower. Share is larger in specific countries. Eg. in the US, nuclear power represents 20% of the total capacity.

Studies show that nuclear power has equivalent carbon emissions to wind or solar energies [1]. A kilowatt hour of nuclear-generated electricity has a carbon footprint of 4 grams of CO₂ equivalent, compared to 4 grams for wind and 6 grams for solar energy — versus 109 grams for coal, even with carbon capture and storage. Thus, IEA and IPCC reports suggest that a low-carbon energy transition reaching the 1,5C scenario will require large investments in “low-carbon energy sources including renewable sources, nuclear power, and fossil or bioenergy with CCS” [2,3].

Thus, nuclear power is considered one of the pathways towards decarbonization and a low-carbon energy source. The reports also suggest that the future energy system “will need to operate very flexibly, enabled by adequate capacity, robust grids, battery storage and dispatchable low emissions sources of electricity (like hydropower, geothermal and bioenergy, as well as hydrogen and ammonia-fired plants, or small modular nuclear reactors)”.

So the question is, can and will nuclear energy play a role in the decarbonization of shipping operations?

2. TIMELINE NUCLEAR POWER

The first nuclear power plant was connected to an electricity grid in 1954, in Russia, producing around 5 MWe. In 1955 the

USS Nautilus, the first nuclear-propelled submarine, equipped with a pressurized water reactor (PWR), was launched. The race for nuclear technology spanned several countries and soon commercial reactors, called first-generation (Generation I) nuclear reactors, were built in the US and the United Kingdom.

After a few years, and based on the experience gained from the early projects, many nuclear safety concepts were extended and then implemented in second-generation (Generation II) nuclear systems, consisting of reactors currently in operation, such as the PWR, PHWRs (Pressurized Heavy Water Reactors), BWR (Boiling Water Reactor), GCR (Gas-Cooled Reactor), and VVER (Water-Water Power Reactor). At this time, other concepts were studied in parallel, such as liquid metal-cooled reactors and reactors with thorium and uranium molten salt, which did not propagate commercially and/or remained in experimental countertops. Currently, there are 413 reactors in operation spread over 31 countries [11]. These include a wide range of technologies, but PWRs, represent more than two-thirds of the total population. Most of them are from Generation II reactors.

With operating experience gained in recent decades, digital instrumentation development, and lessons learned from the accidents at Three Mile Island, Chernobyl, and more recently Fukushima, Generation

III and III+ reactor designs have incorporated improvements in thermal efficiency and included passive system safety solutions. Maintenance costs and substantial capital investment reductions are also expected in these generations. Currently are few in operation, primarily in China, and 11 reactors are under construction [11].

Historical developments have focused on the pursuit of a) reducing costs, b) increasing system efficiency, c) exploring alternative fuels (to uranium), d) improving refuelling processes and schedules, and e) enhancing safety and waste management procedures. Similar principles are the foundation of the new developments taking share under the umbrella of the Generation IV International Forum (GIF). Established in 2001, it pursues to develop nuclear systems that can fulfil the increasing world electric power needs with high safety, economics, sustainability, and proliferation resistance levels [5]. GIF has selected the six most promising reactor system designs to be developed until 2030. The six technologies are summarized in Table 2.1., including the pressure they are designed to operate, the coolant material, and the outlet temperature of the system.

This new generation of nuclear power reactors is intrinsically different from existing PWR technology. Thus, they require new risk assessment procedures, economic models, and regulations [5]. The

Table 2.1. Characteristics of the IV generation reactor technologies [5].

Technology	Pressure (MPa)	Coolant	Outlet temperature (oC)
VHTR - Very high-temperature reactor	8	Helium	900 to 1 000
SFR - Sodium-cooled fast reactor	0.3	Sodium	550
SCWR - Supercritical water-cooled reactor	25	Water	510 to 625
GFR - Gas-cooled fast reactor	7	Helium	850
LFR - Lead-cooled fast reactor	0.3	Lead	480 to 800
MSR - Molten salt reactor	0.6	Fluoride salts	700 to 800
LWR - Light water reactor	8 to 16	Water	325

differences relate primarily to the fuel used, coolants, operating parameters (including temperature and pressure), and fuel cycles. Of these IV-generation technologies, MSR is considered the most sustainable due to its intrinsic safety features [7, 13].

3. MOLTEN SALT REACTORS AND THORIUM AS ENERGY SOURCE

The molten salt reactor (MSR) is an advanced nuclear reactor powered by liquid molten fuel salts. There are two main subclasses of MSRs. One where the fissile fuel is dissolved in the molten salt. And a second where the molten salt serves as a coolant to a solid particle fuelled core. The second type, solid fuelled, is referred to as Fluoride salt-cooled High-temperature Reactors (FHR) [7].

The MSR operates at near atmospheric pressure – which represents a significant safety and cost advantage [7, 8] – and runs at a very high temperature, between 500°C – 700°C – which opens up higher thermal efficiency than current reactors [8]. Because MSRs operate at ambient pressure there is no force to expel radio toxins into the environment in the event of an accident. This allows for a very small emergency preparation zone (EPZ).

The molten salts used in these reactors have negative temperature reactivity coefficients [14]. Negative reactivity enables a more flexible operation of the reactor, as it allows the starting and stopping of the reactor, as well as load variations, without the need for control rods. This is also a desirable safety feature for power reactors [7], as it results in safer and more controlled operations.

Molten salt reactors can be fuelled by any fissile material [7]. Although most of the ongoing developments rely on the U-Pu fuel cycle, the use of thorium is considered

more convenient. First, due to its abundance - thorium is 3 to 4 times more abundant than uranium in the earth's crust [8], and its energy density is three million times higher than coal or 200 times the one of uranium. Secondly, due to the lower generation of highly radiotoxic transuranic elements - MSR produces less than 1% long-lived wastes than today's reactors [8]. And thirdly, it is practically impossible, or at least very difficult to use reactor-produced ^{233}U for making nuclear weapons. The production of plutonium is one of the main concerns for nuclear non-proliferation when relying on U-Pu fuel cycles. This risk is eliminated with the use of naturally occurring thorium (^{232}Th) as a fertile material in a reactor.

However, unlike natural ^{235}U , thorium lacks fissile isotopes, requiring therefore the use of fissile material from the uranium cycle for initial start-up [7, 8].

Molten salt reactors fuelled by thorium provide a series of advantages concerning traditional nuclear reactors:

- i. From a nuclear waste point of view, a ^{233}U – ^{232}Th system would hardly produce any trans-uranium elements (TRU), which are a case of serious concern in conventional nuclear plants and can dominate waste management.
- ii. Unlike the conventional PWR systems, there is no scenario called “fuel meltdown”. Unlike uranium, thorium doesn't release more neutrons to perpetuate the chain reaction. The hotter it gets, the more neutrons the thorium will absorb. Thus, the reaction can be managed by controlling the number of neutrons in the fuel.
- iii. Most gaseous fission products are continuously removed so there is no danger of the release of radioactive products.

- iv. Reactors have full passive safety. Under accident conditions, the fuel is automatically drained into passively cooled critically safe storage tanks.

Additionally, if the reactor stops and the fuel salt is cooled it would solidify and be entombed in the reactor. This means no fuel can escape. This passive safety feature of the MSR is highly desirable for the marine environment.

Economically, molten salt reactors represent are expected to outcompete existing technologies. The cost of the electricity produced with a thorium-based molten salt reactor over the life of the entire process has been predicted to be about 5,75 cent\$/kWh, about 7% lower than that from pressurized water reactors (PWRs) and substantially lower than other electricity sources like coal [15].

The low pressure and high temperature characterizing MSR are the main drivers for such cost reduction. These parameters facilitate a compact, less expensive reactor core, which also eases mass production [8].

Furthermore, high temperatures facilitate compact Brayton cycle processes thus reducing the space required for the energy conversion system.

Operationally, tests run during the 60s' on MSR show that the operation is very practical, with a well-behaved and stable chemical process in the salt [12]. The maintenance of the system can be performed with normality and little exposure to radioactivity [12]. The system is self-regulating in heat load, and its power response is good [12].

So, why MSR is not widely implemented in the global energy market and large energy-demand industries?

4. NUCLEAR POWER ON SHIPS

4.1. History and current initiatives

The fleet of nuclear-powered vessels is currently composed of over 160 units [6, 9]. More than 700 reactors have been installed and used on vessels (incl. submarines) since the first nuclear submarine was launched in 1955. The large majority of these were for naval applications, although there are a few exceptions. Westinghouse and GE have developed standardized reactors for the US Navy, as Rolls-Royce did for the UK Royal Navy [9]. However, they rely on PWR technology. And, despite their safety records [9], they have not made their way into commercial ships.

The *NS Savannah* was the first nuclear-powered commercial vessel built. Delivered in 1962, the vessel was a technological success but was recycled only 8 years later due to very high operational costs [9]. The same challenge affected the German *NS Otto Hahn*, which was converted to diesel propulsion ten years after its delivery. *NS Mutsu*, a Japanese project put into service in 1970, was decommissioned due to technical and political problems. A more successful life has had *NS Sevmorput*, a Russian container vessel delivered in 1988 and still in service. Currently, there are a handful of nuclear-powered Russian icebreakers offering services in the Arctic, ranging from escort services to cruise expeditions. The operating conditions in this area and the power and autonomy need to make it unfeasible for conventional fuels. The latest units built – LK-60- count with two PWR units with 175 MWt, producing over 60 MW of electricity.

Capital costs have been one of the largest impediments to the further implementation of nuclear power on commercial vessels. And the fact that ship reactors require

highly enriched uranium (high power on low volume) does not facilitate its implementation.

All these historical commercial examples reflect the importance of balancing commercial, operational, and technical aspects [10]. The design of nuclear ships cannot rely exclusively on the reactor technology, but it must fit into the operational context of the vessel and be commercially feasible. In other words, reactor technology must meet a set of criteria to be considered feasible for commercial maritime applications [6]: i) Superior fuel efficiency; ii) Minimal Emergency Planning Zone (EPZ) and iii) Industrialized production. There are two types of reactors (Molten Salt Reactor (MSR) and Micro-Heat Pipe Reactor (HPR)) that fulfil the three main criteria for success in the maritime industry. Current MSR developments are however focusing on larger reactors for land-based operations. Based on a recent review of ongoing developments [13], full-scale reactors range from 80 to over 2000 MWt (32 to 800 Mwe @ 40% efficiency).

4.2. Implications to ship design

There are strong incentives for the use of molten salt reactors (MSR) in commercial vessels. They provide good fuel utilization, better economics, and higher fuel flexibility than traditional nuclear power technologies, and can enable zero-emission operations for ships.

Historical references from the implementation of nuclear power on ships show that costs have been the main concern and limiting factor. And, although the analysis performed by [14] suggests that MSR should enable a 70% reduction in cost – together with a 40% reduction in weight and 20% reduction in volume - compared to existing units used in

navy ships, this type of reactor hasn't found its way into the shipping industry yet.

Because of the importance of exploring commercial, operational, and technical implications highlighted in the previous chapter, we review some of the critical aspects surrounding the use of MSR technology on commercial ships in the following paragraphs.

4.2.1. Commercial

The main commercial implication for nuclear-powered ships is the fact that the vessel will be delivered with the fuel needed for its entire lifecycle operation – no need for refuelling. Thus, traditional voyage costs (VOYEX) will be forefronted and integrated into the capital costs (CAPEX). At first, this fact can make unfeasible the implementation of the technology, as it will require very large initial investments that will be difficult to convey in shipping.

Likely, commercial actors are already exploring leasing schemes where shipping companies will not be required to invest in the reactor or the fuel but pay for the energy generated by it. A similar concept to the “power-by-the-hour” of Rolls-Royce [16]. Thus, reducing the initial investment and transferring the cost to the operational life of the vessel.

Leasing arrangements will also avoid the need for nuclear licenses on shipping companies. If technology providers retain ownership and operational responsibility for the reactors, shipping companies will not be required to hold nuclear licenses, nor recruit personnel for the operation of the reactors.

4.2.2. Operational

The use of alternative fuels on vessels can represent two main constraints to

its operators. The first constraint is the availability of fuel. Marine gas oil and heavy fuel oil are globally available, however, ammonia, methanol, hydrogen or even liquified natural gas are not. For nuclear-fuelled vessels, this is not a problem, as they don't need to refuel that often. However, they might have access limitations to some ports, channels or even national waters in some countries. As long as IMO doesn't develop new regulations for these vessels, they will need to be approved by flag states and limit their operation to the waters of a few consenting states. The second constraint is access to personnel with competencies in the new fuels. Leasing arrangements would solve this challenge for nuclear systems.

Load variations on vessels can be substantial. In some operations, these loads can represent a few hundred kilowatts in less than a minute. Conventional nuclear reactors have poor responses to load variations, however, smaller reactors, and in particularly molten salt reactors have been demonstrated to have good dynamic responses [12]. Yet, the steam turbines used to generate electricity might be a limiting factor, as they are less responsive to load variations. There is a new breed of turbines, supercritical CO₂ turbines, that might solve this challenge, together with a considerable increase in efficiency [19].

4.2.3. Technical

The technical design of nuclear-powered vessels should build around the reactor itself. Yet, without forgetting the original purpose of the ship – cargo transportation, leisure, towing, fishing, etc.

Although MSR provides a long list of benefits compared to traditional PWR units, it is expected that the need for radiological

shielding will be similar [14]. Hence, the reactor will represent a substantial weight and needs to be located accordingly, giving priority to placing the reactor plant amidship as low as feasible [12]. There are two main reasons: i) stability – lower the VGC, and ii) seakeeping – lower the displacements the system will be exposed to.

[14] suggests that the weight of MSR is 40% lower than PWR, relative to a conventional oil-based fuelled power plant, having a reactor increases slightly the weight of the complete system (including all the auxiliary systems and protection barriers) [12]. The weight increases are partially compensated by the lower deadweight required for fuel, and the elimination of free surfaces from diesel tanks. Studies show that the overall difference between a diesel-based power plant and a thorium power plant is around 2 to 5% higher weight for the latter option [12]. Because the location of the reactor will be driven by stability requirements, compartmentation and regulation, an all-electric power configuration is considered the most efficient and feasible solution for vessels equipped with nuclear reactors. All power, whether for propulsion, hotel, or auxiliary services, is produced by the reactor and power conversion system as electric power and then distributed to all the consumers onboard independently of their location. With all-electric propulsion, propellers are not mechanically connected to the turbines of the power conversion system but are driven by electric motors. Electric propulsion pays a penalty concerning transmission efficiency, but it gives the possibility of freely locating the reactor in the hull, as it no longer has to be at the very stern of the vessel, and it facilitates the use of better and more efficient propulsion arrangements. This, in turn, allows for higher propulsive efficiency, and in most cases a higher overall efficiency.

Electrical propulsion is not new, and it has been used in many vessels over the past 20 years. However, in this case, the generation of electricity will not be a generator moved by an internal combustion engine, but a steam turbine (or equivalent) moved by the heat generated by the reactor.

All salt piping and tanks must be heated to prepare for salt filling and to keep the salt molten when there is no nuclear power. Heating can be done electrically, or via an intermediary heating medium. The compartment boundaries shall incorporate thermal insulation, radiation shielding and external cooling.

4.3. Regulations

Currently, the international regulation concerning nuclear-powered ships is collected under IMO's Safety of Life at Sea Convention - SOLAS, Chapter 8. SOLAS Ch. 8 also incorporates Resolution A.491.XII - the CODE OF SAFETY FOR NUCLEAR MERCHANT SHIPS. This existing regulation forms a goal-based framework for the design, construction, operation, maintenance, and decommissioning of nuclear-propelled ships. However, being developed about 40 years ago lacks the foundation to cater to the special features of Generation IV reactors and needs to be revisited to support the implementation of this technology in shipping [18].

However, solely these requirements will not suffice. A nuclear regulator shall be involved to regulate the reactor technology itself, and flag states and classification societies will also play a significant role in the early implementations. With the time required for IMO to update their current nuclear regulations, the most feasible scenario is that the first pilot nuclear projects might be developed based on a close collaboration

between the flag state, nuclear regulators and vessel operators [18]. This might imply that the vessel can only operate in the waters of one flag state and international waters.

In the last months, classification societies have issued new guidelines for the design and operation of nuclear-powered ships. They are still at a very early stage but are a good start to a potential refreshment of SOLAS, Chapter 8.

5. *Ulstein Thor*

Ulstein Thor is a 149m 3R (Replenishment, Research and Rescue) vessel design launched by Ulstein as a mobile power/charging station for a new breed of full electric vessel operations. The vessel features a Thorium Molten Salt Reactor (MSR) that generates vast amounts of clean, safe electricity to be supplied to other ships.

A replenishment vessel like *Ulstein Thor* will be able to generate vast amounts of clean energy that will be transferred to several vessels and enable the decarbonization of shipping operations at a large scale. Challenges like availability of fuel, cost, and volume loss are overcome by concentrating a molten salt reactor into a single replenishment vessel. Thus, reducing the need for specialized personnel, reducing the number of vessels carrying nuclear fuel, and gaining more competitive energy prices by economies of scale.

Three of the main challenges for the implementation of nuclear power in the form of molten salt reactors to ships are the size of the reactors – in most cases too big the energy demand of a single vessel, the limited availability of expertise to operate and maintain the reactors, and the regulatory limitations imposed by the different flag states and accessibility to ports.



Figure 5.1. *Ulstein Thor* (blue) and the full-electric cruise vessel *Ulstein Sif* (green). Source: Ulstein Group.

Vessel \ Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Vessel 1	■						■			■						■			■											
Vessel 2		■						■				■								■										
Vessel 3			■					■				■					■					■								
Vessel 4				■					■				■					■					■							
Vessel 5					■					■				■				■					■							
Vessel 6						■				■				■				■					■							
Vessel 7							■				■				■				■				■							
Vessel 8								■				■				■				■			■							
Vessel 9									■				■				■				■			■						
Vessel 10										■				■				■				■			■					
Vessel 11											■				■				■				■							
Vessel 12												■				■				■				■						

Table 5.1. – Energy replenishment schedule for 12 vessels.

The fluctuation in power demand on vessels will also challenge the commercial viability of MSR on ships, primarily for vessel types operating at low loads too often. These challenges can be solved by placing the reactor on a single replenishment vessel that can produce energy and replenish several other vessels.

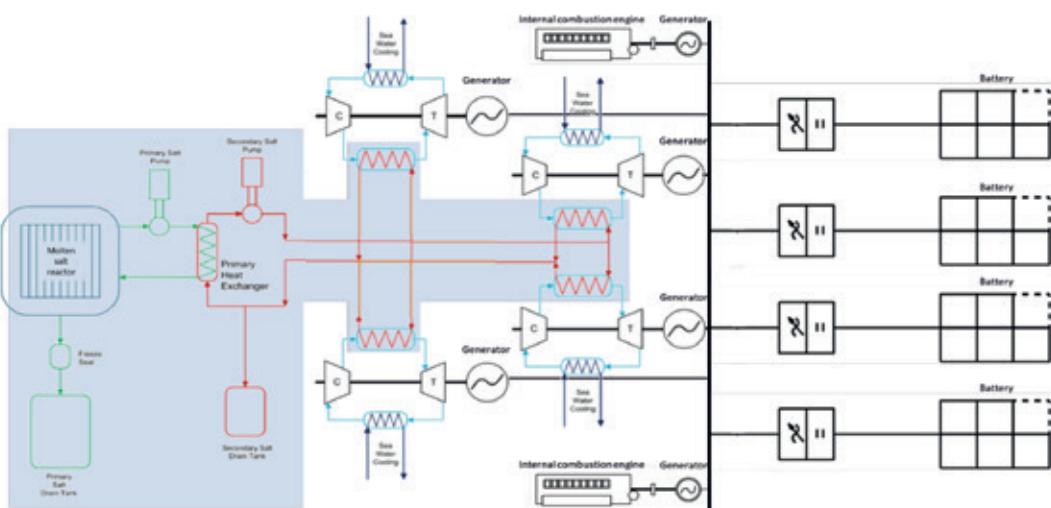
Ulstein Thor's original design scenario was as a replenishment vessel for expedition cruise vessels operating in Antarctic waters (See Figure 5.1.). From October to March, more than 50 cruise vessels perform expedition tours in the Antarctic peninsula. A reference number for the energy consumption of a vessel crossing the Drake Passage between

Antarctica and Ushuaia is 300 MWh. This operation takes about 2 days. While in Antarctica, the energy consumption is lower, and a reference is about 180 MWh for a five-day trip.

With these numbers, we can develop a charging schedule for 12 vessels as presented in Table 5.1. Each green mark represents a 180 MWh charge, and yellow represents a 300 MWh charge.

Such a schedule composed of the operation of 12 small cruise expedition vessels can be considered as the dimensioning criteria for one *Ulstein Thor*. If we extrapolate this

Figure 5.2. Simplified single-line diagram.
Adapted from [12].



schedule to a 150-day operation (typical annual campaign), we identify that the energy replenishment demand for the vessel ranges between 780 and 480 MWh, with an average daily demand of 641 MWh. Of the 150 days, the replenishment vessel will need to supply energy to a total of three vessels on 100 days, and the remaining 50 days to two vessels.

Considering this scenario, *Ulstein Thor* would generate over 96 GWe of energy in a single cruise campaign of 150 days. Consequently, making an impact on the environment in Antarctica in the magnitude of over 61,000 tonnes of CO₂ not emitted to the environment.

With an average energy demand of 641 MWh, it will require a power production of 27 MWe from the reactor, plus the power consumption of the own replenishment vessel. The power plant can be scaled up and down by reducing the number of cruise vessels to be replenished. Thus, with 10 vessels the power production needed is 22 MWe and 33 MWe for 15 vessels. A summary of the energy replenishment demand based on three vessel capacity scenarios is presented in Table 5.2.

Table 5.2. Energy replenishment demand for three vessel scenarios.

MWh	Energy replenishment demand per day		
	10 vessels	12 vessels	15 vessels
Max	780	780	960
Min	480	480	660
Average	534	641	803

Considering the scenario where the vessel will be replenishing 12 vessels – up to three per day – the power demand will range between 20 MW and 32,5 MW (plus own consumption). A realistic dimensioning for the reactor is 40 MWe at peak capacity, enabling the supply of peak capacity, own consumption and a marginal excess for potential additional needs. With a 40MWe reactor, the power plant could be complemented by four 10MWe steam turbines. Hence, the power output of the reactor could be easily adapted to three levels of operation: i) 20 MWe @ 2 turbines in operation, ii) 30 MWe @ 3 turbines in operation, and iii) 40 MWe @ 4 turbines in operation. A simple single-line diagram of the power plant is presented in Figure 5.2.

The diagram in Figure 5.2. reflects a thorium power plant for a ship with one reactor and four close-cycle gas turbine generators for electrical power production. The system

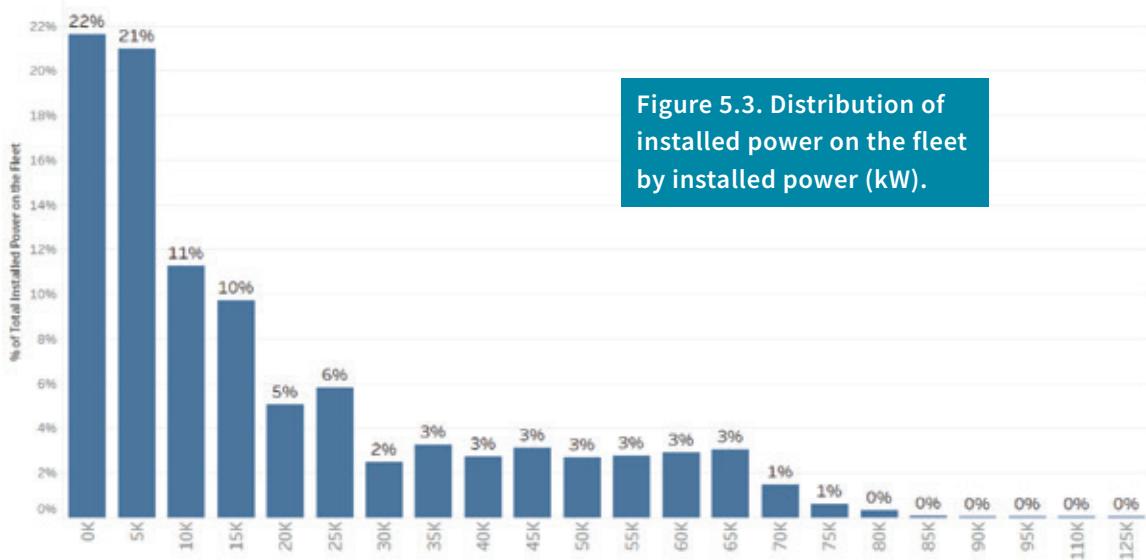


Figure 5.3. Distribution of installed power on the fleet by installed power (kW).

consists of three salt circuits. The primary (green) and secondary (red) salt circuits and the fuel drain tanks are housed within a flexibly mounted fully enclosed rafted structure. The tertiary salt circuit (blue) is considered outside the radioactive zone. The salt drain tanks are situated vertically below the reactor vessel and secondary salt circuits, within the bottom cell of the reactor raft, and being actively heated requires both radiological and thermal protection.

Early discussions with classification societies have made us clear that a second energy source will be mandatory. Thus, two sets of marine generator sets are also included in the power plant. This complementary power plant does not need to cater for the full power capacity of the vessel but rather supplies power to critical and essential systems only.

6. DISCUSSION AND CONCLUSION

The shipping industry faces a major disruption by the need of decarbonizing its operations. New technologies, alternative fuels, energy storage, energy saving devices, will contribute to this decarbonization, but are not enough. Molten salt reactors can represent a competitive and safe alternative for some vessel operations.

Generation IV nuclear reactors propose a set of improvements as to safety, waste generation, radioactivity and efficiency that make them technically applicable for ships. Commercial developments and the goal of industrializing its production can make the business case realistic and feasible for the maritime industry. However, the size of current MSR developments might represent an impediment to its wide implementation in the maritime industry. With power capacities primarily above 200 MWe, there will be little room for application in shipping considering existing fleet needs. For smaller units ranging from 20 and 30 MWe, there is a brighter future. Although the number of vessels with these power capacities is rather limited (less than 5% of the current fleet), they represent more than 30% of the installed power in the fleet. Thus, are the largest polluters. Implementing MSR on this limited number of vessels could enable a 30% cut on emissions of the shipping industry.

Replenishment vessels like *Ulstein Thor* can be a solution to this. The effectiveness of molten salt reactors can be combined with the economies of scale by replenishment of several vessels, retaining a more stable power load and therefore enhancing the business case.

A lot of work remains before we can see molten salt reactors onboard vessels. Primarily, we need to overcome the negative perceptions that the general public might have about nuclear power. Secondly, molten salt reactor technology developments need to come one stage forward on their pilotage programs. And thirdly, regulators need to start adapting current frameworks to facilitate the implementation of Generation IV reactors on ships.

7. ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to acknowledge the contributions from other colleagues at Ulstein and discussion partners (including technology suppliers, classification societies, shipping companies, among others).

8. REFERENCES

- [1] Pehl et al. (2017). Understanding future emissions from low-carbon power systems by integration of life-cycle assessment and integrated energy modelling. *Nature Energy*, 2:939-945.
- [2] International Energy Agency. (2021), *World Energy Outlook 2021*, December.
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022), *Climate Change 2022 - Mitigation of climate Change*.
- [4] World Nuclear Association (2015). Nuclear Power Reactor Characteristics. 2015/16 Pocket Guide.
- [5] Kelly, John E. (2014). Generation IV International Forum: A decade of progress through International Cooperation. *Progress in Nuclear Energy*. 77:240-246.
- [6] Maritime Nuclear Application Group (2022). *Introduction to Advanced Commercial Nuclear for Maritime*, September 2022.
- [7] Serp. J. et al. (2014) The Molten Salt Reactor (MSR) in Generation IV: Overview and Perspectives. *Progress in Nuclear Energy*. 77:308-319.
- [8] Dolan, T. J. (2017) Molten Salt Reactors and Thorium Energy. Woodhead Publishing. DOI: 978-0-08-101126-3.
- [9] (2021) Nuclear-Powered Ships.
- [10] Garcia J.J. et al. (2019) Overspecified vessel design solutions in multi-stakeholder design problems, *Research in Engineering Design*, 30(4):473-487.
- [11] Reinberger D. et al. (2019) The Technological Development of Different Generations and Reactor Concepts. In: Haas, R., Mez, L., Ajanovic, A. (eds) *The Technological and Economic Future of Nuclear Power*. Energiepolitik und Klimaschutz. Energy Policy and Climate Protection. Springer VS, Wiesbaden.
- [12] Hill, R. et al. (2012) The Potential of the Molten Salt Reactor for Warship Propulsion. International Naval Engineering Conference and Exhibition.
- [13] Griffiths, T. et al. (2015). MSR Review – Feasibility of Developing a Pilot Scale Molten Salt Reactor in the UK. Energy Process Developments Ltd.
- [14] Gonzaga de Freitas, L. et al. (2019). Potential Advantages of Molten Salt Reactor for Merchant Ship Propulsion. International Nuclear Atlantic Conference. Santos. Brazil. October 21-25, 2019.
- [15] Emblesvåg, J. (2021). How Thorium-Based Molten Salt Reactors Can Provide Clean, Safe, and Cost-Effective Technology for Deep-Sea Shipping. *Marine Technology Society Journal*. 55 (1):56-72.
- [16] Smith, D.J. (2013). Power-by-the-Hour: The Role of Technology in Reshaping Business Strategy at Rolls-Royce. *Technology Analysis & Strategic Management*. 25(8):987-1007.
- [17] Moir, R. W. (2008). Recommendations for a Restart of Molten Salt Reactor Development. *Energy Conversion and Management*. 49 (7):1849-1858.
- [18] Lloyd's Register. (2022). *Horizons Magazine*, December. <https://horizons.lr.org/december-2022/nuclear-ships>
- [19] Qi, H. et al. (2018) The Application of Supercritical CO₂ in Nuclear Engineering: A Review. *Journal of Computational Multiphase Flows*. 10(4): 149-158.

Navantia Reparaciones cerró 2023 con casi un centenar de buques comerciales reparados



Navantia dispone de tres centros de reparaciones en España, estratégicamente ubicados en rutas navieras claves del Mediterráneo y del Atlántico y cuentan con excelentes recursos tanto técnicos como humanos, amplias y bien equipadas instalaciones, experimentando personal propio, y el importante apoyo de las industrias auxiliares especializadas locales, para poder llevar a cabo complejos proyectos navales y ofrecer un servicio integral al cliente: reparación, modernización, transformación y mantenimiento de todo tipo de buques civiles y unidades militares.

Los centros de reparaciones de Navantia disponen de doce diques secos (con capacidad para buques con dimensiones máximas de hasta 376 m de eslora y 60 metros de manga), un dique flotante, y un syncrolift con

capacidad para reparar simultáneamente hasta doce barcos en el carenero, además de 7.000 metros de muelles de amarre y reparación a flote, y grúas con capacidad de elevación de hasta más de 200 toneladas, aunque para proyectos especiales, como el que se está desarrollando este año en la Ría de Ferrol, se pueden instalar grúas móviles de hasta 3.000 toneladas.

Navantia Reparaciones cerró el año 2023 con un total de 81 buques comerciales reparados en sus 3 centros de reparación localizados en la Ría de Ferrol (22 buques), la Bahía de Cádiz (47 buques), y la Dársena de Cartagena (12 buques).

La mayor parte de estos buques corresponden a las principales líneas de especialización

del negocio de Reparaciones: LNGs en (17 proyectos), grandes cruceros (13 proyectos) y megayates (10 proyectos).

La actividad de reparaciones comerciales se complementó con los habituales servicios de reparación y varada, mantenimiento programado, y atención a obras incidentales, ofrecidos a las unidades de la Armada Española con base en el Arsenal Militar de Ferrol, Base Naval de Rota y Arsenal Militar de Cartagena, así como a ciertas unidades militares de armadas extranjeras.

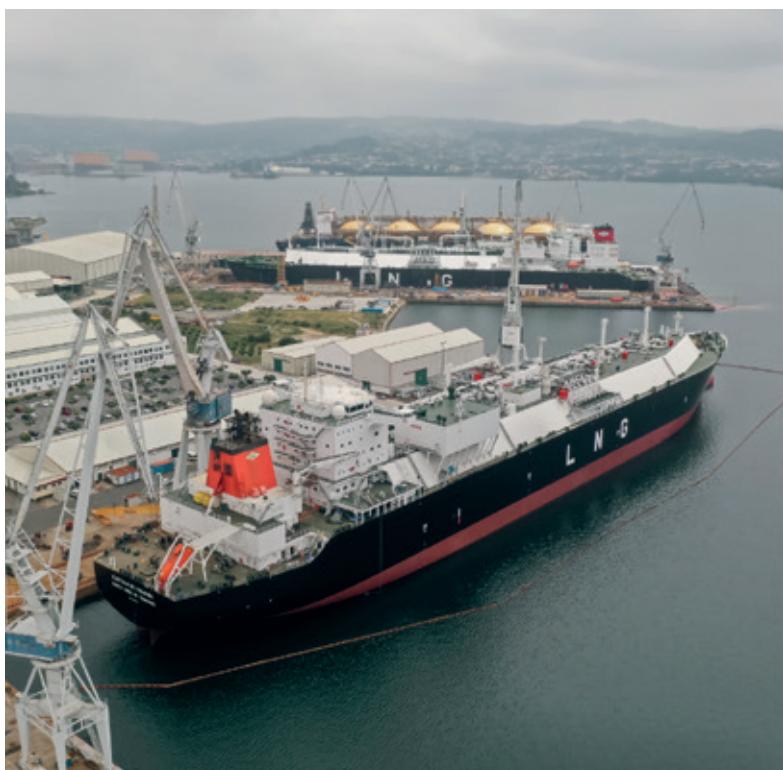
El centro de Ferrol, además los grandes proyectos relacionados con buques gaseiros, área en la que está especializada desde hace 30 años, inició en 2023 uno de sus mayores proyectos, que culminará a mediados del presente año. Se trata de la actualización y modificación del buque *Brave Tern*, una plataforma autoelevable para la instalación de aerogeneradores y equipos asociados en parques eólicos marinos, cuyo trabajo se compatibilizará con otros proyectos de reparación y modernización de buques LNG ya confirmados para el primer semestre de 2024 y otros en fase de negociación.

Las instalaciones de Reparaciones de Navantia en la Bahía de Cádiz incluyen el astillero de San Fernando, centrado en unidades de pequeño y medio porte, y el de Cádiz, cuya actividad principal está orientada al reacondicionamiento de grandes cruceros, por la gran capacidad que ofrece para estos grandes proyectos, incluyendo el dique seco de mayor tamaño de Europa.

En concreto, 13 grandes cruceros fueron reparados en estas instalaciones en el pasado año, destacando los trabajos a bordo del crucero *Carnival Freedom*, donde Navantia consiguió entregar y

montar con éxito una nueva “cola de ballena”, en tan solo 15 días. 2024 ha arrancado con una intensa actividad, destacando la varada del crucero más grande del mundo en la actualidad, el *Icon of the Seas*, y se prevé que se repararán más de 10 grandes buques de pasajeros de las principales compañías internacionales de cruceros.

Estratégicamente situado en la costa mediterránea, el astillero de Navantia Reparaciones en Cartagena está especializado en la reparación y reforma de yates de grandes esloras, tanto a motor como de vela. 2023 finalizó con un récord histórico de ocupación, puesto que el número de yates y megayates privados crece año tras año. Con relación a 2024, se esperan mantener las mismas cifras, o incluso superarlas, y ya tiene comprometidos alrededor de una veintena de proyectos entre las diferentes líneas del negocio, siendo algunos de ellos proyectos singulares de larga duración y complejidad técnica. Se estima que esta tendencia continúe el resto del año e incluso para comienzos de 2025.



Principales proyectos de Metalships durante 2023

A continuación, se resumen los principales proyectos llevados a cabo por Metalships durante el pasado año 2023.



Green Selje

Carguero de 109 m de eslora y 18 m de manga que estuvo en el astillero 8 semanas. Durante este tiempo, uno de los trabajos más importantes y de alto nivel técnico que se llevaron a cabo fue la fabricación e instalación de un timón completamente nuevo. Entre otros trabajos, también se le pulió la hélice, así como varios trabajos de aceros y protección de casco.





Ría de Vigo

Remolcador de 68 m de eslora y una manga de 13,75 m.

Titan Unikum

Petrolero de 152,16 m de eslora total y 19,80 m de manga. Durante los dos meses de su estancia se llevaron a cabo varios trabajos de pintura en tanques de lastre y bodegas. Se renovaron las tuberías de fuel y gasoil. Se retiraron, fabricaron e instalaron tuberías de acero inoxidable en la cubierta principal. Se llevaron a cabo varios trabajos eléctricos como el sistema bloqueo/desbloqueo de emergencia y la actualización del sistema de control de carga. Se reforzó la plataforma del colector y se renovó tubería, abrazaderas y soportes de la misma. Se fabricó e instaló una plataforma adicional y se fabricaron e instalaron dos extensiones de plataforma inferior. Varios trabajos de calderería también fueron realizados.



Western Endeavour

Pesquero de 71,02 m de eslora total y 12,62 m de manga. Se le colocaron 20 tejas de costado en babor y estribor. Limpieza y desgasificado de sentina y de tanques de gasoil. Removido de tapas de registro, chorreo y pintado de tanques. Pintado de superestructura y cubiertas, pintado de anclas. Renovado de ánodos, cierres de bocina. Montaje y desmontaje de la hélice de maniobra, vaciado de aceite y desmontaje de 4 palas y mecanizado. Reacondicionado de válvulas. Renovación, fabricado y montaje de tubería de refrigeración de motor auxiliar. Reparación de tubería de escape. Desmontar bombas C.I. y de refrigeración de agua salada. Suministro de dos motores eléctricos para bombas refrigeración. Varios trabajos de calderería.



Wilhelm

Buqueportacontenedores de 134,44 m de eslora total y 22,50 m de manga. Se llevaron a cabo varios trabajos, entre ellos, limpieza de tanques, trabajos de pintura, tratamiento de casco, calibrado de

cadenas, achique, limpieza y pintado de cajas de cadenas. Renovación de ánodos, desmontaje y montaje guardacabos para toma de caída de timón. Renovación cierres de bocina, reacondicionamiento de válvulas, trabajos de tubería y calderería en general.

Boa Birk

Remolcador de 24,39 m de eslora total y 9,15 m de manga. En el mes y medio que duraron los trabajos de reparación destacan el pintado de la superestructura, tanques de agua dulce, marcas, escudo de proa. Renovación de ánodos de zinc y aluminio. Reacondicionamiento de válvulas, trabajos de calderería y trabajos de habilitación.



Mar de Galicia

Patrullera de 40 m de eslora total y 8,4 m de manga.



L'Audace

Ro-ro de 142 m de eslora y 21 m de manga al que se realizaron varios trabajos en los casi dos meses que estuvo en el astillero. Pintado completo de su obra muerta y viva, repintado de marcas y líneas. Baldeo del portalón y tratamiento completo de superficie. Limpieza de anclas y cadenas y pintado

de marcas. Desmontaje de 4 palas de paso variable de las hélices propulsoras y núcleos, limpieza y pulido de las palas de las hélices de maniobra, reparación de las palas de hélice transversales y propulsoras. Desmontaje para revisión de 8 palas de núcleos de hélices y reacondicionamiento por completo de núcleos. Desmontaje de palas de timón para reconocimiento de diámetros en mecha y alojamiento. Desmontaje y montaje de líneas de ejes para drenaje y limpieza y posterior llenado de bocinas. Limpieza completa de válvulas y ajuste, esmerilado y sustitución de las que estaban en mal estado. Limpieza de tanques, saneamiento y pintado y varios trabajos de acero.

Talenduic

Atunero, de 79,80 m de eslora total y 13,50 m de manga, al que se le realizaron tareas de pintura en el casco, cubiertas y superestructura. También se le hicieron reconocimientos de calibración de la línea de propulsión, reconocimiento de válvulas de aspiración y descarga y varios trabajos de acero en distintas zonas del barco.



Greg Mortimer

Buque de pasajeros de 104 m de eslora y 21 m de manga, que vino a pasar una estancia corta a nuestro astillero para llevar a cabo varios trabajos pequeños.

Ocean Osprey

Buque de 66,80 m de eslora total y 16 m de manga al que se le realizaron varios trabajos de adaptación, como fueron; la renovación de todo el esquema de pintura del casco, cubiertas, superestructura y botes salvavidas. Renovación completa de su protección catódica. Limpieza de boxcoolers.



Se le renovó el esquema de pintura entero del casco y de las bodegas y se le realizaron varios trabajos de aceros, además de renovar sus motores principales y auxiliares.

Frieda

Buque de carga general de 138,45 m de eslora y 21,0 m de manga al que se le renovaron los cables de dos grúas de 50 t cada una. Se le hizo un mantenimiento completo de sus motores, así como la instalación de una nueva planta de lastre.

Jumbo Vision

Carguero de transporte especial de 110,10 m de eslora y 20,50 m de manga. Durante su estancia de aproximadamente dos meses con nosotros se le renovaron los cables de sus grúas de 800 t cada una, se le hizo un mantenimiento completo de sus motores y se le realizó una renovación completa de su esquema de pintura en el casco, además de algunos trabajos de renovación de la habilitación. Sus válvulas de succión y de descarga fueron renovadas y sus cadenas calibradas, así como la protección catódica. Finalmente, se le practicaron varios trabajos de aceros en el casco y las bodegas.



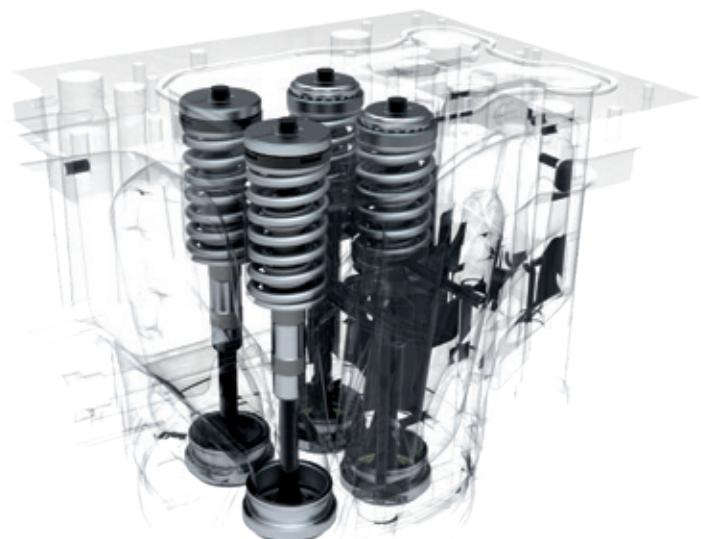
Alargamiento del pesquero *Villa de Marín*



A finales de enero, volvía a tocar agua el buque *Villa de Marín*, del Grupo Nores, en el astillero Placeres de Marín. Los trabajos para su alargamiento comenzaron en junio del año pasado. La ingeniería F. Carceller está

detrás de este proyecto y Talleres Gestido, quienes han fabricado el doble fondo, forros y cubiertas del nuevo bloque de 14,50 m de eslora, siendo montado en el ya mencionado astillero. Con este alargamiento se dota a la embarcación de una mejor eficiencia, seguridad y rendimiento.

El buque, fue construido en 1998 por Construcciones Navales Santodomingo, instalaciones actualmente ocupadas por Armón Vigo. La eslora original de este buque esa de 39,50 m y después del alargamiento es de 54 m.



MÄRKISCHES WERK
Your Engine. Our Ingenuity.™

MWH es un proveedor global de soluciones para mejorar la eficiencia y los ciclos de vida de las culatas y de sus componentes para motores de combustión medianos y grandes. Nuestra misión es ofrecer productos y servicios innovadores de la más alta calidad a través del diseño, producción y montaje, de válvulas de admisión y escape, de asientos, de guías de válvulas, muelles y rotadores.



Nueva reunión del Alto Consejo Consultivo de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España

CONECTADOS

Con la intención de que la Asociación se vea asistida de una manera importante, pero fundamental, por las ideas de personas relevantes del sector y de fuera de él, que ayuden a formar una estrategia de futuro y valoren los caminos emprendidos, desde 2010 la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España cuenta con un “Alto Consejo Consultivo” y a cuyos miembros agradecemos desde aquí su valiosa colaboración.

El pasado 22 de febrero de 2024, tuvo lugar en el Instituto de la Ingeniería de España, Madrid una nueva reunión del Alto Consejo Consultivo. En la misma se presentó el primer Informe de situación de la Ingeniería Naval, un estudio de la profesión que establece “la urgente necesidad de aumentar el número de nuevos ingenieros navales en los próximos cinco años, que permita atender la creciente demanda de un sector en pleno desarrollo”.

La Asociación convocó a participar a la decana del Colegio Oficial de Ingenieros Navales, Pilar Tejo Mora-Granados; a las Escuelas Superiores de Ingeniería Naval y a las adminis-

traciones públicas, así como a las principales organizaciones sectoriales como el Clúster Marítimo Español, la Fundación SOERMAR, la Real Academia de la Ingeniería, la Real Academia del Mar y la Unión Profesional de Ingenieros Industriales.

El informe concluye que las universidades tienen capacidad para duplicar el actual número de nuevos ingenieros navales, ya que en los últimos cinco cursos la media de estudiantes de nuevo ingreso en el Grado de Ingeniería naval ha sido de 359 frente a las 450 plazas ofertadas; es decir, se ha cubierto el 80% de las plazas ofertadas. Además, la media de graduados es de 218, es decir, el 60% de los alumnos que ingresaron y el 48% de las plazas ofertadas. En cuanto al Máster de ingeniería naval- titulación que acredita para el ejercicio profesional como Ingeniero Naval la media de matrículas en ese mismo periodo ha sido de 116, un 68% de las plazas ofertadas. De ellos, solo 72 completan los estudios de máster cada año, lo que representa el 62% de los que ingresaron y el 42% de las plazas ofertadas. El informe asienta las bases de un plan de acción que permita superar la cifra de

700 egresados del Máster de Ingeniería Naval en los próximos cinco años.

Factores demográficos, sociológicos y académicos

Según el análisis realizado, los principales factores que determinan el bajo número de ingenieros navales y oceánicos atienden a razones demográficas, sociológicas y académicas. Los efectos demográficos y sociológicos dibujan una industria sin paro y en un periodo de gran actividad en el que, sin embargo, no existen profesionales suficientes para atender la creciente demanda del sector. El número de ingenieros egresados de las Escuelas no es suficiente para compensar las jubilaciones y atender las necesidades del sector. La inminente jubilación de generaciones que fueron muy numerosas, el

descenso continuado de la natalidad en los últimos años y un distanciamiento de las generaciones más jóvenes de las carreras técnicas y del ámbito industrial urgen la acción coordinada y decidida de todo el sector. Por otra parte, el número de ingenieros navales en la docencia es extremadamente bajo y sólo tres ingenieros navales son catedráticos entre todas las escuelas de España; un factor incide en la calidad de la enseñanza de las disciplinas propias de la profesión.

En consecuencia, el Informe de Situación de la Ingeniería Naval representa el primer paso de una propuesta audaz y adecuada a la dimensión del reto que plantee acciones a corto, medio y largo plazo que incluya, necesariamente, despertar vocaciones tempranas entre los alumnos de los centros de educación secundaria y bachillerato.

La Delegación Territorial en Madrid entrega a la ETSINavales-UPM una placa conmemorativa



El pasado 7 de febrero, tuvo lugar el acto de descubrimiento de la placa conmemorativa que la Delegación Territorial en Madrid de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España y del Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos, entregó a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de la Universidad Politécnica de Madrid (ET SIN-UPM) en reconocimiento a su compromiso, dedicación y profesionalidad en la formación de los ingenieros navales a lo largo de los años.





Mesa redonda: “Atracción de Talento en la Ingeniería Naval”

Previo al acto de la entrega de la placa conmemorativa, tuvo lugar en el salón de actos de la ETSI Navales -UPM, esta mesa redonda en la que participaron: Antonio Crucelaegui Corvinos, director de la ETSI Navales de la UPM; Pilar Tejo Mora-Granados, decana del Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos; Diego Fernández Casado, presidente de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España; Francisco Vilchez, director técnico de la autoridad técnica de ingeniería en Navantia S.A.; Marian Gálvez, business development manager en Det Norske Veritas; Javier de Juana Gamo, Spain business Manager & South West Europe Commercial Manager en Lloyd's Register; y Rodrigo Pérez Fernández, decano territorial del Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos y de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España. En una mesa redonda se puso de manifiesto la necesidad

urgente de captar talento para responder a la demanda del sector naval.

Desafíos actuales y soluciones propuestas

Las intervenciones de Marian y Pilar destacaron la falta de reconocimiento y comprensión pública sobre la profesión de ingeniería



Pilar Tejo y Antonio Crucelagui



De izda. a dcha.: Antonio Crucelaegui; Diego Fernández; Marian Gálvez y Rodrigo Pérez



Francisco Vilchez y Pilar Tejo

naval. Ambas coincidieron en la necesidad de comunicar la trascendencia de esta disciplina, destacando sus contribuciones a la sociedad y sus oportunidades de carrera. Para ello, se propuso una estrategia integral que incluye la promoción de modelos de referencia, la colaboración entre empresas y el fomento de referentes en el campo.

Grandes oportunidades a través de la tecnología y la sostenibilidad

Francisco y Javier señalaron dos áreas clave que definirán el futuro de la ingeniería naval: la digitalización y la sostenibilidad. Desde la implementación de nuevas tecnologías, como la realidad virtual y la fabricación aditiva, hasta el surgimiento de buques autónomos y el uso de energías renovables, el sector está experimentando una transformación radical. Estas innovaciones no solo ofrecen soluciones eficientes, sino que también abren nuevas vías de desarrollo profesional a nivel internacional.

Rol de las instituciones educativas y universidades

Diego y Antonio resaltaron el papel fundamental de las instituciones educativas en la atracción y formación de talento en ingeniería naval. Si bien se reconoció el momento favo-



Javier de Juana

rable que vive el sector, también se subrayó la importancia de adaptar los planes de estudio para reflejar las demandas cambiantes del mercado. Se hizo hincapié en la necesidad de transmitir la pasión y la relevancia de la ingeniería naval desde edades tempranas, además de destacar la dinámica y el potencial transformador de esta profesión.

Cierre y perspectivas futuras

Rodrigo enfatizó la importancia crítica de la ingeniería naval para abordar los desafíos del futuro, instando a una colaboración continua entre todas las partes interesadas. “En un mundo cada vez más interconectado y dependiente del transporte marítimo, la ingeniería naval emerge como un pilar fundamental para construir un futuro más sostenible y próspero”.

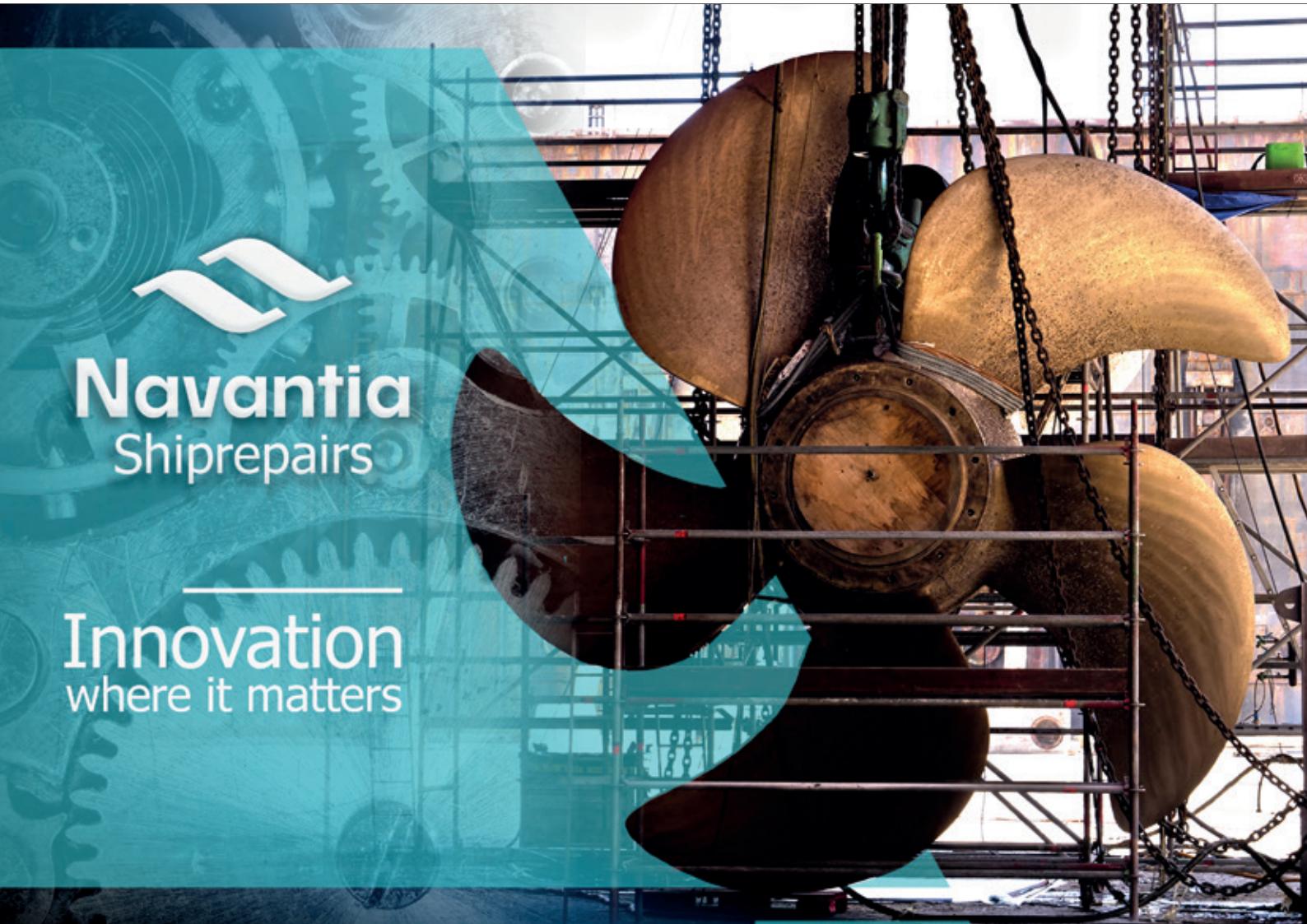


Jornada AINE: “Claves de la gestión de la transición de ejecutivo a consejero”

El pasado 6 de febrero, tuvo lugar la jornada organizada por el Observatorio de Empleo de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España, titulada “Claves de la

gestión de la transición de ejecutivo a Consejero. El papel del directivo y su transición a Consejos de Administración o Asesores.”

Participaron: Diego Fernández Casado, presidente de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España; Antonio Nuñez Martín, de Paragon Partners; Vicente Moreno García-Mansilla, I. N., ex-presidente de Accenture y consejero en Banca March y Metrovacesa; y Federico Florez Gutiérrez, I.N. y ex miembro del Comité de Dirección de Ferrovial y consejero en Inversis y Mapfre.





Ejercicios de búsqueda y rescate en zonas árticas

El deshielo del Ártico está directamente relacionado con la apertura de nuevas rutas de navegación que hacen disponer de derrotas más rentables y seguras.

Tráfico marítimo en aguas árticas

Según datos recogidos por Protection of the Arctic Marine Environment (PAME), a través

del su sistema de recogida de datos ASTD, el número de buques que navegan por el Ártico ha aumentado un 37% entre 2013 y 2023, aproximadamente 500 buques.

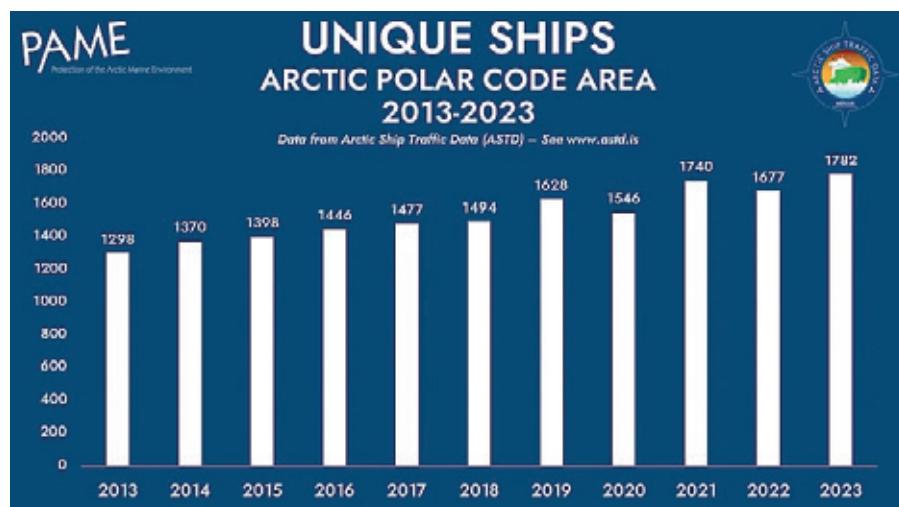


Figura 1. Evolución número de buques por zonas árticas entre 2013 y 2023.

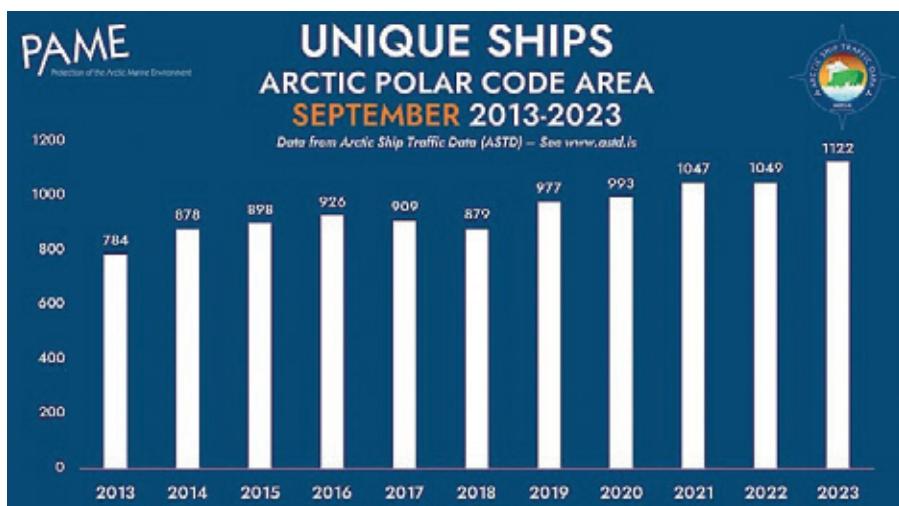


Figura 2. Número de buques que navegaron en zonas árticas durante el mes de septiembre de cada año entre 2013-2023.

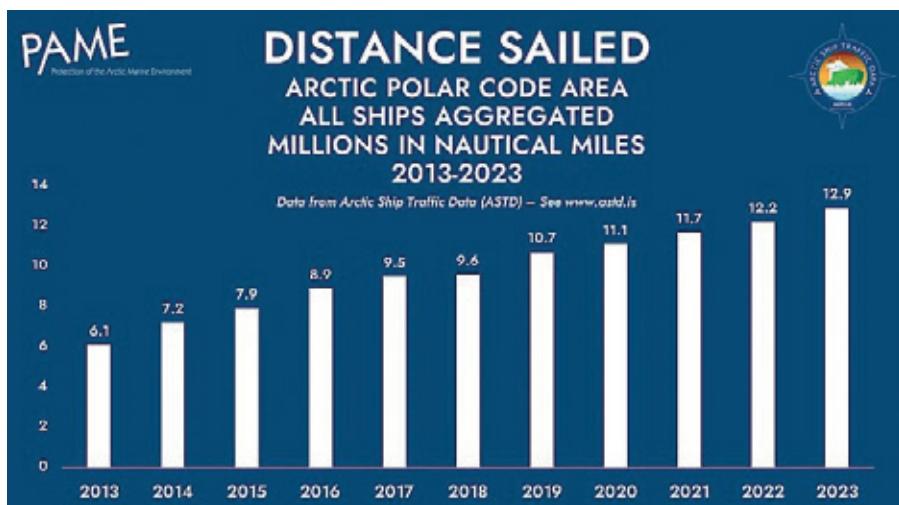


Figura 3. Millas náuticas navegadas por zonas árticas entre 2013 y 2023.

Es en el mes de septiembre cuando el número de buques aumenta, ya que la superficie helada es menor. Por ejemplo, en septiembre de 2023, se registraron 1.122 buques y durante todo el año el número máximo fue de 1.782. En lo que a distancias de navegación se refiere, también se ha registrado un aumento en la década mencionada, concretamente un 111%, de 6,1 millones a 12,9 millones de millas náuticas.

¿Qué tipos de buques navegan por aguas árticas?

Según se puede observar en la figura 5, un tercio de todos los buques que navegaron por

aguas árticas fueron pesqueros (723). Le siguen, a gran distancia, los buques de carga general (181). Solamente el número de buques petroleros y de investigación ha disminuido en esa década. Destacan el aumento de buques gaseros y de los graneleros, consecuencia del proyecto Yamal LNG y de la mina Mary River (isla Baffin) en el territorio del ártico canadiense Nunavut.

Seguridad

El aumento de la navegación en zonas Árticas lleva asociada la constante actualización de las normativas internacionales que regulan

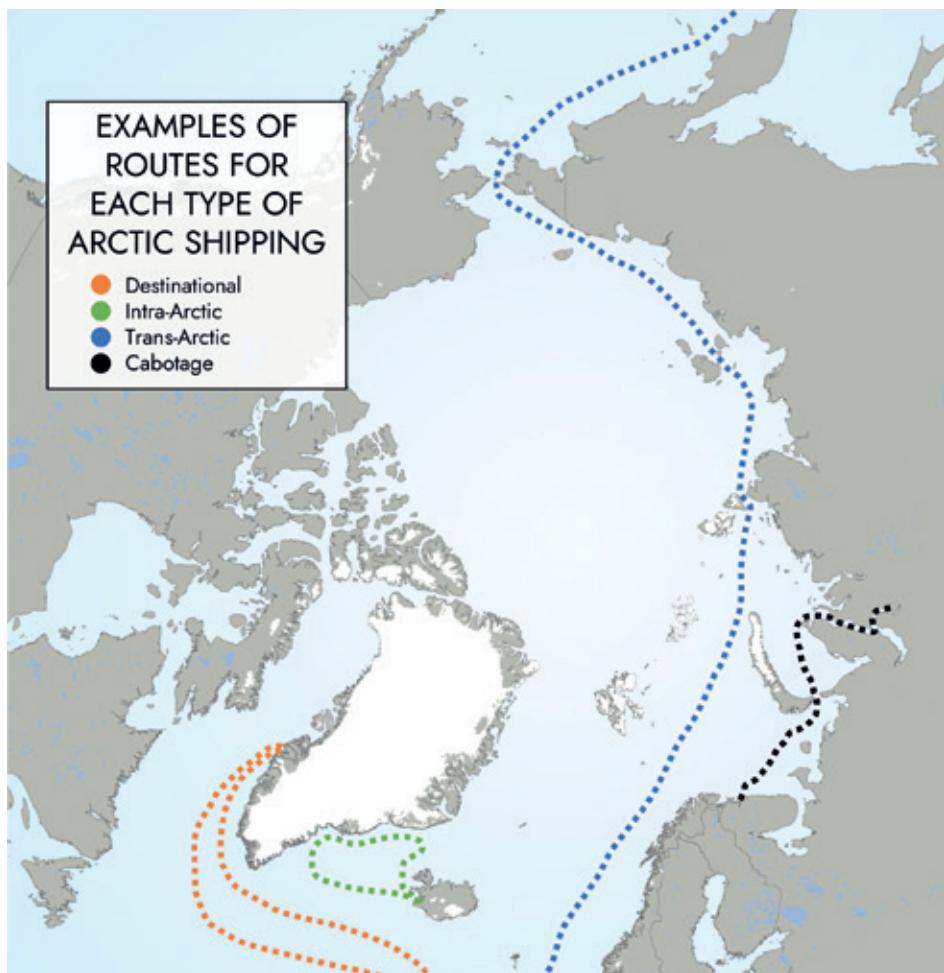


Figura 4. Cuatro principales rutas marítimas por el Ártico: en naranja, las rutas con destino la Antártida; en verde, las rutas de transporte intra-ártico; en azul, las rutas trans-árticas; y en negro, rutas de cabotaje. Fuente: Arctic Marine Shipping Assessment (AMSA) Report.



Figura 1. Evolución número de buques por zonas árticas entre 2013 y 2023.

las características de estos buques y de los equipos a bordo. Los riesgos que entrañan la navegación polar afectan directamente a los sistemas de supervivencia a bordo. El capítu-

lo III del Convenio SOLAS y el Código Internacional de dispositivos de Salvamento (IDS) recogen las características de dichos sistemas. Así mismo, el Código Polar (en vigencia desde

enero de 2017) hace hincapié en estos asuntos, y las directrices de la OMI (de aplicación voluntaria) relativas a los dispositivos y medios de salvamento para buques que operan en aguas polares, las que indican las características específicas de estas embarcaciones y equipos de supervivencia.

Los ejercicios de búsqueda y rescate, conocidos como SAREX (de las siglas en inglés Search And Rescue Expeditions), están destinados a mejorar la capacidad de respuesta, coordinación, eficiencia y capacidad de los servicios de búsqueda y salvamento. Durante los últimos años, los SAREX realizados en zonas árticas, han ayudado a mejorar estos sistemas, los equipos y los procedimientos.

En 2021, Bureau Veritas participó en el primer ejercicio SAREX internacional en una zona polar remota, que se llevó a cabo para identificar y abordar los retos de las operaciones de rescate masivo en el Ártico (AMRO). Este ejercicio reunió a equipos de Rusia, Groenlandia, Islandia, Canadá, EE. UU. y Noruega, y participaron expertos académicos, oficiales y tripulantes y equipos conectados en remoto. El ejercicio sobre el terreno reunió a un grupo de 67 personas encargadas de levantar el campamento de supervivencia. Bureau Veritas certificó los equipos probados, que superaron

los criterios y normas de seguridad y los exigidos por el sector turístico, concretamente por la Asociación Internacional de Operadores Turísticos de la Antártida (IAATO) y la Asociación de operadores de cruceros expedición al Ártico (AECO). De nuevo, en septiembre de 2023, se ha vuelto a llevar a cabo otro ejercicio SAREX en el que han participado nuevamente Bureau Veritas y Ponant, con el mismo buque de crucero de exploración, el Le Commandant Charcot. La fuerza aérea y las guardias costera canadiense y estadounidense participaron también en este ejercicio.

En esta ocasión, los ejercicios de búsqueda y rescate tuvieron lugar en la Isla Herschel (Canadá), frente a la costa de Yukon. Y el campamento de supervivencia se estableció en Pauline Cove, una estación en la costa oeste de la isla. Podemos diferenciar en la imagen inferior, en la que se muestra parte de la costa este de la isla de Herschel, las áreas definidas para este simulacro: en rojo, la zona del campamento de los supervivientes; en verde, la zona de aterrizaje de los medios aéreos canadienses; en morado, la zona de aterrizaje del personal paramédico que llega en paracaídas. En naranja, negro y marrón, zonas viables que finalmente en estos ejercicios no se utilizaron. Se analizaron retos, limitaciones y oportunidades en



Figura 6.
Isla de Herschel



Figura 7. Costa este de la isla de Herschel.



Visita el mapa interactivo de la Isla de Herschel y conoce su historia

una operación de rescate masivo en el ártico (AMRO, siglas en inglés) que comprendió las tres siguientes fases de un SAREX:

- Fase 1: a bordo del buque
- Fase 2: a bordo de botes de rescate
- Fase 3: supervivientes en tierra

El Le Commandant Charcot tiene capacidad para 245 pasajeros y 215 tripulantes. En el informe se detallan el género, nacionalidad y las edades de los participantes en el ejer-

cicio. Concretamente, fueron 24 pasajeros y 40 tripulantes.

Kit de supervivencia grupal: Ice Cube

Tras los ejercicios de 2021, se revisó el diseño del “Ice Cube”, el kit de supervivencia grupal, para que cumpliera con los requisitos recogidos en el capítulo 6.14 de la norma ISO 24452. En la imagen que adjuntamos podemos apreciar las dimensiones de este kit que puede ser remolcado por un bote de

rescate o un bote salvavidas. Dentro del “cofre” hay: tiendas, refugios polares, bombas manuales, molinetes, eslingas, sistema de producción de agua dulce, alimentos, señales visuales, dispositivos de comunicación, retretes, etc. Entre las mejoras añadidas en el kit destacan los suelos de los refugios que buscan mejorar la comodidad de las personas en el interior de los mismos; el cabestrante para poder transportar el Ice Cube a tierra firme; la mejora de los hornillos para cocinar, baterías portátiles; tapones para los oídos y mejoras en los trajes de inmersión.

Tres miembros de la tripulación fueron los encargados de probar el sistema de ósmosis inversa que formaba parte del kit para producir agua potable. En una hora obtuvieron dos litros y medio. Teniendo en cuenta que cada persona necesitará dos litros de agua al día, aproximadamente se necesitarán 50 minutos para producir dicha cantidad.

Tras el ejercicio, se ha concluido que será necesario establecer una estrategia de producción de agua para garantizar las raciones necesarias durante el tiempo máximo de rescate previsto. El fabricante deberá comprobar la capacidad de producción de agua, que no se vea mermada al respetar los tiempos de inactividad del sistema y que permi-

ta un uso intensivo durante al menos cinco días seguidos. De no ser así, podría ser necesario añadir equipos o piezas de repuesto.

También se evaluó la operatividad de un refugio polar hinchable, cuya finalidad es la de proteger del frío a los evacuados durante 24 h. En el lapso de una hora, la temperatura interior aumentó de 12°C a 22°C, sin necesidad de calefactores ni evidencia de concentraciones de CO₂ prohibitivamente elevadas.

Siguientes pasos

Los resultados del SAREX serán presentados al subcomité de sistemas y equipo del buque (SSE) de la OMI para asesorar en las directrices provisionales sobre dispositivos y medios de salvamento para buques que operan en aguas polares. Los resultados obtenidos subrayan la importancia del esfuerzo colectivo y demuestran el compromiso de Bureau Veritas y Ponant.



Podéis escaner este QR si queréis leer el informe al completo elaborado por Bureau Veritas.



Figura 8. Ice Cube



El agua y su problemática ineludible



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 (AES).

Académico de Número de la Real Academia de la mar.

Ex Presidente Comité Asuntos Marítimos IIE.



“Déjà vu”

En medio de las huelgas y protestas del mundo agrícola motivadas por los efectos de la PAC, Política Agraria Común de la Unión Europea, (aunque no sólo por ella), uno no dedicado a la agricultura ni a la ganadería tiene una sensación de que, en cierto modo, está contemplando algo ya vivido, aunque en un campo diferente perteneciente al sector secundario de la economía y no al terciario.

De ahí el título de esta sección de entrada de la Coyuntura: el conjunto de dos palabras francesas que se utiliza internacionalmente para definir algo que se repite.

Con independencia de las estructuras de la cadena de costes del mercado de los alimentos en España y en la Unión Europea, hay dos aspectos que podríamos escoger como paralelos entre la industria alimentaria y la industria de la construcción naval europea, antes de que esta última quedara diezmada por la competencia del Extremo Oriente.

Se trata de una comparación en tiempos diferentes y en actividades de tamaños también diferentes, pero que tiene algo en común: el tratamiento que reciben por parte de la UE en lo que respecta a sus políticas comerciales y de competencia en los ámbitos del mercado interior y exterior.

Digamos, como información “fuera de texto”, que en España el pasado año 2023, el saldo comercial del comercio agroalimentario exterior fue positivo en valor en 14.376 M€ lo que supuso una variación interanual del +6,7 %, mientras en volumen (miles de toneladas), estas cifras fueron -17,743 y (95,2 %).

Es decir, que, aunque subió el valor a lo largo de 2023, disminuyó el volumen con una aceleración enorme.

Suponemos que en el resto de la UE las cosas serán parecidas, pues las quejas y movilizaciones son semejantes.

No vamos a entrar con más detalle en estos números, pero sí en el sentido de los costes de producción que serían el paralelo con sus homólogos en la industria de construcción naval. La doctrina de la UE respecto a política de la competencia ejerce una condición férrea sobre las condiciones de todo tipo que debe cumplir la producción europea, pero no sobre las prácticas de países externos a la UE para vender su producción, ya que eso es imposible de hacer. Pero por razones de orden laboral, salarios, jornadas, tratamientos, etc., especialmente las laborales y las condiciones de trabajo mucho más laxas y permisivas en muchos países terceros, los precios que estas pueden ofrecer en su exportación son, obviamente, más bajos que los europeos, lo que hace que sea más atractivo para los distribuidores y consumidores europeos comprar productos importados, aunque se publicite su origen en ellos.

Esta es una historia real que estamos cansados de escuchar. Los productores europeos dejan de laborar porque no resisten los precios de la competencia exterior, se prima la reducción de espacios cultivables y las cabezas de ganadería por razones de competencia interior y lo que todos ya sabemos. No se pueden en general poner barreras aduaneras porque eso sería ir contra las leyes del libre mercado, y además si vendemos a precios de mercado internacional, estaríamos cometiendo “dumping”. Para que esto no suceda, se prohíbe vender a pérdidas. Como se puede ver, parece existir lo que en Andalucía suelen llamar un “contradiós” generalizado.

En estos aspectos, la UE se ha comportado como si el mercado interior europeo fuera realmente único y suficiente, cuando no lo

Tabla 0. Indicadores económicos

Países	PIB 22 en %	Pobl. en mill.	PIB 23* %	Deuda % PIB	Ppto. % PIB	Pro.Ind %año	IPC *-23	Tasa Interés	Divisa/ \$	Coste trabajo	Desempleo	H Trab/ año	Salario/ mes	En CO ₂ /cáp	En CH ₄ %**
España	5,5	48,1	2,3	109,9	-2	107	3,3	3,6	0,92	1,9	11,9	1.577	2.064	4,92	500
EuroZona	3,5	446,8	0,6	85,1	-3	109	5,5	2,4	0,92	2	6,4	1.513	1.903	6,13	
Francia	2,6	64,7	0,8	111	-5	100	5,7	3,1	0,92	0,5	7,3	1.402	3.137	4,66	29
Alemania	1,9	83,3	-0,1	69,6	-2	95	6	2,4	0,92	0,6	3,1	1.322	4.094	8,05	86
Italia	3,9	58,9	0,7	151	-5	104	6,1	4,2	0,92	1,5	7,2	1.657	2.333	5,55	183
Irlanda	10,1	5,06	2,4	44,3	2	144	3,9	4	0,92	1,8	4,8	1.809	3.241	6,68	-49
R. Unido	4	67,7	0,2	107	-4	110	6,8	4,3	0,79	2	4,3	1.370	5.460	5,15	-24
Rusia	-2,3	144,4	2,8	17	-3	125	6,2	11,7	89,8	0,4	2,9	1.874	1.400	12,1	502
EE. UU.	2,1	340	2,4	129	-6	99	4,1	4,3	1		3,7	1.767	3.600	14,86	844
China	3	1.425,60	5,5	71,5	-4	113	0,7	2,6	7,18	2	5,1	2.174	1.820	8,05	614
Japón	1,4	123,3	1,8	262,5	-5	94	2	0,7	146	0,5	2,4	1.738	2.808	8,57	236
India	6,9	1.428,60	6,9	84,2	-6	127	5,7	7,2	83	6,3	6,8	2.117	1.454	1,92	347
Corea Sur	2,6	51,7	2,2	51,3	-3	109	3,7	3,6	1.335	1,5	3,3	2.063	3.122	11,94	433

Unión Europea: Financiación “Next generation” en miles de millones €: Recuperación y resiliencia 312,5 y 360,0 en créditos. Otras financiaciones: 77,5.

Tasa de interés: Bonos gobierno a 10 años.

Coste trabajo: Bruto + SS. 2016= 100% sobre 2022. Previsión 2023. CO₂/cápita en 2021/2020. Mundo 4,6 %. (**) CH4: Variación Emisiones (T. Equivalentes CO₂).1850-2021. Prod. Ind, manufacturas, 2015= 100 desempleo: % sobre población activa: España: no incluye Fijos Discontinuos. Deuda Eurozona corresponde a toda la UE. Fuentes: The economist, Trading Economics. OCDE, BCE, B.España, datos macro, Our world in data, countryeconomy.com, Eurostat

Indicadores Marítimos

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Flota Mundial. 1.000 Mtpm	1.747	1.806	1.862	1.964	2.058	2.016	2.116	2.200	2.309
Tamaño medio en tpmx1.000		36	37	37	37	38	39	39	39
Cartera mundial NC % Flota	17	17	11	10,3	8,8	10	10,8	10	10
Tráf mar. Mund.Mt-milla	51.113	52.775	53.361	56.996	57.399	56.993	58.365	59.055	61.418
Traf. Mar. Mundial Mt	10.023	10.295	10.716	11.019	11.071	10.648	11.063	12.119	12.410
Cartera Mundial NC. Mcgt	110	89	83	85	82	8	24	45,7	109,1
Entregas NNCC en Mcgt	39	37	35	33	35	30	45,3	38	35
Peroleo Brent \$/barrel	36,7	55,2	68,7	62,7	69,3	83,5	77,8	84,86	78,3
Comb Ifo-380 \$/T (Rott)	162	213	370	367	251	450	458	418	439
Comb MGO/VLSFO \$/T	335	383	593	544	567/502	687/580	697	535	784/562
Metanol \$/T Verde/gris									550
LNG \$/MMBTU. H.Hub	1,93	3	3,12	2,73	2,33	5,08	5,05	3	2,52
Acero plancha. \$ / T(Ch)	420	460	580	600	580	850	750	905	900
PIB MUNDIAL 2023. Mill. US\$	74.954	76.153	80.823	85.883	87.390	84.971	94.935	103.860	108.840
Emisiones CO ₂ % Total mund.				2,3	2,2	2,5	3	2,3	2,3

Emisiones CO₂ 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 mmAsia. Comb: Ship & bunker.com marine methanol

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

es. La UE se ha ocupado fieramente de evitar el comercio desleal entre los países miembros, desatendiendo las vicisitudes en el comercio exterior, como si la UE fuera una isla autosuficiente, y, por largo, no lo es.

Bien, ¿por qué hemos empezado hablando de cierto paralelismo con la industria de la construcción naval, aunque sea un paralelismo parcial? Pues porque a la floreciente industria naval civil europea del final del

Tabla 1. Precios de nuevas construcciones en MUS\$

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PETROLEROS						
VLCC (300.000 tpm)	92	86	109	121	124	129
Suezmax (150.000 tpm)	61	56	76	84	82	94
Aframax (110.000 tpm)	48	47	61	64	66	82
Panamax (70.000 tpm)	45	41	36	42,5	54	58
Handy (47.000 tpm)	36	34	33	33	52	52
GRANELEROS						
Capesize (170.000 tpm)	50	46,5	60	61	67	67
Kamsarmax*(82.000 tpm)	27	26	33	34	38	39
Handymax (60.000 tpm)	25	24	30	31	35	35
Handy (35.000 tpm)	23	23	28	28	32	32
PORTACONTENEDORES						
1.000 teu	19	18,5	18,5	16,7	23	23
3.500 teu	40	40	50	32	27	27
6.700 teu**	72	72	72	66	42	42
8.800 teu***	89	88	95	81	86	105
13.000 teu****	109	108	140	112	126	134
20.000 teu	145	144	182	150	190/240	190/240**
GASEROS						
LNG 174.000 m ³ *)	186	186	208	260	260	263
LPG 82.000 m ³	71	71	82	76	69	95
Car carrier						
3.500-4.000 / 6.500 ceu	59	59	67	68,5	68,5	68,5
2.300-1.700	48	47,6				
MULTIPROPÓSITOS						
17.200 tpm	25	21,5	21,5	22	22	22

LNG: antes 160.000 m³

(*) Antes 70.000 (**) Antes 6200 (***) Antes 8.000 (****) Antes 12.000.

Fuente: ATHREP, Baltic Exchange, Clarkson, OCDE, ITF, Fearnleys O. Report Athenian R 5/23 (**) Metanol ene-24

pasado siglo, le sucedió algo parecido, cosa que hemos pagado con su casi desaparición. El error de base es similar en ambos casos, aunque entendemos que encontrar una solución es mucho más endemoniado en el primer caso que en el segundo, por su magnitud, y porque en él está involucrado algo de lo que depende el mayor porcentaje con diferencia del PIB mundial además de sus connotaciones humanitarias derivadas de la desigualdad existente.

Esa interpretación que en el fondo está transmitiendo el pensamiento de que somos tan buenos que finalmente todo el mundo nos

acabaría imitando no ha coincidido con la realidad de las cosas y finalmente está socavando la soberanía de la UE en muchos de los capítulos que son clave para mantener un desarrollo. Ojalá las decisiones en la UE se tomen pensando en lo que ha pasado con la pérdida de soberanía estratégica en el transporte marítimo, pero parece difícil dada la larga historia y su interpretación equivocada.

AGUA

Los problemas de disponibilidad de agua dulce en este siglo han suscitado una enorme preocupación, tanto en España como en



todo el mundo. La combinación de sequías importantes en alguna partes del mundo, cuya naturaleza ocasional no está en absoluto probada, así como el exceso de precipitaciones en otros lugares, que no concuerdan con lo que era tradicional a lo largo de los años, tanto en el tiempo como en la forma, requieren, no sólo una exploración de las causas, que parecen lógicamente ligadas al cambio climático, sino a un estudio serio de cómo se puede abordar un posible remedio, que, este sí, ha de tratar de ser estructural y no un parche que intente solucionar temporalmente el problema.

No podemos esperar que la naturaleza nos obsequie de nuevo con un régimen de lluvias del carácter y periodicidad del que hemos venido gozando, incluso en el siglo XX.

Es evidente que ese estudio serio del que hablamos, (qué, por otra parte, no se vis-

lumbra) no es óbice para que se aborden soluciones temporales para combatir la situación creada.

En nuestro propio país, la situación de sequía en algunas regiones se ha agudizado en términos dramáticos en la actualidad, obligando a tomar medidas que nos retrotraen a épocas pasadas, en las que periódicas sequías nos asolaban con restricciones porque, aunque éramos menos, las infraestructuras de entonces tampoco ayudaban. Pero la realidad es que “nosotros, los de entonces, ya no somos los mismos” (como dijo el poeta ²).

La razón por la que traemos el problema del agua a este artículo de la “Coyuntura” es porque se viene hablando mucho, tanto aquí como fuera de aquí, del transporte de agua potable por vía marítima, es decir, en barcos.

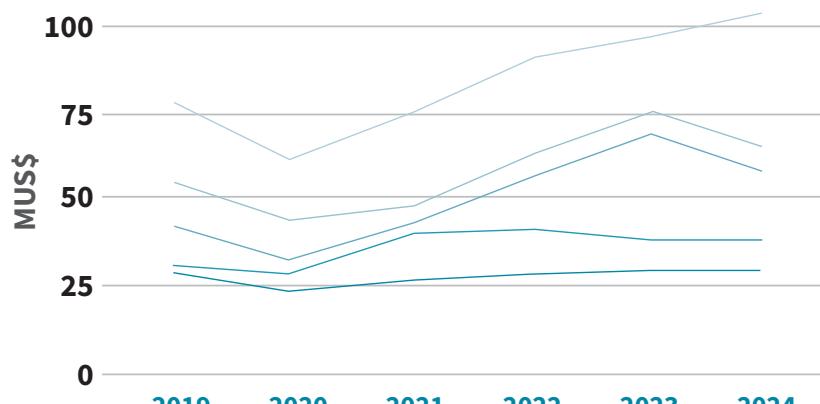


figura 1a.
Precios petroleros
segunda mano

Fuente: ATHREP,
Baltic Exchange, Clarkson,
OCDE, ITF, Fearnleys
O. Report,
Athenian R 5/23
ene-24

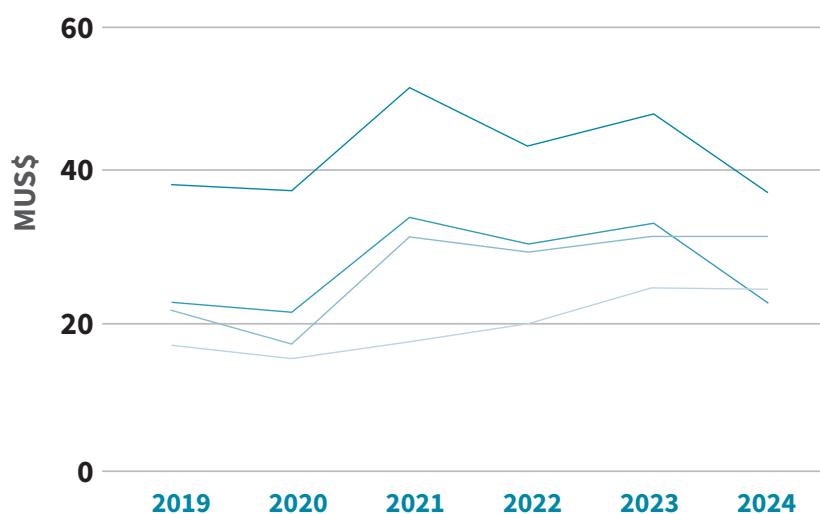


figura 1b.
Precios graneleros
segunda mano

Fuente: ATHREP,
Baltic Exchange, Clarkson,
OCDE, ITF, Fearnleys
O. Report,
Athenian R 5/23
ene-24



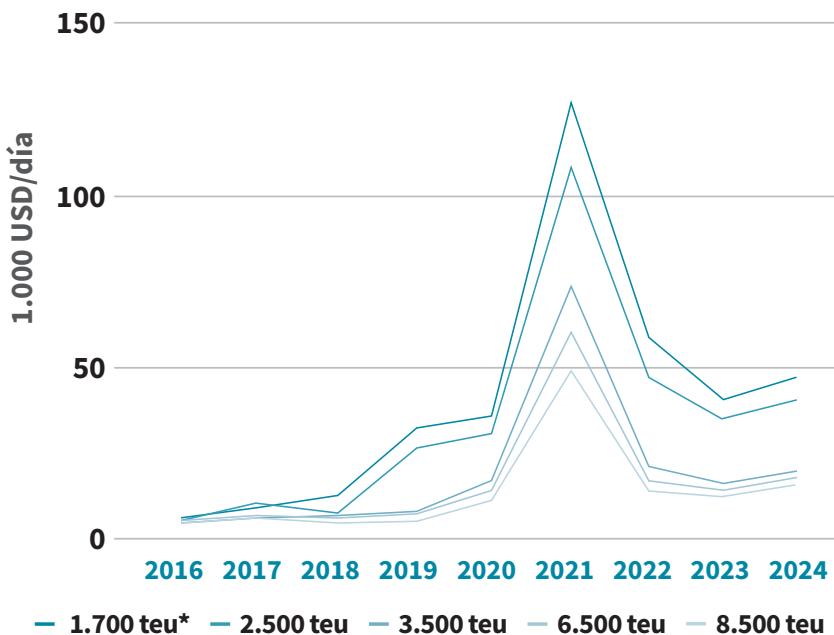


figura 2.
Portacontenedores.
T/C a 1 año
en 1.000 USD
 enero-24
 Fuente: Harper Petersen



Se dice que sería una solución temporal y de último recurso, (hasta que llueva).

Dada la situación en todo el mundo, y las cifras que se manejan cara al futuro, parece insoslayable que el mar se convierta en protagonista de las soluciones, combinando el transporte marítimo con el mayor desarrollo de las energías renovables de origen marino; fundamentalmente la eólica.

Es por todo esto y por lo que podemos comentar a continuación, por lo que creemos en el papel fundamental de, en nuestro

caso, de la ingeniería naval y sus múltiples escenarios de actividad.

Las situaciones de urgencia

El autor tiene la sensación de que, multitud de veces, las soluciones de “emergencia” que son siempre más caras, (porque si no lo fueran no serían de emergencia), tienden a convertirse en permanentes, y generalmente no están preparadas para ello.

Las emergencias tienen su razón de ser, cuando se estima que las situaciones que

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

Tipo	1 / 2 Año		1 Año		2 Años	
	Atlant	Pacific	Atlant	Pacific	Atlan	Pacific
Capesize	21	21	20,5	20,5	19	19
Pan/kmax	20	14,65	18	15,75	14	14
Sup/Ultra max	18,5	14	13	13,25	12,5	12,5
Handy	15,5	12	12	12,5	10,5	11
Fin diciembre 2023						
Capesize	22	22	20,5	20,25	19	19
Pan/kmax	20,5	16	16,75	16	14	13,75
Sup/Ultramax	15,5	13,5	14	13	12,5	12,5
Handy	13,45	10,95	11	12,5	11	11
Fin enero 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	38	46,5	52,5	50
Smax	55	45	42,5	38,5
Aframax	72	45	40,5	37,5
LR 2		31	41,5	39
LR1		36,5	30	28,5
MR IMO 3		25	27	24
Handy		26	24	22,5
Fin diciembre 2023				
VLCC	75	49,5	52,5	50
Smax	68	45	42,5	38,5
Aframax	47	48,5	42,5	35,5
LR 2	47,5	40	36,5	
LR 1		37,5	32,5	30
MR IMO 3		29,5	28,5	24
Handy		25	24	21,75
Fin enero 2024				

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

Fletes buques gaseros

Año	2021	2022	2023	2024
LLPG 82.000 spot. Butano Mar del Norte. US\$/t	426	557	500*	500
LNG 160.000.Spot Oeste Suez. 1.000 US\$/Día	150	200	95	40
LNG 160.000 TC 1 Año. 1.000 US\$/Día	47	184	67,5	54

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

producen esa emergencia serán temporales, y las cosas volverán a su normalidad anterior. Pero ese no es el escenario actual ni el que se vislumbra. Todos los estudios que se desarrollan tienden a coincidir en que lo que está sucediendo devendrá en estruc-

tural o permanente en virtud de que ahora podemos estudiar las cosas con un volumen de datos y una capacidad de tratamiento de los mismos de la que no se había dispuesto nunca. Parece evidente que la mejor forma de resolver el problema es el transporte de

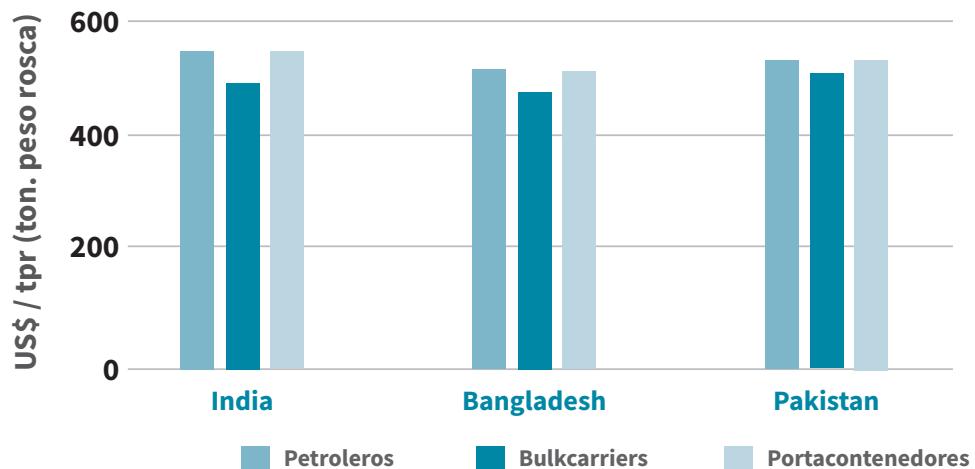


figura 3.
Desguace de buques

Fuente: Athenian Shipbrokers

donde hay excedentes de agua dulce hacia los lugares de escasez de la misma; o producirla en estos, o resoluciones mixtas. En ambos casos los buques y artefactos offshore serán definitivos. Otra cosa será que se produzca una globalización de la generosidad, pero eso excede muy mucho los temas de estas líneas.

Mover agua

Los buques para transportar agua potable no están generalmente disponibles para ser fletados de un día para otro, aunque sea en régimen de “time charter”, y menos aún en “spot”. Hablando en plata, no se pueden contratar como si fueran taxis.

No se encuentra una estadística estable del tamaño de la flota existente de estos buques, pues la mayoría de los que operan proceden de la conversión o adecuación de buques tanque para graneles líquidos, especialmente cuando se trata de capacidades que resulten aceptables; 100.000 m³ o más.

Evolución de la demanda

En cualquier caso, procederemos a “vislumbrar” la situación general mundial cara al futuro desde el punto de vista del consumo

para ver a qué problema enfrenta la humanidad con respecto al agua dulce.

Algunos números que siguen, proceden de estudios³ de la Naciones Unidas, y publicaciones tales como “Nature” y otras.

Actualmente, la demanda global de agua dulce se cifra en 4.600 km³ / año. Esta demanda crecería entre un 20-30 %, de manera que en el año 2050 el consumo llegaría a 5.500-6.000 km³ / año.

La población del planeta en 2050 se estima en una horquilla de 9.400 a 10.000 millones de personas, es decir, en aproximadamente un 22-33 % más que en la actualidad, que al final de 2023 era de 8.000 millones. En el continente en el que más crecerá la población será proporcionalmente África, en un 108%, mientras que Asia, que prácticamente aloja a algo más de la mitad de la población mundial en la actualidad, crecería un 18 %.

También en 2023 se ha estimado que la agricultura ha consumido un 70 % del consumo disponible, y el uso agrícola y ganadero de la misma ha alcanzado, de promedio entre las zonas, un 70 %, mientras que la industria lo ha hecho en un 20 %. Y de este último porcentaje, un 75 % correspondió a la energía y un 25 % a

las manufacturas. El consumo humano se estima en aproximadamente un 10 %; lo que no está calculado es, en general, el volumen de las pérdidas en la distribución del agua y por tanto improductiva, que están comprendidas en los porcentajes anteriores y que derivan del estado y mantenimiento de las infraestructuras de distribución, así como la contabilidad de los posibles usos irrazonables del agua.

Las fuentes estudiadas adelantan que el momento crítico general, si no se tomaran más medidas que las actuales (*business as usual*), en el que coincida la demanda con el total de la disponibilidad, de produciría al principio de la década de 2040. Es decir, hay poco tiempo para pensar, desarrollar proyectos estructurales y financiación de las inversiones necesarias.



Según los estudios de la ONU, ya en 2018 se preveía que para 2050 aproximadamente unos seis mil millones de personas sufrirían de escasez de agua dulce como resultado de la demanda creciente, disminución de los recursos, polución, etc. derivada del crecimiento demográfico y del desarrollo económico. Sólo las cifras antes expuestas dan una idea del tamaño del problema, agravado ya en muchos lugares del planeta por los efectos del cambio climático.

Con independencia de las soluciones urgentes por problemas inmediatos, como es el caso, en España, de Cataluña y Andalucía, pero no sólo de estas zonas, ya que también sucede en muchas partes del mundo, se requieren proyectos que estudien y traten de resolver un problema que se ha convertido en estructural, y seguramente de mayor entidad en el futuro, incomparable con el de la energía o cualquier otro.

Como es lógico pensar, hay que plantearse la relación de la disponibilidad de agua en el mundo, con la de la energía necesaria para conseguir agua potable en al menos la cantidad mínima para la población creciente en la Tierra.

No es una ecuación que contenga solamente esas dos incógnitas, sino que en la evolución de ambas entran otras actividades primordiales interdependientes de ellas, como la agricultura, la ganadería, etc., conectadas todas con tendencias que tienen que ver con solidaridades transfronterizas y con el decrecimiento o el desarrollo de la globalización.

UE, paralelismos y.... ¿Reacciones?

En el escenario global, podemos suponer un cierto paralelismo inverso entre el transporte de energía, que en lo que se refiere a los combustibles líquidos, teóricamente iniciando su ocaso, en la parte que les toca, para

llegar en 2050 a una emisión neta nula de gases de efecto invernadero, y la necesidad creciente de proveer de agua dulce, en cantidades también crecientes, a las regiones o zonas del planeta en las que la demanda aumentará, de acuerdo con las cifras mencionadas más arriba, y por aplicación también del sentido común.

Todo lo escrito y lo que aparece en diversos estudios por el mundo indica sin lugar a dudas el protagonismo del transporte marítimo de agua dulce, en recorridos tanto largos como cortos, así como la producción de la misma a partir del agua marina, que es el único yacimiento con capacidad, de momento, prácticamente inagotable. Ambas soluciones están completamente interrelacionadas a través de los buques y las explotaciones offshore.

Estas son las razones por las que el autor trae el asunto a la “Coyuntura” del sector marítimo y a la ingeniería naval y oceánica.

Considérese además que la disponibilidad de agua dulce no es opcional para la humanidad. Tanto directa como indirectamente.

En cualquier caso, el paralelismo inverso al que nos hemos referido, no puede ser tomado como cierto en su totalidad. Ante el declinamiento de los combustibles que producen gases de efecto invernadero, estos serán yendo sustituidos por otros, como el metanol, el amoniaco, el hidrógeno en estado líquido, etc. que también son transportados en buques de graneles líquidos que se aprovisionarán en los puertos de las rutas verdes.

Es difícil precisar cuál será el grado y avance de tal sustitución, en la cual también intervendrán de alguna forma las navegaciones de corta distancia en las que puede llegar a tener cierto protagonismo la electricidad.

Parece razonable que se vaya produciendo un excedente de tonelaje entre los buques de graneles líquidos que transporten petróleo o sus derivados, y explorar la posibilidad de que un conjunto de ellos pueda ser convertidos para transportar agua dulce, independientemente de la construcción de nuevos buques o artefactos para cumplir esta misión.

La conversión a la que nos referimos afectará no sólo al tratamiento de las partes interiores del casco que vayan a estar en contacto con el agua potable transportada, sino precisamente también a todo lo concerniente a la propulsión, gobierno y servicios, en los que habrá que pasar a combustibles que no emitan GHG, o dispositivos de captura de CO₂ cuando el destino posterior de este gas capturado esté realmente resuelto a gran escala.

Como se ve, el mundo se enfrenta, en un plazo que ya no es tan largo, a desafíos que afectan como por vasos comunicantes, a todas las zonas geográficas del planeta, o por exceso o por defecto, y porque las infraestructuras existentes se pensaron en modo local y no en modalidad internacional, lo que ha sido bastante congruente con la historia de la humanidad y de las naciones que se han ido constituyendo a lo largo de su historia.

El asunto que hemos traído a estas páginas tiene una magnitud mayor que lo que representó en el siglo pasado la distribución y el comercio de productos energéticos con todas sus crisis.

Conviene llamar la atención sobre la urgente necesidad de estudiar soluciones marítimas regionales para que en momentos en los que se produzcan faltas dramáticas de agua, que no podrán obviar, en su caso, el alcance de la problemática general, que además no va a ser episódica.

Sin entrar más en detalles numéricos, cabe referirnos al caso de algunas soluciones en determinados lugares para remediar, o al menos paliar la falta de agua potable urgente por medio del transporte marítimo. Se debe tratar siempre de estar preparado para utilizar medios adecuados con rapidez, y no suceda, salvando las distancias, que ante la posible situación crítica y la sensibilidad social y política ante esta circunstancia, se tomen acciones que no resuelvan totalmente el problema y además lleven consigo el aumento exagerado del gasto y probablemente también el crecimiento de las emisiones de GHG.

Recordemos lo que sucedió cuando al inicio de la guerra ruso-ucraniana, cuando algunos gobiernos europeos entraron en pánico y reabrieron minas de carbón para mantener su nivel energético, aumentando las emisiones a la atmósfera.

Aunque hay diversos sistemas ya existentes para el transporte a granel de agua dulce por vía marítima, estos suelen ser de limitadas capacidades. De hecho, en nuestro país se han utilizado algunos en el pasado, tanto desde las islas de Madeira a las Canarias, como desde la Bahía de Algeciras a Tarragona, entre otros.

En este último caso, se utilizó un petrolero de pabellón español y de 98.000 tpm, llamado *Montesa*, en una actividad de suministro popularmente bautizada como “Operación botijo”. El buque, dedicado previamente al transporte de crudo recibió previamente un chorreado interior de grado 2,5 en todos sus tanques y pinturas apropiadas para el producto que iban a contener.

En este punto, conviene comentar que los buques de graneles líquidos pueden ser los más recomendables para realizar estos transportes, incluyendo en ellos los químicos, los

de transporte de vino o de zumos (muchos de ellos tienen tanques de acero inoxidable), e incluso los de transporte de gases licuados.

En todos ellos hay que valorar la inversión en el tratamiento de sus superficies interiores y de sistemas de carga y descarga. No solo se trata, en los casos de transporte previo de crudo, en los que estas operaciones han de ser más intensas, sino también en otros tipos de buques de transporte de graneles líquidos menos viscosos, y relacionados con el tipo de pinturas de imprimación y acabado con los que se han tratado los interiores de los tanques de carga.

Otro asunto a tener en cuenta tiene que ver con la densidad de la carga y las posibles variaciones de la posición de su centro de gravedad, pues al ser esta dependiente de su peso específico, las condiciones de calado y estabilidad pueden ser más o menos afectadas, así como, en un grado menor, la resistencia longitudinal del buque. Téngase en cuenta las diferencias de densidad entre el agua dulce y las cargas anteriores transportadas, como por ejemplo el GNL, que tiene una densidad de 431 kg por metro cúbico, y la del petróleo crudo, de alrededor de 800 kg por metro cúbico, dependiendo de su origen.

En 1984 se realizó en España un proyecto⁴ conceptual basado en el transporte y / o producción de agua dulce por desalación utilizando el método de ósmosis inversa. El buque era un petrolero VLCC de 250.000 tpm. El proyecto incluía la compra del buque y su transformación para los propósitos enunciados, con una producción de 60.000 metros cúbicos / día, y también un aljibe no propulsado con capacidad de producción de 20.000 metros cúbicos / día⁴.

Los proyectos estaban pensados para la planta n.º 2 de desalación en Gran Canaria, en donde se hizo una demostración a menor

escala, cuando el sistema de desalación por ósmosis inversa no se había probado en España para altos rendimientos.

No hubo concurso, y por razones que desconocemos sólo se tomó en consideración la construcción de una planta en tierra. Se pueden encontrar los detalles en la dirección que indica la fuente bibliográfica. Dado el tiempo transcurrido, y la variación de los costes, el proyecto sólo puede tomarse como indicativo. Por ejemplo, algo que es fundamental es el cambio experimentado por las condiciones de las membranas de ósmosis, de mucho mayor rendimiento ahora que entonces.

Ya en estos tiempos hay otros proyectos como el EnviroNor, que contempla la conversión de petroleros o buques de productos, impulsado por el DNV y en el que participan y colaboran importantes empresas armadoras y de tratamiento de aguas, que ha sido calificado como “Proyecto de Innovación de Extraordinario Prestigio” con financiación mediante crédito del Norwegian Export Credit Bank, avalado por el gobierno noruego para la conversión / construcción del buque para la exportación. Evidentemente, no es comparable el interés que ha despertado en Noruega, con lo que en España no se emprendió hace casi cuarenta años.

Uno de los argumentos utilizados para llevar adelante este proyecto noruego es “Quitar de tráfico un buque de transporte de petróleo, para, en vez de desguazarlo, que es una actividad contaminante, dedicarlo a algo tan necesario para la humanidad como es el agua dulce” No negarán los lectores que el relato está bien “traído”, sobre todo en lo que representa en el ámbito industrial y en el de medio ambiente.

Hay otros proyectos, solo de transporte de agua dulce por medio de recipiente flotantes

flexibles⁵ con los que se puede construir un tren flotante, fabricados con kevlar y fibra de vidrio recubiertos de un material impermeable, que el ser flexibles, permiten una vez vaciados, reducir enormemente su tamaño para remolcarlos a su puerto de carga.

Se ha probado ya la “caza” de algún iceberg, en el noreste de Canadá. A veces los icebergs que se separan de los campos de hielo deben ser “redireccionados” para evitar colisiones con buques mercantes o con barcos pesqueros que se mueven por la zona, para evitar que penetren en las rutas del atlántico norte, e introducirlos en bahías golfos en los que se pueda proceder a trocear (usando chorros de vapor a alta presión, o de agua) para poder alojarlos en diques u otros buques o artefactos para el transporte del agua obtenida.

En cualquier caso, las técnicas de manejo, captura, remolque deben ser convenientemente desarrolladas para que el sistema ofrezca suficiente fiabilidad de gobierno. Las maniobras se hacen con varios remolcadores que deben concertar sus movimientos y con cables de acero. No será extraño que cuando las rutas trans árticas se desarrolleen, los buques que las naveguen necesiten de la asistencia de ese tipo de remolcadores para despejarlas, Las islas Sandwich del Sur, las Okney del Sur o la del Príncipe Eduardo ocupan zonas en el Océano Antártico que serán cada vez más navegadas y requerirán de estos auxilios.

Alguna conclusión provisional y no será la única

Desde un punto de vista provisional y también preliminar, la opinión del que esto escribe, y con la premisa que parece aceptada, es que, en el futuro y a no muy largo plazo, el desequilibrio entre la disponibilidad de agua dulce, y el crecimiento de la población

mundial y de las actividades, agrícolas, energéticas y otras que son necesarias para el desarrollo humano se irá incrementando si no hay cataclismos de origen natural o humano que cambien el desafío.

Lo primero a hacer es la concertación solidaria, técnica y de inversión para estudiar una estrategia de actuación hacia la aproximación de la resolución de un problema que es enormemente difícil de abordar. Decimos “aproximación” porque somos precisamente conscientes de la dificultad.

Interiorizar que para tener resultados se hará necesario prescindir de actividades que pueden hoy día ser muy apreciadas, para conseguir las imprescindibles. Y que la materia prima para realizar esto se encuentra mayoritariamente en mares y océanos.

Desde una opinión, y puede haber otras, el diferencial entre las necesidades futuras de agua dulce, es decir, la demanda que crece, y una oferta que está estancada y parece decrecer ayudada por el cambio climático, es la de “devolver la sal al mar”, que parece un exabrupto (y lo es, excesivo) pero es lo que significa desalar agua en un mar que pierde salinidad conforme los hielos se derriten y aumenta el nivel, y cambian los biotopos, las corrientes y las condiciones de estabilidad.

En particular, desde el punto de vista de la obtención de agua potable mediante desalación, y dependiendo de los correspondientes estudios, hay que elegir entre llenar las costas de desaladoras que estacional y periódicamente pueden no necesitarse en algunos lugares debido a cambio de pluviosidad, y lo que parece más razonable, utilizar tanto el transporte, como un sistema mixto, mediante buques que además de transportar contengan plantas de desalación. Esto último tiene además la particularidad de que

la diseminación del agua o salmuera resultante no hay que hacerla desde la costa por medio de emisarios, aumentando la salinidad localmente, sino en mar abierto.

Aunque no se ha mencionado a lo largo del artículo, hay soluciones terrestres fijas que también conviene contemplar, especialmente el lo que se refiere a los ríos y la utilización del sistema de ósmosis inversa para obtener agua potable y dividir las descargas al mar, ya que la potabilización de volúmenes fluviales mediante ósmosis inversa requiere una presión mucho menor que en el caso de agua de mar (35.000 partes por millón de sales disueltas en las aguas marinas, de promedio). Citemos como ejemplo la planta desaladora de Yuma en el río Colorado (EE. UU.) que puede producir 190.000 metros cúbicos de agua potable por día.

Tres pinceladas importantes en el sector marítimo

Además del estado de los mercados marítimos que se reflejan en las estadísticas numéricas y gráficas que acompañan a este artículo, parece interesante dar algunas pinceladas sobre noticias interesantes que probablemente marquen algo de los desarrollos futuros de este sector en el mundo y de las que nos ocuparemos próximamente.

- La industria de construcción naval japonesa reconoce la dificultad de competir con la industria china y coreana. Tal parece demostrar la decisión tomada por “Sumitomo Heavy Industries Marine and Engineering” de abandonar el mercado de nuevas construcciones para dedicarse a las reparaciones, al servicio postventa de los buques aún en su cartera, y el mercado de la cons-

trucción de las plataformas para instalaciones eólicas marinas.

- La industria de construcción naval china ha desvelado sus planes para construir un buque portacontenedores de 24.000 teu de propulsión nuclear, utilizando reactores de cuarta generación, de sales fundidas de torio, elemento radiactivo abundante en China. El proyecto ha sido certificado por el DNV.
- Las situaciones que actualmente se viven en los tráficos en el mar Rojo, están resultando en importantes desviaciones de rutas al Mediterráneo, bordeando el sur del continente africano. Se intuye un nuevo modelo de rutas atlánticas, especialmente de grandes buques portacontenedores, que pueden utilizar los puertos del Estrecho de Gibraltar como Algeciras y TangerMed para redirigir sus cargas al interior del Mediterráneo con buques feeder. Sin embargo, merecerá especial atención el mercado de los petroleros, especialmente en el caso de los VLCC, a causa de la baja relación “cartera de pedidos/flota existente”, el precio del petróleo y las nuevas rutas.

Bibliografía

- [1]. Fuente: Plataformatierra.es. Enero a noviembre
- [2] Pablo Neruda, 20 Poemas de amor y una canción desesperada, poema nº 20
- [3] Fundamentalmente del: “Reassessing the projections of the World Water Development Report”
- [4] https://sectormaritimo.es/wp_content/uploads/1985/198506.pdf José-Esteban Pérez, José-Pedro Fondón y Víctor Castell. Astilleros Españoles Cádiz. RIN junio 1985
- [5]. Fuente: Maritime Executive H. valentine

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

El nacimiento del Astillero del Arsenal de Ferrol (II parte)



JOSÉ MARÍA DE JUAN-GARCÍA AGUADO

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

La primera parte de este artículo se ha publicado en el número anterior de Ingeniería Naval.

ÍNDICE

4. Las primeras construcciones

4.1.- Los buques experimentales

4.2.- La Junta de Constructores de 1752

4.3.- El Apostolado

5. Las prácticas inglesas en el proyecto y construcción de los buques

6. Apéndice.- Láminas descriptivas

7. Referencias documentales

4.- Las primeras construcciones

4.1.- Los buques experimentales

El regreso de Jorge Juan de su viaje a Londres determinó un cambio respecto a la tipología de las unidades navales a construir dentro de los planes de Ensenada, y se ordenó entonces la paralización temporal de los navíos en construcción :

- Seis (6) navíos en el Arsenal de La Carraca con proyecto y dirección de Cipriano Autrán (dos de 80 y cuatro de 70 cañones)
- Doce (12) en Ferrol con proyecto y dirección de José Antonio Arzueta (de 70 cañones)
- Seis (6) en Cartagena con proyecto y dirección de Juan Pedro Boyer (de 70 cañones)

A cambio se dio la orden para la construcción de seis nuevas unidades, con carácter experimental, dos navíos, una fragata y un paquebote en Ferrol, un navío en Cartagena y un navío de Cádiz bajo el proyecto y dirección de los constructores ingleses, que habían sido contratados por Jorge Juan.

Una vez finalizada la construcción de estas unidades *experimentales* y comprobadas sus prestaciones en pruebas de mar se tomaría la decisión definitiva respecto a la “gran construcción” del plan de Ensenada activado en 1749.

En la representación de 1951³⁶ con el expresivo título de *Constructores que se han traído*,

³⁶ Transcrita por Rodríguez Villa, Antonio. “Don Cenón de Somodevilla. Marqués de la Ensenada”. Madrid 1878.

basos que se fabrican para experimentarse en la mar y providencias para fixar la construcción, Ensenada dio cuenta al Rey de estas circunstancias:

...Para la fábrica de los 60 navíos que se proyecta, hay ya mucha de la parte de la madera en Ferrol, Cádiz y Cartagena, y se está conduciendo la restante, y alguna para 24 fragatas menores que también se ha cortado debiendo estar el todo en los arsenales en el próximo año de 1752. Son tres los constructores que han venido de Inglaterra, porque en España no los había y actualmente fabrican cuatro navíos, una fragata y un paquebote que se han de probar en la mar por oficiales expertos, para que concurriendo después en la Corte con los constructores, se examine lo que hayan observado y se regle de una vez nuestra Marina. Antes de esto estarán perfeccionadas las gradas para fabricar en ellas, a un tiempo, veinte navíos de línea, para lo cual están ya curadas y preparadas las maderas, y a los diez meses de puestas las quillas, se podrán botar al agua...

Las unidades ferrolanas fueron, como ya se ha indicado, las primeras construcciones del Real Astillero de Esteyro : los navíos *Fernando* (alias Santa Bárbara) y *Asia* (alias Santo Domingo), la fragata *Galga* (alias Santa Águeda Virgen) y el paquebote *Marte* (alias San Miguel).

Su proyecto y construcción, tenían por objeto comprobar la capacidad profesional de Richard Rooth y Matthew Mullan³⁷, antes de la marcha de este último al Arsenal de Cádiz. El primero dirigió la construcción de uno de los navíos y la fragata y Mullan el otro navío y el paquebote.

El paquebote *Marte* se botó al agua el 9 ó 10 de agosto de 1751 y el navío *Fernando* el 8 de septiembre del mismo año³⁸. El 1 de marzo de 1752 se botó la fragata *Galga* y el 17 del mismo mes el navío *Asia*.

Sus características eran las siguientes :

	<i>Fernando</i>	<i>Asia</i> Codos-pulgadas	<i>Galga</i>	<i>Marte</i>
Quilla	72-14	73-02	52-00	41-00
Eslora	84-02	84-16	60-06	47-12
Manga	21-18	21-08	15-09	12-00
Puntal	10-04	10-12	6-00	3-12
Plan	12-02	12-02	8-00	8-00
Toneladas de arqueo				
Arqueo	1.267 7/8	1.282 3/4	358 1/4	138 1/4
Número de cañones				
De 24 libras	26	26	-	-
De 12 libras	28	28	4	-
De 8 libras	-	-	22	-
De 6 libras	10	8	-	14
De 4 libras	-	-	-	2
Número total de cañones	64	62	26	16
Pedreros de bronce de a 3	2	2	10	6
Pedreros de bronce cámaras	4	4	20	12

³⁷ AGS, Marina leg. 318. Carta de 24 de marzo de 1750 de Cosme Álvarez a Ensenada dando noticia de que había encargado a Rooth y Mullan por separado un plano de un navío de 70 cañones, una fragata de 20 y un paquebote de 8 a 10 explicando con claridad las medidas de largos, gruesos y anchos de todas las piezas de la arboladura y una relación de la guinda y cruzamen, madera de pino, nogal y otras especies y la de hierro y clavos. Carta de 25 de abril de 1750 de Cosme Álvarez a Ensenada

³⁸ AGS, Marina leg. 318

Para su construcción se utilizaron maderas ya existentes en los diques de maderas de Serantes, acopiadas para el anterior plan de construcción que fue suspendido. Esto hizo necesario adaptar estas maderas a las nuevas grúas, proceso en el que se desperdió una parte importante de este material, lo que originó a su vez un importante aumento de coste.

Para completar la madera necesaria y acopiar la requerida para la construcción de los doce navíos posteriores, prevista en Esteiro, se encargó el asiento correspondiente a Juan Fernández de Isla y Alvear entregándole las medidas necesarias elaboradas por Rooth, que incluso adjuntó a un dibujo a escala de las mismas.

4.2.- La Junta de Constructores de 1752

Cuando todavía no se habían botado la totalidad de los navíos *experimentales*, en febrero de 1752 Ensenada convocó en Madrid a Richard Rooth, Edward Bryant, Matthew Mullan y Almond Hill para formar la llamada Junta de Constructores bajo la dirección de Jorge Juan *para que queden acordadas y resueltas las principales reglas y medidas que uniformemente deberán de seguirse en la fábrica de navíos*.³⁹ David Howell con tres carpinteros de ribera ingleses llegaron a Madrid en agosto del mismo año.

La Junta se prolongó a lo largo de nueve meses, y bajo la autoridad de Jorge Juan definió la tipología de los buques a construir en sucesivas etapas y elaboró una información técnica muy completa, para que los constructores no tuvieran que tomar decisiones propias, formada por planos de disposición general, relaciones de todos los materiales necesarios y una libreta de cons-

trucción. La tipología de buques de guerra quedó establecida de la siguiente manera:

- Seis tipos de navíos (100, 72, 68, 62, 58 y 52 cañones)
- Tres tipos de fragatas (44, 30 y 22 cañones)
- Un paquebote, una bombarda, dos jabeques (grande y chico) y un buque para pertrechos.

En la elaboración de esta información técnica intervinieron directamente los constructores ingleses y Jorge Juan utilizó como referencia en cuanto a la tipología de los buques y sus características técnicas las normas inglesas del Establishment de 1745, como atestigua el manuscrito 420 Archivo del Museo Naval de Madrid con las siglas de Jorge Juan en la primera página, de la que existen traducciones incompletas al castellano, con algunas modificaciones, en las colecciones Zalvide y Echegaray.

Las dimensiones principales de los navíos británicos fueron modificadas de acuerdo con las ideas de Jorge Juan y otros responsables de la Armada Real, y se decidió dejar los aspectos constructivos y la dirección de las obras en los astilleros a los constructores ingleses.

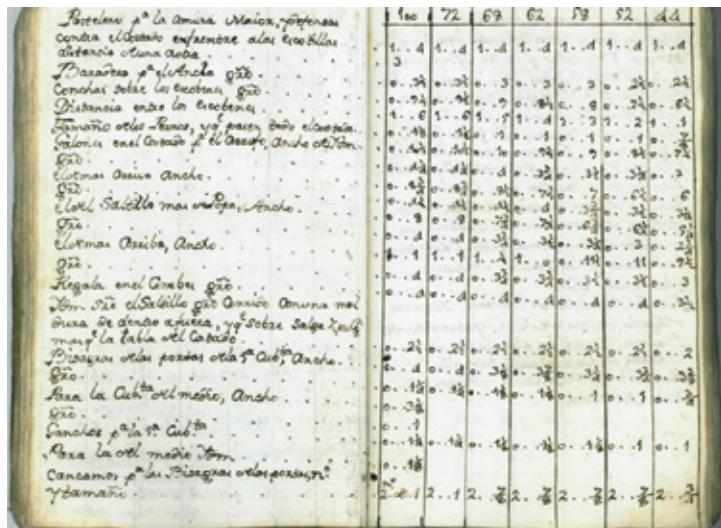
Rooth marchó a Madrid una vez botados el navío *Asia* y la fragata *Galga*, y regresó a Ferrol en julio⁴⁰ del mismo año, llevando consigo una libreta de construcción que incluía las principales dimensiones de los tipos de buques definidos y las dimensiones de las maderas necesarias para su construcción.

La aparición en Ferrol de una libreta manuscrita⁴¹ que coincide, con pequeñas variaciones, con el manuscrito 420, confirma

³⁹ AGS, Marina leg. 234, Carta de Ensenada a Perea, Barrero y Varas de 29 de enero de 1752.

⁴⁰ AGS, Marina leg. 234, Rooth Llega a Ferrol el 24 de julio de 1752. Mullan y Hill llegan a Madrid el 18 de febrero y regresan a Cádiz el 4 de julio de 1752

⁴¹ MS. 4365 Museo de la Construcción Naval. Ferrol



Libreta de construcción. Ms. 4365 del MCN de Ferrol

Rooth enfermó al llegar a Ferrol, y dejó sus responsabilidades de constructor en manos de su ayudante Guillermo Turner, reincorporándose al trabajo a principios del año 1754⁴².

4.3.- El Apostolado

que este fue el documento con el que trabajaron los constructores ingleses a su vuelta a los astilleros donde fueron destinados.

Incluye las dimensiones de 559 voces, de ellas 428 de las maderas del casco (incluyendo cabrestantes, timón, imbornales de plomo y herrajes), 12 de lanchas y botes (dimensiones principales) y 119 de la arboladura (incluyendo palos, vergas, cofas, baos, crucetas, tamboretas, bruscas y herrajes).

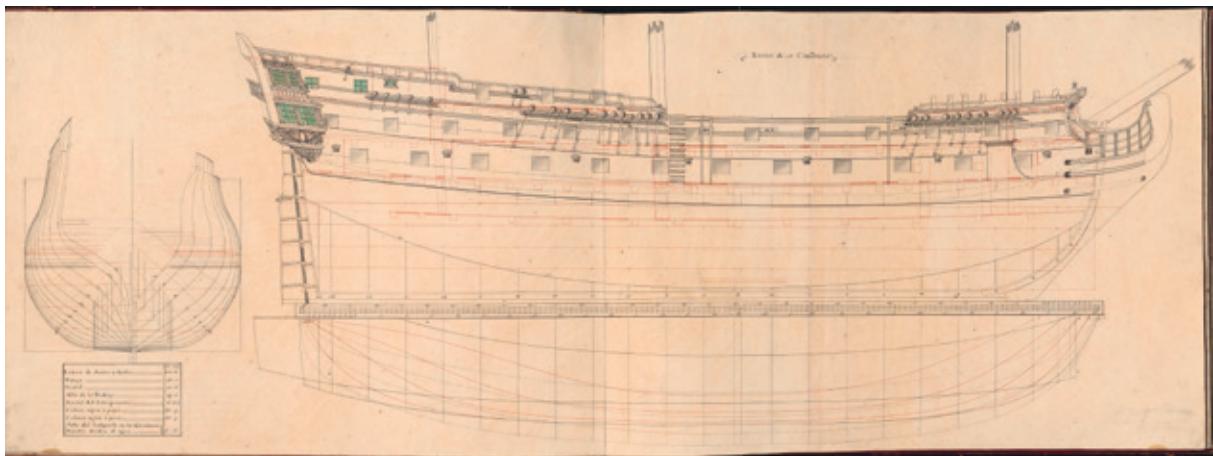
Consecuencia inmediata de la Junta de Constructores fue la orden de construcción de doce navíos en las gradas de Esteyro del 15 de Julio de 1752.

Cada uno de los navíos recibió el nombre con el que sería conocido en la Marina Española y la advocación o alias bajo la que sería conocido durante el periodo de construcción⁴³:

Nombre	Alias	Grada	Puesta de Quilla	Botadura
Oriente	San Diego de Alcalá	6	05/05/52	15/08/53
Eolo	San Juan de Dios	5	15/08/52	28/08/53
Mágnánimo	San Pastor	9	18/07/52	30/11/54
Aquilón	San Dámaso	7	17/06/52	10/03/54
Neptuno	San Justo	8	../08/52	06/06/54
Gallardo	San Juan de Sahagún	10	08/07/52	18/10/54
Brillante	San Dionisio	11	11/08/52	20/08/54
Vencedor	San Julián	1	11/09/52	11/06/55
Glorioso	San Francisco Javier	2	11/09/52	29/01/55
Guerrero	San Raimundo	3	06/09/52	27/03/55
Soberano	San Gregorio	4	11/09/52	09/08/55
Héctor	San Bernardo	12	11/11/52	22/09/55

⁴² AGS. Marina leg. 323. La fecha de reincorporación es 8 de enero de 1754.

⁴³ AGS, Marina, leg. 325. La fecha de reincorporación es 8 de enero de 1754.



Plano de navío de 58 cañones. M.N.M., Álbum PB 7-01

Los doce navíos fueron conocidos popularmente como el Apostolado y correspondían al prototipo de 68 cañones proyectado por la Junta de Constructores de 1752. Sus dimensiones, medidas en codos y pulgadas españolas eran las siguientes⁴⁴:

Dimensiones	
Quilla	81-08
Eslora	92-16
Manga	23-16
Puntal	11-00
Plan	12-00
Arqueo	1.619 ½
Artillería	
De 24 libras	28
De 18 libras	30
De 8 libras	8
De 8 libras de bronce	2
Pedreros de bronce de a 2	5
Pedreros de bronce a 1	8

A partir de Mayo de 1752, por orden de Ensenada se enviaron a los Intendentes de Ferrol, Cartagena y La Carraca, respectivamente Antonio de Perea, Francisco Barrero y Francisco de Varas y Valdés los planos, reglamentos y relaciones requeridos para las unidades na-

vales que se iban a construir en cada Arsenal. Copia de esta información se hizo llegar a la Contaduría General, al Intendente, al constructor y a sus ayudantes en cada Astillero.

Del plano de navío de 68 cañones no se conserva ningún ejemplar en los archivos de titularidad pública, pero correspondía a una traza similar al plano de navío de 58 cañones de la Junta de Constructores, que se incluye en la figura, añadiendo cuatro cañones de 24 libras en la primera batería (2 por banda), cuatro de 18 (2 por banda) en la segunda y dos de 8 (uno por banda) en las cubiertas castillo o toldilla, con el correspondiente aumento de eslora, manga y puntal.

A modo de especificación técnica, estos documentos definían las características de los navíos y fragatas, lo que suponía un avance respecto a la práctica habitual que se seguía hasta entonces, en la que quedaba al arbitrio del astillero y del constructor la decisión sobre características importantes de los navíos.

Maderas : *Reglamento de maderas, Tablas de pino, Número, largo y grueso de las cabillas*

⁴⁴ AGS, Marina leg. 324. Cuadernillo de Construcción de Vaxeles en Ferrol 1755. Comunicación de botadura de los navíos Glorioso, Guerrero, Soberano y Héctor

de madera y Madera de cedro, haya u olmo que se necesita para hacer la escultura

Arboladura : Relación de palos para la arboladura

Aparejo : Relación de las roldanas de bronce, Reglamento de gruesos y largos de los cabos de labor y pendiente, Hierro necesario para los aparejos

Piezas de hierro : Reglamento de herrajes y clavazón

Anclas y anclotes : Relación de las anclas y anclotes

Artillería : Número y tamaño de los cañones

Cristales : Relación de los cristales necesarios

Se unificó el sistema de medidas a utilizar en los Arsenales con la vara castellana del marco de Burgos dividida en pies pulgadas y líneas, y también se normalizó la escultura del figurón o mascarón de proa que sería, a partir de entonces, el león engallado siguiendo un diseño unificado en cedro, haya u olmo.

Para el armamento de los navíos se siguió lo establecido en el *Reglamento general de las partes principales que componen el Armamento del Cuerpo de los Navíos*⁴⁵....firmado por el Francisco de Varas y Valdés, Segundo Intendente General de Marina. En él se establecía en función de la manga del buque los elementos del equipamiento correspondientes a:

Arboladura, velamen, jarcia pendiente y de labor

Anclas, anclotes y sus utensilios

Motonería

Toldos, pavesadas, banderas y gallardetes, redes y encerados

Candeleros, propaos, barras de hierro para escotillas y enjaretados, etc.

Mangueras de ventilación, pinturas, clavazón.

Equipo de amarre y fondeo.

Bombas

Farolería.

Pinturas

Artillería y todos sus accesorios, munición, armas de chispa y blancas.

Utensilios del contramaestre, piloto, armero, carpintero, calafate, bombas, faroleros, capilla, enfermería, cirugía, medicinas: adornos de cámara

Embarcaciones menores y su aparejo.

Repuestos.

Medicinas para buques armados en puerto, para viaje a Europa, para viaje a Lima o China, pertrechos de respeto para viaje a América.

Algunos de estos elementos, como se indica más adelante, fueron modificados de acuerdo con las indicaciones de los constructores y los maestros contratados por Jorge Juan.

Parte de ellos se fabricaban en los propios Arsenales de Marina y Reales Fábricas, y la artillería se adquiría en las fábricas de Liérganes y la Cavada, que en algunos períodos estuvieron bajo el control de la propia Marina.

La construcción del Apostolado en el Astillero de Esteyro, supuso la puesta de quilla de doce navíos a lo largo de seis meses, lo que requirió un complejo proceso previo de acojo de la madera necesaria, tanto de roble como de pino. El suministro de maderas para la construcción de los doce navíos se realizó mediante un asiento realizado con Juan Fernández de Isla, como se ha indicado, quien también suministró la motonería y las piezas de hierro. La madera procedía del partido de la Montaña en Santander, de las Cuatro Villas de la Corte de la Mar de Cantabria.

⁴⁵ MNF

Este proceso comenzaba en el monte con el señalamiento de los árboles más adecuados y continuaba con la corta, labra y conducción hasta los puertos de embarque situados en la ría de Guarnizo, San Vicente de la Barquera y Suances desde donde se transportaba a Ferrol en urcas holandesas, queches, pataches y otras embarcaciones.

Las maderas se desembarcaban en la playa de Caranza donde se reconocían y se desecharan aquellas piezas que venían *lisadas*, sin medidas, con podredumbre o con cualquier otro defecto. Después se conducían a los diques de maderas situados en las zonas señaladas en la playa de Caranza. La corta de maderas a finales de 1749 se aceleró con el fin de que pudieran ser utilizadas en la construcción de los navíos de la Gran Construcción que se preveía comenzase a principios del año 1752, teniendo en cuenta que las maderas debían de permanecer un periodo de varios meses en los diques de maderas para su curado.

Con el fin de trabajar de manera ininterrumpida en la corta de maderas, Jacinto Navarrete, Comisario Ordenador de Marina de Santander solicitó y obtuvo⁴⁶ del Arzobispo de Burgos que los aserradores y conductores de la madera pudieran trabajar en festivos. El cuidado de los montes próximos a la costa y a los cursos de los ríos navegables había estado regulado históricamente por leyes, ordenanzas y normas para proteger la producción de madera en los montes, al tratarse de una material estratégico.

En 1748 se promulgó la *Ordenanza que su Majestad manda observar para la Cría, Conservación, Plantíos y Corta de los Montes, con especialidad los que están inmediatos a la Mar, y Ríos Navegables. Método, y Reglas que en esta materia deben seguir los Intendentes de Marina, establecidos en los tres*

Departamentos de Cádiz, Ferrol y Cartagena, con un objetivo claro : todas las tareas de cuidado, vigilancia, reconocimiento, economía y gobierno forestales quedaban sometidas a los intendentes y sus ministros, y supuso la plasmación jurídica de las medidas tendentes a afianzar el suministro constante y perdurable de la principal materia prima empleada en la construcción naval.

La construcción de los doce navíos despertó una gran expectación en los viajeros que visitaban Ferrol y se acercaban a la ensenada de Caranza para ver con asombro la construcción de estos navíos.

Diego Cernadas y Castro, *El cura de Fruíme*⁴⁷, dedicó un largo y entusiasta poema heroico jocoso-serio, formado por cien octavas reales distribuidos en dos meditaciones y un soneto, a ensalzar la construcción de los doce navíos. En el soneto describe el ambiente fabril de la ladera de Esteyro en los años de construcción del Apostolado :

*De Ultonia, Hibernia y Flandes los Soldados
se ven en Oficiales convertidos :
Vizcaya dá Maestros escogidos,
Bretaña Constructores realzados.*

*Vense bosques de troncos empinados
entre selvas de robles abatidos,
confuso el Arsenal á los zumbidos
de enxambres de peones afanados.*

*Hierbe la obra, y sube á borbollones
por doce gradas con presteza extraña,
contándose sus auges á millones;*

*Porque en Montereal, Ferrol y Graña
la Ensenada hace ver á las Naciones
por esta sola uña al Leon de España*

⁴⁶ AGS, Marina leg.317. Arsenales 1749. Carta del Arzobispo de Burgos a Ensenada de 14 de noviembre de 1749

⁴⁷ Cernadas y Castro, Diego, *Obras en prosa y verso del cura de Fruíme*. 1778. Real de Esteyro. Poema heroyco jocoso-serio...

En el viaje que realizó el padre fray Martín Sarmiento⁴⁸ a Ferrol, del 16 al 23 de junio del año 1755, describe la construcción del último de los navíos en grada, el Héctor, tres meses antes de su botadura :

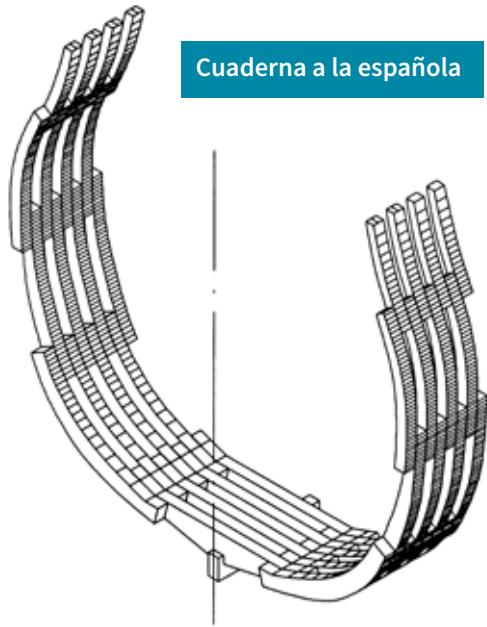
En el Ferrol vi lo siguiente : Desde la Puerta de Caranza hay ensenada para maderas. Síguese el astillero con 12 quillas (las gradas) y entre ellas seis con navíos, el último hacia el Poniente es el Hector. Entré en él y paseé sus tres puentes. Tiene 70 cañones y creo 160 pies de largo. Las quillas están en disposición de que se deben botar al Mar comenzando por la Popa, al contrario de los navíos de construcción española.

Esta última observación del padre Sarmiento era pertinente, porque los constructores ingleses cambiaron la disposición constructiva tradicional española que situaba y botaba el buque proa a la mar. En cambio Sarmiento, erróneamente, adjudica una tercera cubierta al Hector que solo poseía dos.

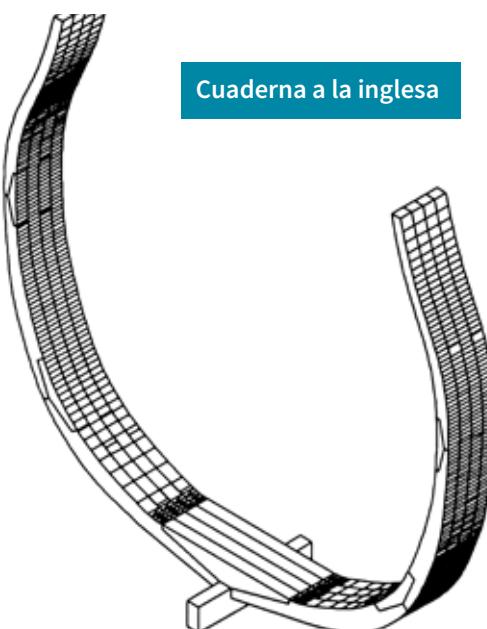
5.- Las prácticas inglesas en el proyecto y construcción de los buques

Las diferencias entre la construcción practicada hasta entonces en los astilleros españoles y la que implantó la Junta de Constructores de 1752, corresponden en general a tradiciones diferentes en la construcción naval. Las más significativas se indican a continuación.

1.- Los ingleses construían las cuadernas dobles unidas por una de las caras, y cada una de las ramas de la cuaderna estaba formada por diferentes piezas que se unían unas a otras por la cabeza a través de una pieza que recibió en castellano la denominación de *choque* derivada directamente de la palabra inglesa *chock*. La separación entre las



Cuaderna a la española



Cuaderna a la inglesa

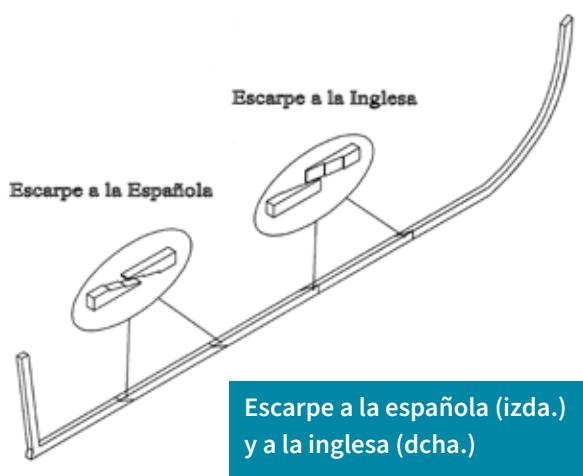
cuadernas era muy reducida de manera que prácticamente las cuadernas formaban un continuo sobre las que se incorporaba el forro exterior. Estas cuadernas dobles no estaban encormentadas.

En la construcción española las cuadernas eran simples y estaban formadas por una

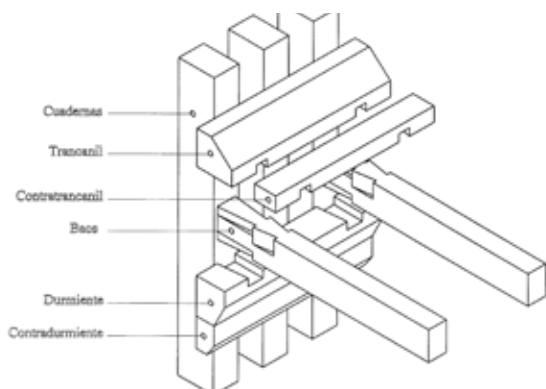
⁴⁸ Viaje a Galicia de Fray Martín Sarmiento 1754-55. Cuadernos de Estudios Gallegos CSIC. 1950

serie de piezas unidas entre sí a través de un solape y clavazón.

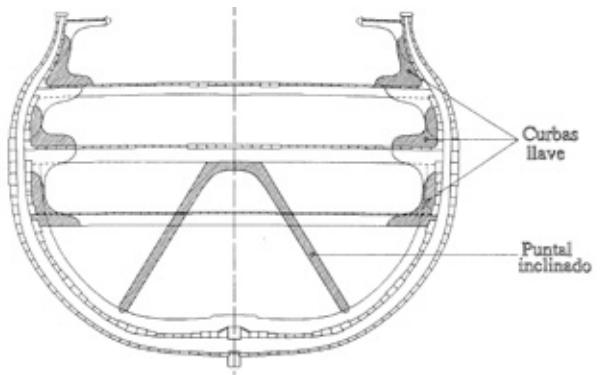
2.- Debido a la imposibilidad de encontrar piezas de madera de la longitud total, la quilla estaba formada por varias piezas unidas entre sí con un empalme rayo de Júpiter con chaveta, que en la construcción española era horizontal y en la inglesa era vertical.



3.- En la construcción española se utilizaban los trancaniles en la zona de unión de los baos con el costado. Los trancaniles estaban endentados con los baos a cola de milano. La construcción inglesa no utilizaba trancaniles y en su lugar se disponían curvas llave para ligar la cubierta al costado.



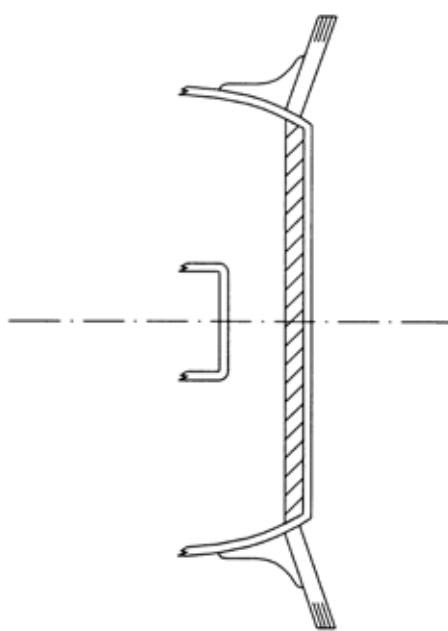
Trancanil y contratrancanil a la española



Curvas llave y puntales inclinados

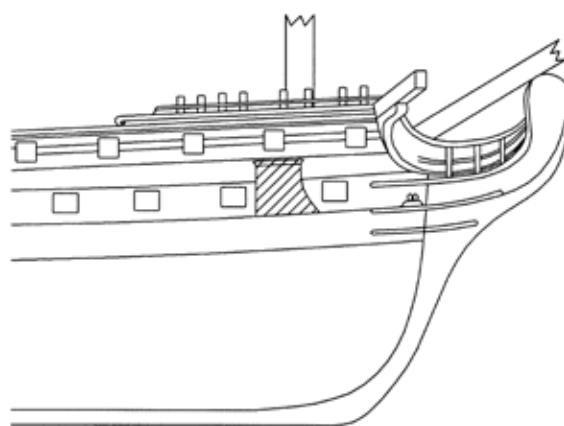
4.- Los ingleses utilizaban puntales inclinados en la bodega en lugar de los puntales rectos de la construcción española, que aunque se habían utilizado inclinados en algunas construcciones navales anteriores, su uso había decaído.

5.- Los serviolas estaban formados por dos piezas independientes unidas a la cubierta en la construcción española, mientras que en la inglesa se utilizaban una pieza intermedia que las unía a modo de bao de banda a banda.



Bao de conexión de las seviolas

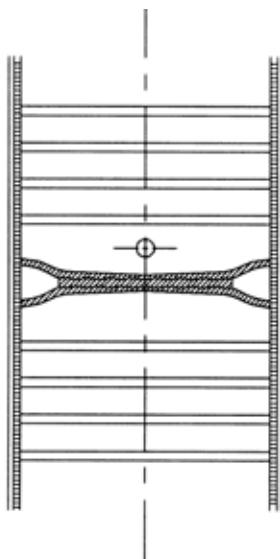
6.- En la zona de estiba del ancla los ingleses disponían una defensa con forma de escudo para impedir que en la maniobra de estiba del ancla las uñas pudieran dañar el casco, que no se utilizaba en la construcción española.



Escudo de protección de la zona del ancla

7.- En la construcción inglesa se utilizaban cabillas de madera para la unión de piezas del casco de manera generalizada, en lugar de la clavazón de hierro utilizada en la española.

8.- En la zona central los ingleses utilizaban un bao de horquilla en la primera batería y otro en la segunda batería en lugar de los baos simples utilizados en la construcción española.

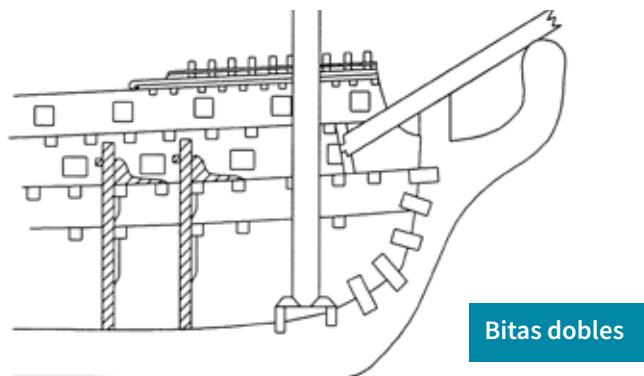


Bao de horquilla

9.- En la construcción española los barcos se construían y botaban proa al mar. Los ingleses situaban y botaban los navíos popa al mar, tradición que se mantuvo de forma permanente.

10.- Los ingleses utilizaban solamente cuatro sobreplanes y en la construcción española se utilizaban de once a trece.

11.- En la construcción inglesa se utilizaban cuatro bitas en lugar de dos en la española.



Bitas dobles

12.- En cada bao utilizaban cuatro curvas, una valona y otra de alto abajo en cada extremo, y en cada chaza ponían una curva llave. En la construcción española se ponía solamente una curva de alto abajo en cada extremo.

Los constructores ingleses trajeron consigo los procedimientos de trabajo, herramientas, y técnicas de la carpintería de ribera y de lo blanco, así como métodos para realizar el trazado geométrico de las formas del casco, que utilizaban en su país.

El procedimiento geométrico de trazado que utilizaban en el dibujo del plano de formas de la disposición general y en el trazado realizado en el patio de gálibos a escala natural, estaba basado en la definición geométrica de la cuaderna maestra, que por debajo de la línea del fuerte o de máxima manga, se definía por tres arcos de círculo, cumpliendo la

condición de tangencia en el punto de unión. Las secciones transversales de los cuerpos de proa y popa, se trazaban también por el mismo número de arcos de círculo, cuyos centros y radios correspondientes sufrían una variación definida geométricamente por curvas continuas, obteniendo de esta forma una superficie de carena continua y alisada.

Esta técnica de trazado fue mantenida en secreto por los técnicos ingleses que “se encerraban en el Patio de Gálibos para tirar las líneas sin permitir que ni las vean los contramaestres de construcción a los cuales no han suministrado la menor especie constructiva aunque lo han solicitado ni los carpinteros de ribera ni de los blanco quisieron jamás admitir un solo aprendiz español”⁴⁹

Para la madera de pino que se utilizaba para el forrado de los cascos utilizaban unos recipientes con agua caliente para ablandarla y facilitar su adaptación a las formas con gran curvatura de los extremos de proa y popa. En carta de 28 de abril de 1750 Cosme Álvarez comunica a Ensenada que Rooth “...me ha propuesto que se hagan dos calderos ovalos o cuadrilongos de cobre de longitud suficiente para recibir en ellos los tablones que hubiesen de arquearse para hervirlos en agua, asegurando que así se ponen muy dulces y no se rajan cuando se aplican en los fondos de la proa y popa de los navíos y siendo este un secreto tan estimable, me ha parecido que no se debe despreciar siendo de un costo tan corto”.

El aparejo de los navíos y fragatas se modificó para adoptar la disposición del aparejo

inglés, como refleja la Lámina 133 del *Álbum del Marqués de la Victoria. Representación de una fragata de 52 cañones, construida y aparejada a la inglesa...*, y en las fábricas de jarcia y lona los maestros venidos de Inglaterra establecieron procedimientos de fabricación novedosos.

Los fogones de los barcos se hicieron a la inglesa así como las cureñas de los cañones y palanquetas⁵⁰ y las embarcaciones menores con sus remos⁵¹. Las cerraduras, aldabillas, llaves picaportes etc. se fabricaron según una pieza de cada tipo traídas de Inglaterra⁵². También las jimelgas de la arboladura se hicieron a la inglesa

Rooth encargó herramientas de Inglaterra, como barrenas para taladrar bombas y un modelo de bombas de cadena para copiarla. Los aserradores vizcaínos y asturianos adoptaron las sierras inglesas⁵³, con las que se trabajaba en vertical para cortar el tronco en tablones, que dieron lugar a la sierra de burro, sierra de dos manos o tronzador de aire.

A finales de 1754, ante los informes procedentes de los comandantes de varios navíos y fragatas, construidos con los criterios establecidos en la Junta de Constructores de 1752, que describían averías de gravedad, y con el fin de reunir toda la información disponible y buscar las soluciones más adecuadas para ser aplicadas tanto a los navíos ya construidos o en construcción como a los navíos que se construyeran en el futuro a la inglesa, se convocó en Cádiz una junta presidida por el Marqués de la Victoria, como Director General de la Armada, que reunió a

⁴⁹ AGS, Marina leg. 235 carta de Antonio de Perea a Julián de Arriaga “Sobre la tibieza de los empleados de construcción ingleses en enseñar a los españoles”

⁵⁰ Idem ant. Láminas 90 y 92

⁵¹ AGS, Marina leg. 318

⁵² AGS, Marina leg. 376

⁵³ AGS. leg.318.

ACEG : Archivo Cartográfico y de Estudios Geográficos del Centro Geográfico del Ejercito
MNM : Museo Naval de Madrid

AGS : Archivo General de Simancas

MNF : Museo Naval de Ferrol

Matthew Mullan, constructor del arsenal de Cádiz, Cipriano Autrán, Director de Construcciones, Jorge Juan y los Comandantes de los navíos *Aquilón*, *África*, *Oriente* y las fragatas *Venganza*, *La Perla*, *El Águila* y *Flecha* de la nueva construcción.

El informe que elaboró la Junta en base a la experiencia de las navegaciones de estas embarcaciones detalló pormenorizadamente los problemas estructurales que presentaban estas unidades, estableciendo comparaciones con buques semejantes de la antigua construcción. Se envió este informe a Rooth para que diera su parecer, cosa que hizo en una detallada respuesta en la que contestó pormenorizadamente a todos los puntos de la misma, considerándose en todo momento responsable de los navíos y fragatas construidos en Ferrol.

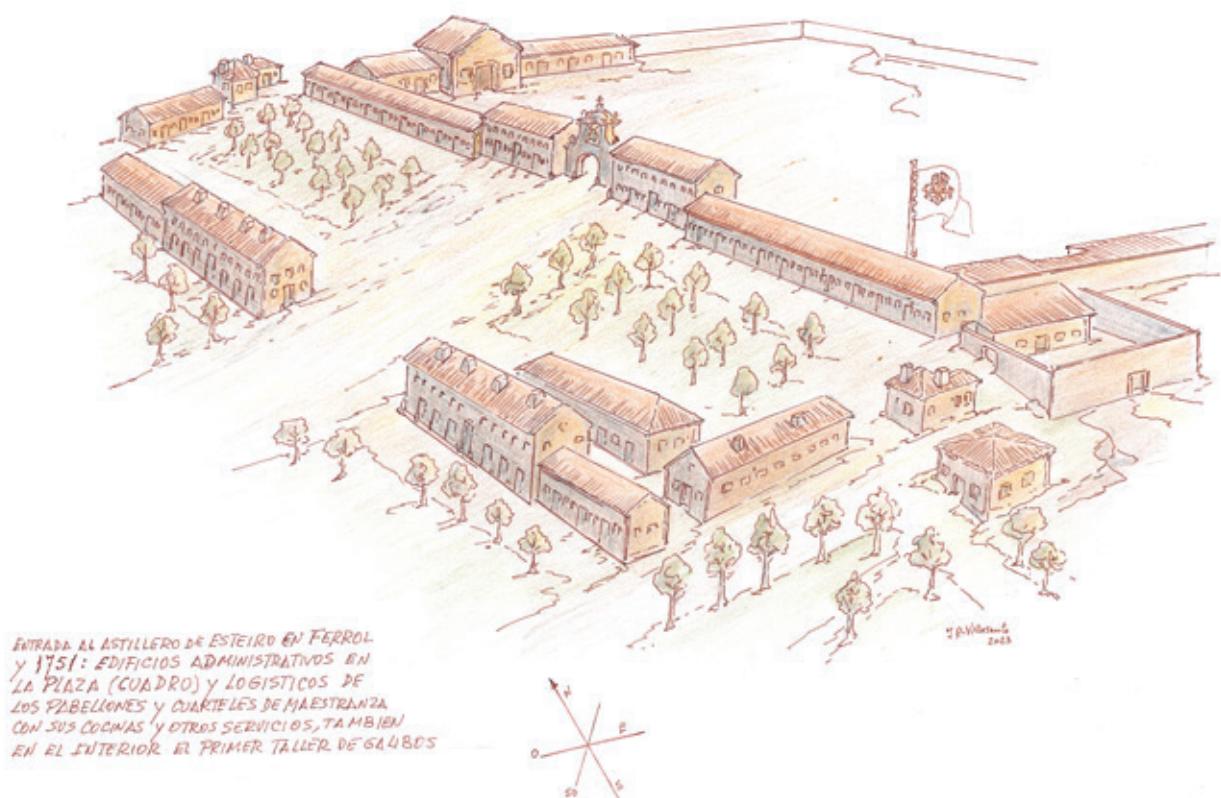
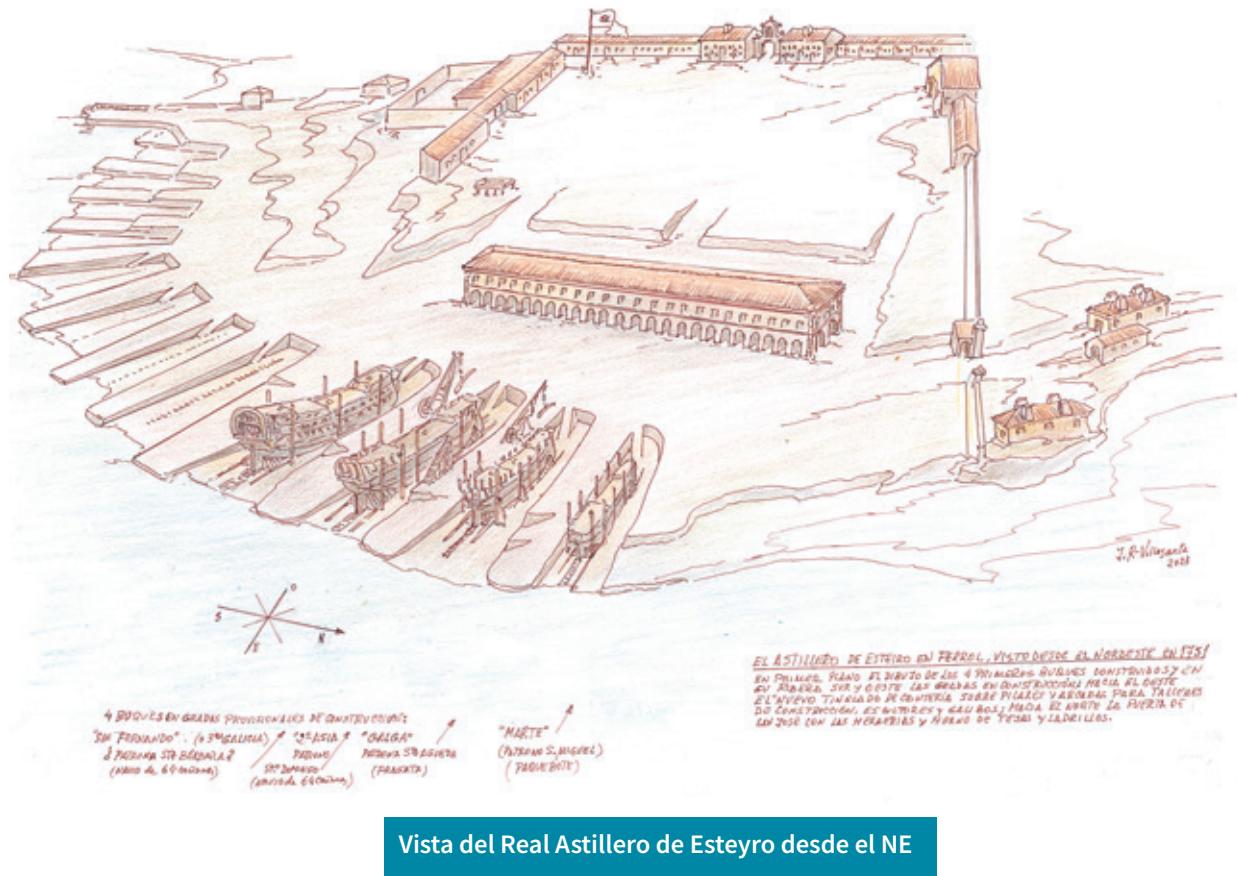
Las técnicas de construcción a la inglesa sufrieron sucesivas modificaciones con el paso del tiempo desapareciendo parte de las novedosas formas de construcción y recuperándose las técnicas tradicionales españolas que habían mostrado su idoneidad en las navegaciones oceánicas de la Carrera de las Indias.

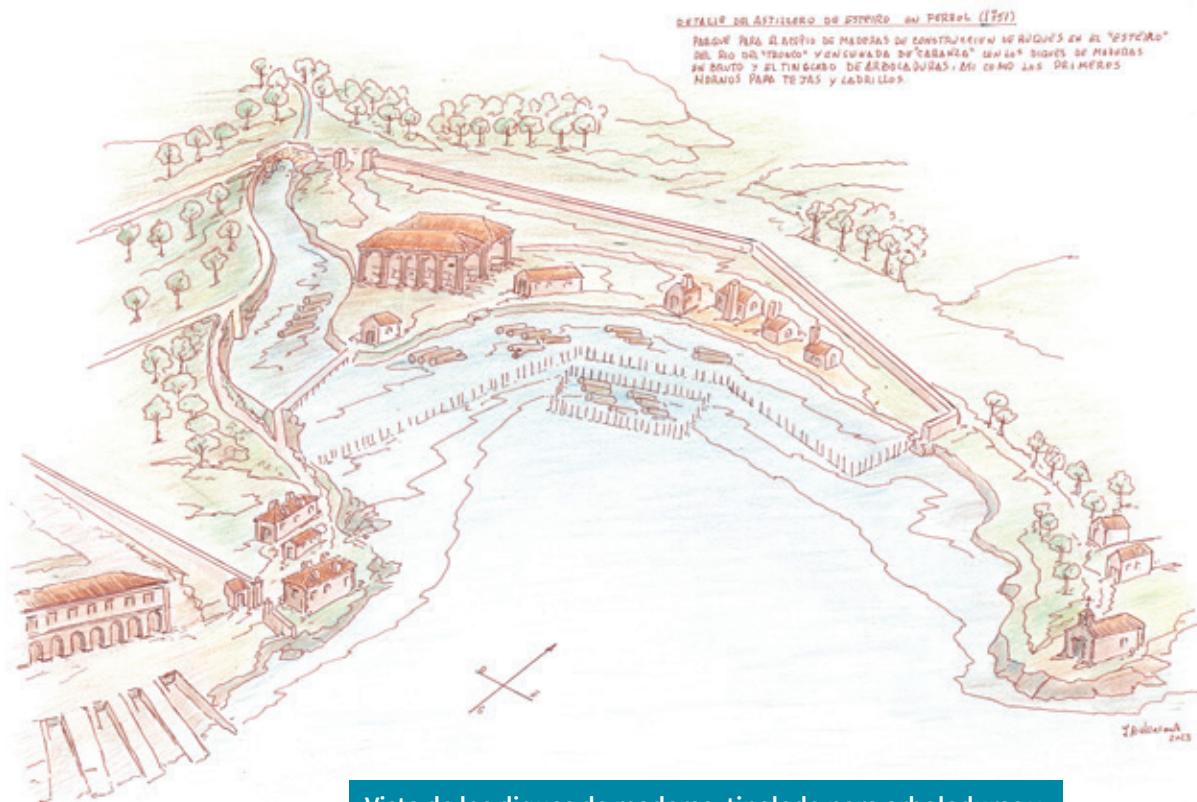
Apéndice.- Láminas descriptivas

Se incluyen cinco vistas del Astillero correspondientes a la etapa fundacional descrita en este artículo, realizadas por el Coronel de Intendencia Don Juan Rodriguez Villasante a quien agradezco su contribución, de gran importancia para comprender la distribución espacial del Astillero, desde diferentes puntos de vista.

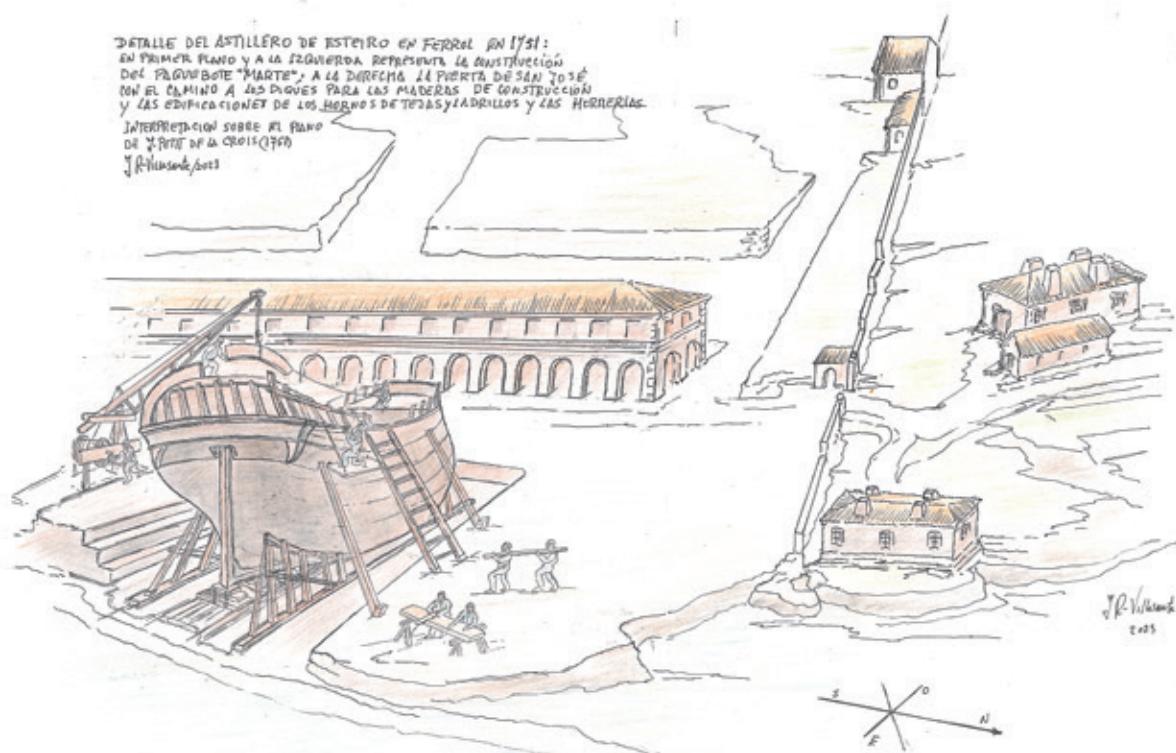


Vista del Real Astillero de Esteyro desde el SO





Vista de los diques de maderas, tinglado para arboladuras y hornos de tejas y ladrillos anejos al Real Astillero de Esteyro



Construcción del paquebote *Marte* en la grada nº 1 del Astillero.

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, tecles
- 9.5 Recubrimientos, pintura. Tratamiento de superficies
- 9.6 Protección catódica
- 9.7 Aislamiento, revestimiento
- 9.8 Mobiliario
- 9.9 Gamba frigorífica
- 9.10 Equipos de cocina, lavandería y eliminación de basuras
- 9.11 Equipos de enfermería
- 9.12 Aparatos sanitarios
- 9.13 Habilidad, llave en mano

10. PESCA

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

11. EQUIPOS PARA ASTILLEROS

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

12. EMPRESAS DE INGENIERÍA Y SERVICIOS

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

13. ASTILLEROS

1. ESTRUCTURA DEL CASCO

1.3 Cierres estructurales del casco



SP Consultores y Servicios, S.L.
Rampas Ro-Ro. Tapas de Escotillas. Sistemas hidráulicos. Reparaciones.
 Sevilla • Vigo • Algeciras • Barcelona
 sp@spconsulto.com
 www.spconsulto.com

2. PLANTA DE PROPULSIÓN

2.3 Motores Propulsores



PASCH
Motores diesel.
Propulsores y auxiliares 10 a 2.000 CV
 Campo Volantín, 24 - 3º
 48007 BILBAO
 Tel.: 94 413 26 60
 E-mail: infobilbao@pasch.es

2.5 Reductores



REINTJES España. S.A.U.
REDUCTORES MARINOS DESDE 250 HASTA 30.000 KW
 Avda. Doctor Severo Ochoa, 45 - 1º B
 P.A.E. Casablanca II
 E-28100 Alcobendas (Madrid)
 Tel. +34 91 657 2311
 Fax +34 91 657 2314
 E-mail: comercial@reintjes.es
 www.reintjes-gears.com



Masson Marine Ibérica

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

Avda. San Pablo, 28, Nave 22
 28823 Coslada - Madrid
 Tel.: 91 671 47 66 - Fax: 91 674 78 33
 info@masson-marine.es
 www.masson-marine.com

2.11 Propulsores por chorro de agua

PASCH



Hidrojets para motores de 81 a 1986 kW

Campo Volantín, 24 - 3º • 48007 BILBAO
 Tel.: 94 413 26 60
 E-mail: infobilbao@pasch.es

2.12 Otros elementos de la planta de propulsión

COTERENA

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

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



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 cardán, ejes de composite. Sistemas de Filtración de aire y equipos de ventilación. Estudio y soluciones de vibraciones y acústicas. Silenciosos de escape standard y especiales. Cálculos vibraciones torsionales, 6DOF, 12DOF para suspensión elástica, ICE Class y cálculos especiales. Servicio Postventa: asistencias técnicas y repuestos.

Avda. Montes de Oca 19 – Nave 7
 E-28703 San Sebastián de los Reyes
 Madrid - España
 T +34 913590971 | F +34 913453182
 vulkan@vulkan.es
 www.vulkan.com



Inserte
 aquí su
publicidad

2.13 Componentes de motores

Rolloy MARINE 

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

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

Cascos Naval, S.L.

 Agente para España de
MÄRKISCHES WERK
Your Engine. Our Ingenuity.™

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

Agente para España de
MÄRKISCHES WERK
Serrano Galvache, 5 bajo
28033 MADRID (SPAIN)
Tel.: +34 91 768 03 95
Fax: +34 91 768 03 96
E-mail: cascos@cascosnaval.com
www.cascosnaval.com

VULKAN COUPLINGS

VULKAN Española S.A.

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

Avda. Montes de Oca 19 – Nave 7
E-28703 San Sebastián de los Reyes
Madrid - España
T +34 913590971 | F +34 913453182
vulkan@vulkan.es
www.vulkan.com



Inserte
aquí su
publicidad

7. EQUIPOS DE CUBIERTA

7.1 Equipos de fondeo y amarre

 **SERVO SHIP, S.L.**

Molinetes. Chigres. Cabrestantes.

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

Inserte aquí su
publicidad



TRILL 
anclas&cadenas

**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

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

 **SERVO SHIP, S.L.**

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

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

8. ESTABILIZACIÓN, GOBIERNO Y MANIOBRA

8.1 Sistemas de estabilización y corrección del trimado

PASCH 

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

8.2 Timón, Servomotor

**Servotimones.**

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

8.3 Hélices transversales de maniobra

**Hélices de maniobra.**

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

9. EQUIPAMIENTO Y HABILITACIÓN



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

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

Polygono 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>



Inserte
aquí su
publicidad

12. EMPRESAS DE INGENIERÍA Y SERVICIOS

12.1 Oficinas técnicas



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

Calle Montero Ríos 30, 1º
36201 Vigo (España)
Tel. +34 986 43 05 60
Email: fcarceller@carceller.com
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>



Inserte
aquí su
publicidad



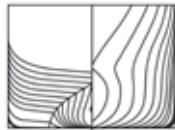
Especialistas en el Diseño de Buques Silenciosos. Gestión integral de Vibraciones y Ruido. Cálculo y Simulación naval. Industria 4.0. URN-Ruido Radiado al Agua. Medidas y ensayos especiales. Pruebas de mar. Consultoría de averías - Análisis causa-raíz. Pruebas de Mar Integrales: Potencia, Vibraciones y Ruido, Maniobrabilidad, etc. Sistema no intrusivo de detención de cavitación. Predicción de Vibraciones, Ruidos y Ruido Radiado al Agua. CBM-Condition Based Maintenance. Proyectos I+D+i. Formación Especializada. Edificio Pyomar Torre 2, Avda. Pio XII, 44. Bajo Izda 28016 Madrid Tels.: +34 91 345 97 30 INFO@TSISL.ES WWW.TSISL.ES



INGENIERÍA NAVAL Y OFFSHORE

Ingeniería Conceptual, Básica y de Aprobación de Buques y Unidades Offshore. Ingeniería de Detalle: Acero y Armamento. Buques en operación: Soporte Técnico, Inspección y Varada. Integración en equipos de proyecto. Gestión y dirección de proyectos. Análisis Elementos Finitos, Estudios hidrodinámicos (CFD), Comportamiento en la Mar. Estudios de Seguridad, Transportes, Fondeos, Remolques, Estudios de Riesgos, DP FMEA. Análisis de Emisiones y Eficiencia Energética. Consultoría Técnica. Inspectores acreditados: ISM, IHM e eCMID. FORAN V80- ANSYS (Mechanical/AQWA/CFX)- RHINOCEROS - SOLIDWORKS - MATLAB. c/ BOLIVIA, 5 • 28016 MADRID Tel.: +34 91 458 51 19 c/ Marqués de Valladares, 33º D 36201 • Vigo (Spain) E-mail: seaplace@seaplace.es web: www.seaplace.es

12.2 Clasificación y certificación



ORP MARÍTIMA S.L.

Informes técnicos periciales Naval, Marítimo, Industrial, Energía, Transporte. Asistencia en procesos judiciales, arbitrales y de mediación. Nacional e internacional. Calle Écija 7, Madrid. Tf. +34 661 83 00 89 frontdesk@orpmar.com www.orpmar.com



Programa Editorial Editorial Program 2024

ENERO • JANUARY

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

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

FEBRERO | FEBRUARY

Reparaciones y transformaciones. Astilleros de reparación.

Pinturas y protección de superficies.

Repairs & Conversions. Repair yards. Paint and surface protection

MARZO • MARCH

Pesca. Acuicultura. Política pesquera

Fishing. Aquaculture. Fishing legislation

ABRIL | APRIL

Seguridad marítima. Flota de remolcadores. LNG. Avance Navalía

Maritime Security & Safety. Tugboats fleet. LNG.

MAYO • MAY

Industria auxiliar. Gobierno y maniobra

Auxiliary industry. Steering and manoeuvre

JUNIO | JUNE

Construcción naval. Tendencias

Shipbuilding. Trends

JULIO-AGOSTO • JULY-AUGUST

Ingeniería. Formación. Sociedades de clasificación

Engineering. Training. Classification societies

SEPTIEMBRE • SEPTEMBER

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

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

OCTUBRE | OCTOBER

Sector naval militar. Electrónica y Automoción

Naval sector. Electronics and Automation

NOVIEMBRE • NOVEMBER

Offshore • Offshore

DICIEMBRE | DECEMBER

Energías renovables y Medio ambiente Resumen del Sector Marítimo 2024

Renewable energy and environment

CADA NÚMERO CONTIENE ADEMÁS • EACH ISSUE ALSO INCLUDES:

Artículos técnicos • Technical articles

Descripciones de buques • Ship descriptions

Noticias nacionales e internacionales • International and national news

Artículos sobre legislación, economía, fiscalidad y normativa

Articles above legislation, economy, taxes and regulations



INGENIERÍA
naval
REVISTA DEL SECTOR MARÍTIMO

sectormaritimo.es 

Suscríbete ya en
www.sectormaritimo.es

Filipinas y el Pacífico

La construcción naval, la navegación y la metalurgia

1575-1850



WWW.INGENIEROSNAVALES.COM/TIENDA/



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