V Congreso Nacional de i+d en Defensa y Seguridad

Actas

Toledo, 22, 23 y 24 de noviembre de 2017

MINISTERIO DE DEFENSA

CATÁLOGO GENERAL DE PUBLICACIONES OFICIALES
http://publicacionesoficiales.boe.es/

Edita:

MINISTERIO DE DEFENSA
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA

© Autores y editor, 2018

NIPO: 083-18-094-7 (edición en línea)
ISBN: 978-84-9091-357-4 (edición en línea)
Fecha de edición: octubre 2018
Maquetación: Ministerio de Defensa

https://publicaciones.defensa.gob.es/

Las opiniones emitidas en esta publicación son exclusiva responsabilidad del autor de la misma.
Los derechos de explotación de esta obra están amparados por la Ley de Propiedad Intelectual. Ninguna de las partes de la misma puede ser reproducida, almacenada ni transmitida en ninguna forma ni por medio alguno, electrónico, mecánico o de grabación, incluido fotocopias, o por cualquier otra forma, sin permiso previo, expreso y por escrito de los titulares del © Copyright.

Eficiencia energética: traslación y aplicación práctica de la normativa civil a buques de guerra 619

Cálculo de las condiciones iniciales para la simulación de ondas expansivas 627

Diseño y evaluación de sistemas híbridos pasivos de pila de combustible y baterías para vehículos no tripulados 637

Fuentes energéticas alternativas en zona de operaciones. Diseño y dimensionado de una instalación fotovoltaica y de generación de energía geotérmica 649

Eficiencia energética y sostenibilidad en los buques de la Armada española 661

Aplicación de la tecnología de la refrigeración a la generación de agua potable 671

Sala 5 - Día 23
Plataformas 683

ARION 2: el cohete lanzador español para pequeños satélites 685

Solución tecnológica para la navegación indoor de RPAS 693

Sistema de comunicaciones vía satélite, seguro, reconfigurable y dinámico 703

Coordinación del vuelo autónomo cooperativo de un enjambre de nano-RPA mediante tratamiento estadístico de imágenes 711

Análisis de viabilidad de despliegues anti-dron basados en tecnologías de última generación 721

Sistema de medición de diagramas de radiación de antenas embarcadas basado en UAV 731

Tendencias bioinspiradas para el desarrollo de micro-RPAS 741

Arquitectura para sensores multifunción de radiofrecuencia y electroópticos en plataformas RPAS 751

Tecnología robótica de enjambre aplicada a tareas de vigilancia, búsqueda y rescate 761

Horizonte ISDEFE: espacio. Utilización de vehículos suborbitales tripulados en el ámbito militar 769

Sistemas propulsivos adaptativos para los futuros aviones de combate de 6.ª generación 783

Eficiencia energética y sostenibilidad en los buques de la Armada española

Villa Caro, Raúl[1,*] y VA Ing. (R) Martínez Martínez, Ángel[2]

[1] Universidad de A Coruña, Escuela Politécnica Superior, C/ Mendizábal s/n (Ferrol); email: raul.villa@udc.es (RVC)

[2] Cuerpo Ingenieros de la Armada española; email: a.marmar@yahoo.es (AMM)

* Raúl Villa Caro; raul.villa@udc.es (RVC)

Resumen

El cambio climático y la contaminación constituyen una de las mayores amenazas a las que la humanidad se enfrenta actualmente por lo que, en los últimos años, la protección del medioambiente se ha convertido en una demanda social de primer nivel, tanto a nivel nacional como internacional.

En este marco, la Armada, aunque exenta de cualquier obligación, está firmemente comprometida a desarrollar sus actividades y operaciones militares de manera respetuosa con la conservación del medio ambiente y la lucha contra la contaminación, tanto marina como atmosférica. Los principios sobre los que se asienta este enfoque medioambiental de la Armada son: la respuesta al riesgo medioambiental (prevención de la contaminación) y la eficiencia en el uso de recursos, en especial en lo relativo al consumo energético.

En el caso concreto de sus buques, desde hace años la Armada está tratando de equipar los buques en servicio y las nuevas construcciones con equipos y sistemas que permitan minimizar el impacto sobre la vida marina y el medio ambiente; así como optimizar el consumo de recursos a bordo, siguiendo así la política de protección ambiental plasmada en la Directiva 107/1997 y la Instrucción 56/2011 del Ministerio de Defensa.

En este artículo, se hace un resumen de los principales sistemas y productos que, hasta la fecha, la Armada ha incorporado en sus buques; así como una introducción a los equipos y sistemas susceptibles de ser incorporados en futuros programas con objeto de cumplir este compromiso medioambiental.

Palabras clave

Ahorro energético; contaminación; buques.

1. Introducción

El cambio climático y la contaminación constituyen una de las mayores amenazas a las que la humanidad se enfrenta actualmente por lo que, en los últimos años, la protección del medioambiente se ha convertido en una demanda social de primer orden; tanto a nivel nacional como internacional.

La industria marítima es una gran fuente de emisiones y residuos pues, a pesar de ser la forma más eficiente de transporte de mercancías, más del 90% de este transporte se realiza por mar, lo que implica grandes emisiones de gases a la atmósfera y una gran cantidad de vertidos contaminantes a los océanos.

La eficiencia energética es fundamental para guiar al sector marítimo hacia un futuro bajo en emisiones y respetuoso con el entorno marino. En este sentido, todas las navieras y armadores del mundo están trabajando en colaboración con organizaciones como la OMI y otras, para identificar los medios técnicos y operacionales que permitan mejorar la eficiencia y sostenibilidad de sus flotas. En este marco, la Armada española, aunque al igual que las marinas militares de otros países está exenta de cualquier obligación, está firmemente comprometida a desarrollar sus actividades y operaciones de manera respetuosa con la conservación del medio ambiente y la lucha contra la contaminación, tanto marina como atmosférica. Los principios sobre los que se asienta este enfoque medioambiental de la Armada son: la respuesta al riesgo medioambiental (prevención de la contaminación) y la eficiencia en el uso de recursos, en especial en lo relativo al consumo energético [1,2].

En el caso concreto de sus buques, desde hace años la Armada está tratando de modernizar los buques en servicio y dotar a las nuevas construcciones con equipos y sistemas que permitan minimizar su impacto sobre la vida marina y el medio ambiente; así como optimizar el consumo de los recursos a bordo, siguiendo de esta forma la política de protección ambiental plasmada en la Directiva 107/1997 y la Instrucción 56/2011 del Ministerio de Defensa.

2. Medidas adoptadas por la Armada para reducir el consumo de combustible y aumentar la sostenibilidad de su flota

2.1. Cold Ironing

La expresión *Cold Ironing* hace referencia a la técnica mediante la cual se proporciona la alimentación eléctrica a los buques atracados en puerto, permitiendo la parada de los motores y de sus generadores auxiliares.

En el caso de la marina mercante, la adopción de este tipo de sistemas contribuiría positivamente a la consecución de los compromisos de cambio climático adquiridos en Europa, por lo que este tipo de sistemas están siendo firmemente apoyados por la Comisión Europea, como así lo contemplan varias de las últimas directivas publicadas estos últimos años, que pretenden fomentar el uso de la energía eléctrica para reducir las emisiones.

A pesar de ser un sistema de reciente adopción en el mercado civil, la Armada española ya emplea desde hace décadas la filosofía del *Cold Ironing* o toma de corriente de tierra, contando prácticamente

la totalidad de sus buques con este sistema que permite conseguir un entorno más limpio de emisiones contaminantes y acústicas en los arsenales y bases militares y en las ciudades que los acogen.

2.2. Hélices de proa retráctiles o con escotilla de cierre

Las hélices de proa, también llamadas hélices de maniobra, son elementos que mejoran enormemente la maniobrabilidad del buque, por lo que son de gran utilidad en las operaciones de entrada y salida de puerto. Además, esta mejora de maniobrabilidad hace que la seguridad del buque aumente notablemente en situaciones en las que la meteorología comprometa la navegación.

No obstante, desde el punto de vista de la eficiencia energética, la hélice de proa puede interferir en el comportamiento del barco, ya que provocan una discontinuidad de la superficie mojada, aumentando el rozamiento hidrodinámico y; por tanto, el consumo de combustible. Para minimizar esta interferencia y aumentar la eficiencia energética del barco, la Armada dispone de:

- Hélices de proa retráctiles

Este tipo de hélices de proa, se encuentran en el interior del casco y se despliegan cuando es necesario con un movimiento retráctil vertical. Este tipo de hélice ha sido instalada en la Fragata F-105 *Cristobal Colón* y se prevé sea instalado también en los nuevos programas.

Entre los fabricantes más reconocidos de este tipo de hélices se encuentra el grupo naval italiano FIN-CANTIERI, uno de los mayores grupos de construcción naval de Europa.

- Hélices transversales de proa con escotilla de cierre para el túnel

El grupo italiano FINCANTIERI cuenta también con un sistema que permite cerrar el túnel y recuperar la forma original del casco del buque cuando este está equipado con hélices de proa transversales.

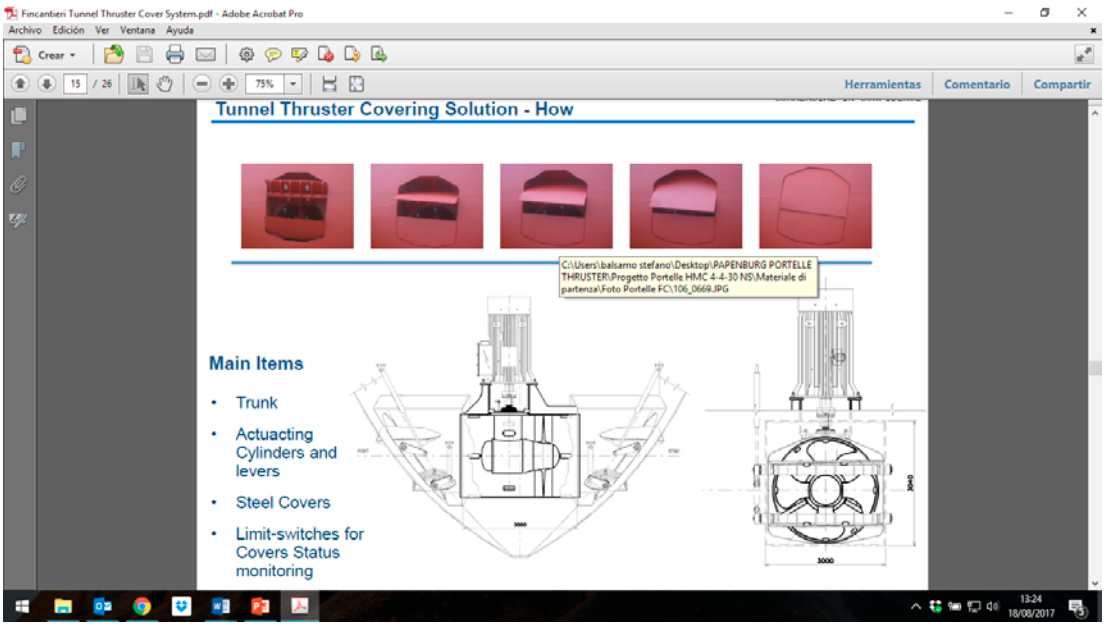

Figura 1. Escotilla de cierre para el túnel de las hélices transversales de proa

Este sistema ya ha sido instalado en barcos militares de otros países, por lo que presenta total garantía para su instalación en futuros barcos de la Armada española.

2.3. Iluminación LED

Las luces LED presentan muchas ventajas sobre las fuentes de luz fluorescentes empleadas anteriormente en los buques de la Armada; destacando su bajo consumo de energía (hasta un 50 % menor),

una vida útil tres veces mayor (hasta 50.000 horas), una reducida emisión de calor y la no necesidad de mantenimiento.

La empresa norteamericana ENERGY FOCUS, suministradora de luces LED para la US Navy, ha verificado ahorros de entre un 2 y un 3% del consumo total de combustible del barco, fruto de la sustitución de los tradicionales tubos fluorescentes por luces LED en buques de la flota estadounidense. Por este motivo, la US Navy se encuentra en proceso de sustitución de las luces de toda su flota.

En el caso de la Armada española, todavía ningún barco ha sido entregado con iluminación interior tipo LED; no obstante, en los nuevos programas es probable que se incluya este tipo de iluminación como uno de los requisitos, siendo de vital importancia en los submarinos, debido al ahorro de energía que se consigue con el buque en inmersión. También, en algunos buques en servicio, a la espera de que se acometa una modernización completa del sistema de iluminación interior, ya se han instalado luces LED puntualmente para sustituir a los tubos fluorescentes cuya vida útil llegaba a su fin.

2.4. Optimización hidrodinámica

El estudio de las formas de un buque reviste máxima importancia, ya que dichas formas influirán enormemente en características tan vitales del buque como la velocidad, el comportamiento en la mar, estabilidad, coste inicial, etcétera, de las que dependen la rentabilidad del buque y su seguridad y eficacia. [3]

La construcción naval ha tenido una evolución progresiva en la que las formas de los buques han ido mejorando paulatinamente. En un primer periodo, el principal objetivo era mejorar las características de comportamiento del buque (velocidad, autonomía y estabilidad). En las últimas décadas, en un contexto más competitivo en el sector naval, se trata de mejorar también las características del buque para reducir el coste operacional del mismo, para lo que se buscan formas de casco (bulbo de proa, cuña de popa en forma de cola de pato) que permitan reducir el consumo energético del barco.

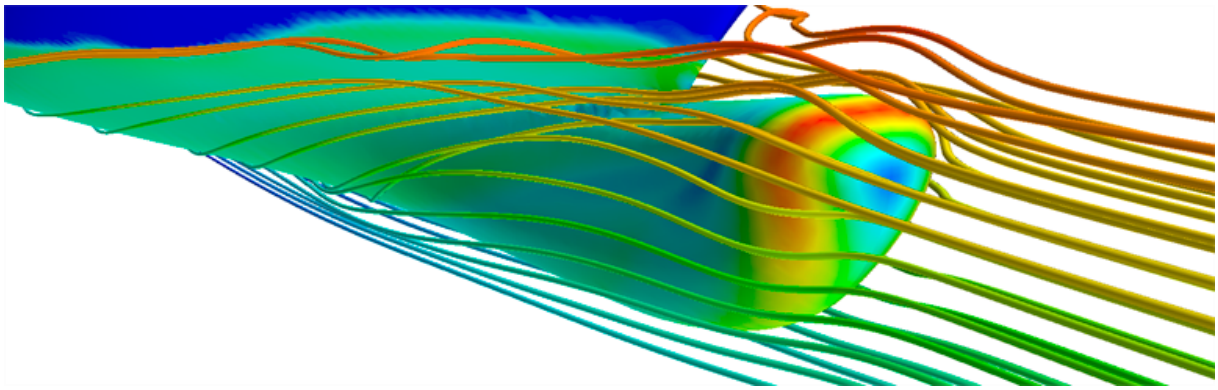

Figura 2. Simulación CFD de las formas del casco

En los buques de guerra de la Armada española, aunque las consideraciones de tipo económico no son las características más demandantes; las labores del CEHIPAR y sus estudios sobre modelos a escala han conseguido mejorar las formas del buque, optimizando su comportamiento para conseguir, de esta forma, buques lo más eficientes posible en términos energéticos.

2.5. Optimización de la hélice

La hélice del barco, como elemento propulsor, tiene una gran importancia y puede ser el elemento más determinante en su eficiencia, ya que de ella dependerá la velocidad alcanzada y la eficacia en la navegación.

Existen multitud de tipos de hélices por lo que, para obtener el máximo rendimiento, este elemento debe elegirse y calcularse en base a las características propias de cada embarcación: tipo de barco, potencia, eslora de flotación, régimen de crucero al que se desee navegar, etcétera.

La Armada española, en colaboración con NAVANTIA, trabaja desde las fases iniciales de cada programa de construcción naval para seleccionar el tipo de hélice más adecuado en función de las características de navegación deseadas para cada buque. Posteriormente, la hélice es optimizada mediante los estudios realizados en el CEHIPAR.

Así, las fragatas F-100 cuentan con dos hélices de paso variable/controlable diseñadas para dar una mayor eficiencia de propulsión en un amplio intervalo de velocidades y condiciones de carga mediante el ajuste en la inclinación de las palas. Además, este tipo de hélice mejora la maniobrabilidad de la embarcación, ya que permite el cambio rápido de dirección de la propulsión. En cambio, el LHD *Juan Carlos I* cuenta con dos POD con dos hélices de paso fijo cada uno. Las hélices de paso fijo son más eficientes para una velocidad concreta de rotación y condición de carga, siendo ideales para este tipo de buque. Asimismo, los POD pueden orientar su impulso girando alrededor de un eje vertical, lo que confiere al barco una gran maniobrabilidad, haciendo innecesario el timón.

Figura 3. PODs del LHD Juan Carlos I

Actualmente, algunas compañías están trabajando en el desarrollo de un apéndice con pequeñas aletas que se fija en el capuchón de la hélice y que ayuda a reducir las pérdidas de energía producidas en la misma, obteniendo ahorros medios de un 2% en el consumo total del combustible. Este sistema puede ser incorporado a buques en servicio o a nuevas construcciones y tiene un periodo de retorno menor a un año, por lo que se podría considerar su utilización en los buques de la Armada española.

2.6. Pinturas y recubrimientos

En cuanto a pinturas y recubrimientos hay que diferenciar por un lado, las pinturas para la obra viva de los buques y; por otro, las pinturas y recubrimientos para la obra muerta y superestructura.

En lo relativo a pinturas para la obra viva de los buques, desde hace más de 20 años la Armada emplea pinturas antiincrustantes o *antifouling*. Este tipo de pinturas ralentizan el crecimiento de algas y organismos marinos que se adhieren al casco y aumentan el rozamiento durante la navegación, por lo que la aplicación de este tipo de pinturas mejora el flujo del agua alrededor del casco y reduce el consumo de combustible.

Por su clara implicación medioambiental, entre las pinturas *antifouling* empleadas en los buques de la Armada española, cabe destacar el *Intersleek*® de AkzoNobel – INTERNATIONAL; la única que empleando tecnología fluoropolímero como evolución a los sistemas siliconados no contiene ningún tipo de biocida y que, por tanto, es completamente respetuosa con el medioambiente.

Este hecho, se pone de manifiesto con el programa *Carbon Credits*, desarrollado conjuntamente por The Gold Standard y AkzoNobel, programa pionero y único en el sector naval. Los *Carbon Credits* son instrumentos financieros de medición donde cada crédito representa la eliminación o prevención de una tonelada de CO_2 equivalente emitida a la atmósfera y fueron creados para promover el uso de tecnologías de reducción de emisiones sostenibles mediante la generación de ingresos provenientes de reducir la emisión de gases de efecto invernadero.

Los estrictos criterios de elegibilidad y el rigor empleado por The Gold Standard para aprobar los proyectos susceptibles de generar *Carbon Credits* demuestran que la pintura *Intersleek*® de AkzoNobel-INTERNATIONAL es medioambientalmente sostenible y que la reducción de emisiones contaminantes y el ahorro de combustible conseguidos al pintar el barco con *Intersleek*® son reales y completamente verificables.

Hay que remontarse al año 2006 para encontrar el punto de inflexión que marcó el uso de recubrimientos completamente libres de biocidas por parte de la Armada española, lo que supuso una firme declaración de su compromiso con la conservación del medioambiente y la lucha contra la contaminación. Al mismo tiempo, también supuso un antes y un después en la modernización de su flota al registrarse un

importante ahorro de combustible fruto del empleo de esta pintura. Este éxito sin precedentes desencadenó que posteriormente y de manera paulatina se continuaran pintando otros buques con estos nuevos recubrimientos de obra viva. [4]

Figura 4. Fragata F-105 «Cristóbal Colón» pintada con Intersleek®

Desde entonces, muchos de los buques existentes de la Armada han sido transformados a esta tecnología. Asimismo, se ha optado por este tipo de pintura para las nuevas construcciones más significativas de la Armada Española, incluyendo las fragatas de la serie F-100.

En lo que se refiere a obra muerta y superestructura, la Armada española se inclina por pinturas de baja absorción solar o LSA por sus siglas en inglés (*Low Solar Absorption*). Estas pinturas permiten la reducción de la firma IR y del consumo energético de los sistemas HVAC del buque, lo que repercute en un menor consumo de combustible del barco y; por tanto, en una reducción de emisiones a la atmósfera. De entre las pinturas de baja absorción solar empleadas por la Armada, destaca el *Interlac® 1 LSA* de AkzoNobel - INTERNATIONAL, por sus buenas características de comportamiento y durabilidad.

Asimismo, es importante destacar también el uso de recubrimientos de peso reducido como morteros niveladores en zonas interiores del buque, sustituyendo a las alternativas tradicionales basadas en cementos. Estos recubrimientos permiten reducir el desplazamiento del buque en varias toneladas, contribuyendo al ahorro de combustible. Entre estos recubrimientos destacan el *Intershield® 7100 LWT* AkzoNobel – INTERNATIONAL o el *A-70 VLW* de la empresa americana Dex-O-Tex Marine, empleado por la U.S. Navy.

2.7. Sistemas de recuperación de calor residual

En los buques se pierde una gran cantidad de energía, superior a la empleada para la generación de trabajo útil, en forma de calores residuales. Este calor se pierde principalmente por los gases de escape y por el agua de refrigeración.

Los sistemas de recuperación residual tienen como objetivo el recuperar parte de este calor perdido, utilizándolo para los servicios internos del buque (producción de agua caliente, calefacción), o bien empleándolo para generar electricidad sin consumo adicional, consiguiendo un ahorro energético equivalente al combustible necesario para generar esa misma potencia.

Esta recuperación se realiza por medio de un intercambiador de calor que normalmente emplea agua como fluido de trabajo en un circuito cerrado. Esta agua absorbe el calor procedente de los gases de escape y se transforma en vapor que se utiliza para mover una turbina que genera electricidad o para producir agua caliente para dar servicio al buque.

Los principales beneficios de este tipo de sistemas son el ahorro de combustible (entre un 5% y un 15%) y la consiguiente disminución de gases contaminantes y de efecto invernadero en la misma proporción que lo hace el consumo de combustible.

Por su singularidad e innovación, cabe destacar en este tipo de sistemas el trabajo de una compañía estadounidense llamada ECHOGEN POWER SYSTEMS, pionera en el uso de CO_2 supercrítico como fluido de trabajo en el intercambiador de calor. Este fluido permite realizar la transferencia de calor sin cambio de fase, por lo que los sistemas tienen entre un 25% y un 50% menor tamaño que los sistemas que emplean vapor de agua. Por estos motivos, esta empresa, en colaboración con General Electric, ha sido seleccionada por la US Navy para desarrollar un sistema de recuperación de calor residual para sus futuros barcos de superficie.

En la Armada española se ha estado utilizando tradicionalmente el calor residual de las maquinas para obtener agua caliente, calefacción, o para producir agua dulce en plantas evaporadoras, pero dadas las nuevas prestaciones que es posible obtener con los nuevos sistemas de ECHOGEN POWER SYSTEMS, es posible que se estudie en nuevos programas la viabilidad de su instalación a bordo, siendo candidatos a dicho estudio las instalaciones propulsoras con turbinas de gas tipo LM-2500.

3. Medidas futuras

Además de los equipos y sistemas que ya han sido empleados por la Armada española hasta la fecha, existe una gran variedad de nuevas medidas susceptibles de ser adoptadas en los próximos años, tanto en los nuevos programas de la Armada (Fragatas F-110, BAM, Buque de Intervención Subacuática) como en las modernizaciones que paulatinamente se efectúan a los buques de la flota.

3.1. Aletas estabilizadoras retráctiles con escotilla de cierre

Las aletas estabilizadoras de los barcos son elementos diseñados para aumentar la estabilidad del buque y disminuir o anular los balances, permitiendo que el barco se mueva con mayor suavidad. Este elemento, tiene una influencia directa en la eficiencia energética del barco ya que, cuanto menor balance presente el barco, menor será su consumo de combustible. [5]

Recientemente, la empresa italiana FINCANTIERI, ha desarrollado un nuevo tipo de aletas estabilizadoras retráctiles con escotilla de cierre. Esta escotilla de cierre permite restaurar la forma original del casco del buque incluso con las aletas desplegadas, eliminando de esta forma el rozamiento producido por el hueco de las aletas cuando estas están desplegadas, repercutiendo en un mayor ahorro de combustible.

En la Armada española, el grupo FINCANTIERI ya ha suministrado aletas estabilizadoras retráctiles para algunos buques como el LHD *Juan Carlos I* con excelente resultado, por lo que es probable que en futuros programas se incluya este nuevo tipo de aleta.

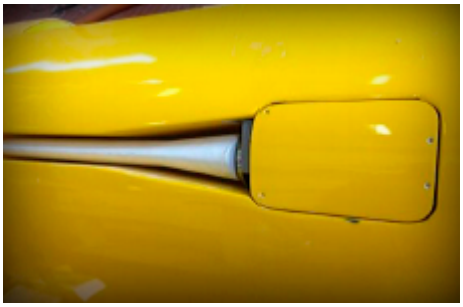

Figura 5. Aleta estabilizadora retráctil con escotilla de cierre

3.2. Baterías para maniobras en puerto

Actualmente, debido a las restricciones en el uso de combustibles fósiles en algunas zonas y puertos, se están imponiendo los buques híbridos que combinan la propulsión diésel-eléctrica tradicional con los sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías eléctricas.

Estos buques continúan consumiendo combustibles fósiles pero la instalación de sistemas de almacenamiento de energía a bordo permite que estos barcos puedan hacer algunas funciones en modo 100% eléctrico como puede ser estar en modo de espera o navegar a bajas velocidades durante las maniobras de entrada y salida de puerto, lo que, en algunos casos, ha significado una disminución en el gasto de combustible del 18% y una reducción de las emisiones de CO_2 y NO_X del 25%.

Una de las empresas pioneras en el desarrollo de estos sistemas es la canadiense CORVUS ENERGY, que ya ha instalado estos sistemas en más de 50 barcos en todo el mundo.

El compromiso medioambiental demostrado durante los últimos años invita a pensar en este sistema como una alternativa de futuro para los buques de la Armada.

3.3. Optimización aerodinámica

Como se ha comentado anteriormente, una de las primeras medidas de ahorro energético adoptadas por el sector naval en general y por la Armada Española en particular ha sido la optimización hidrodinámica de las formas del casco en la obra viva para reducir el rozamiento y; por tanto, la resistencia al avance.

En los últimos años, con objeto de mejorar su eficiencia operacional y reducir el consumo energético de la flota, los armadores civiles han comenzado a estudiar también la forma de la obra muerta y superestructura de sus barcos por medio de técnicas de simulación y en túneles de viento con objeto de reducir la resistencia aerodinámica. Siguiendo su ejemplo, algunos países han comenzado a aplicar esta medida también en sus buques militares, como en el caso de Nueva Zelanda, donde la Royal New Zealand Navy ya ha firmado un contrato con el astillero surcoreano Hyundai Heavy Industries para el diseño de un nuevo buque militar respetuoso con el medioambiente, tomando como referencia el concepto *Environship* desarrollado por Rolls-Royce.

Figura 6. Boceto del nuevo buque de la Royal New Zeland Navy

Sistemas de tratamiento de agua de lastre

Los buques utilizan agua como lastre para mantener unas condiciones de estabilidad seguras durante el viaje. Esta práctica reduce el esfuerzo en el casco, facilita la estabilidad transversal, mejora la propulsión y la maniobrabilidad, y compensa los cambios de peso como consecuencia de los distintos niveles de carga y el consumo de combustible y agua.

Aunque es fundamental para la seguridad y eficiencia de las operaciones de un buque moderno, el agua de lastre puede plantear problemas ecológicos, económicos y de salud graves debido a la multitud de especies marinas que contiene. Entre estos organismos se incluyen bacterias, microbios, pequeños invertebrados, huevos, quistes y larvas de distintas especies que, al descargar el agua de lastre pueden sobrevivir y establecer una población reproductiva en el medio de acogida, convirtiéndose en especies invasoras que se impongan a las especies nativas y proliferen hasta alcanzar proporciones de plaga.

El 8 de septiembre de 2017, entrará en vigor el Convenio Internacional para el Control y la Gestión del agua de Lastre (Convenio BWM), el cual representará un gran paso adelante hacia la protección del medio marino; y la Armada, a pesar de no estar obligada, ha decidido acogerse al mismo en sus nuevas construcciones e incluir los sistemas de tratamiento de agua de lastre entre los requisitos de los nuevos programas, con objeto de colaborar en la preservación de mares y océanos.

4. Conclusiones

Desde hace aproximadamente dos décadas, la Armada española está firmemente comprometida en desarrollar sus actividades y operaciones de manera respetuosa con la conservación del medio ambiente.

Para contribuir a este propósito, ha ido dotando a sus buques de multitud de medidas encaminadas tanto a reducir el consumo energético y las emisiones contaminantes (iluminación LED, optimización hidrodinámica, pinturas antiincrustantes de última generación, etcétera), como a preservar el entorno marino (pinturas sin biocidas).

Este compromiso de la Armada está patente también en los nuevos programas, entre cuyos requisitos se incluyen nuevas medidas orientadas en la misma dirección (sistemas de tratamiento de agua de lastre, hélices de proa retráctiles y con escotilla de cierre, etcétera).

A la vista de estos hechos, parece garantizado que la Armada española ha trabajado, trabaja y continuará trabajando para contribuir, en lo medida de lo posible, a proteger y preservar el medioambiente.

Referencias

1. Velázquez Vázquez J. El medio ambiente en la Armada. *Revista General de Marina.* Mayo 2017: 735-744.
2. Instrucción 56/2011, de 3 de agosto, del secretario de Estado de Defensa sobre sostenibilidad ambiental y eficiencia energética en el ámbito del Ministerio de Defensa.
3. Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo. Artículos y Trabajos Técnicos de D. Pascual O'Dogherty Sánchez. *Ministerio de Defensa*. 2008.
4. La Armada Española y su implicación medioambiental. *Ingeniería naval*. 2012: 899: 56-57.
5. Martínez-Hidalgo y Terán J. M. Enciclopedia General del Mar. *Ediciones Garriga*. 1958.

PUBLICACIONES DE DEFENSA

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE DEFENSA
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES Y PATRIMONIO CULTURAL