

TRASLACIÓN Y APLICACIÓN DE LA NORMATIVA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA MARINA MERCANTE AL ÁMBITO NAVAL

Pedro CARRASCO PENA



Antonio LIARTE PÉREZ



Introducción



L Horizonte Europa 2020 a nivel energético tiene tres objetivos principales: la reducción en un 20 por 100 de las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a niveles de 1990, la producción del 20 por 100 de la energía eléctrica consumida proveniente de energías renovables y el aumento en un 20 por 100 de la eficiencia energética. Por otro lado, la demanda energética en la Unión Europea (UE) también se espera que se reduzca, pasando de 1.666 Mtep (millón de toneladas equivalente de petróleo) en 2015 a una estimación de 1.639 para 2010, y en 2050 de 1.490 Mtep, de los cuales el 58 por 100 será energía importada del exterior de la UE (1). Destaca la dependencia energética como principal problema del futuro de la Unión, siendo la de España mayor, un 75 por 100 en

2015, si bien se prevé una reducción de la misma hasta el 69 por 100 para 2050 (2), lo que no nos acerca mucho al ratio de otros países de la UE. Este es uno de los hechos que justifican la necesidad de conseguir una mejor gestión

(1) Computer Systems at the National Technical University of Athens: *EU Reference Scenario 2016. Energy, transport and GHG emissions trends to 2050*, Luxemburgo, 2016.

(2) *EU Reference Scenario 2016*.

del uso de la energía en nuestro país. El aumento de flota mercante mundial desde 1980 a 2015 y de la actividad marítima es un hecho (3). El incremento del comercio internacional hace imprescindible buques cada vez más seguros, rápidos y eficientes para mantener el desarrollo económico. A la vez, la tecnología actual con la que cuenta la propulsión naval genera una dependencia de los combustibles fósiles, un bien cada vez más escaso y más caro, que contribuye a la contaminación atmosférica y al cambio climático.

El sector marítimo supone el principal medio de transporte del comercio internacional, representando el 80 por 100 del mismo y suponiendo el 70 por 100 del valor financiero, según datos de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) (4). Es un sector imprescindible y de importancia estratégica tanto en el desarrollo económico global —con generación de empleo e ingresos, facilita el comercio, apoya las cadenas de suministro para la industria— como a nivel social —protección del medio ambiente, conservación de los recursos y unión de comunidades—. La materia transportada según el tipo de carga desde el año 2000 hasta 2016 casi se ha duplicado. En proporción con el aumento del tráfico marítimo, también viene el alza del número de buques. Según los diferentes estudios de la Organización Marítima Internacional (OMI) en cuanto a emisiones de efecto invernadero procedentes del sector marítimo, el consumo de los buques no ha hecho más que crecer, hecho que si bien la OMI lo achaca al descenso de la velocidad media de los buques, también se puede relacionar con el comienzo de la crisis económica en 2008 (5).

El consumo global de los buques desde 1990 ha ido en incremento hasta el año 2006. Tras el descenso en 2007 y años sucesivos, inició una subida a partir del año 2011, último año con datos de estudio de la OMI, coincidiendo con la salida de la crisis económica global. Dentro del sector marítimo, la actividad que más consumo realiza es la del transporte y el comercio marítimo, siendo del orden del 80-85 por 100 del total. El consumo de petróleo y sus derivados en el sector marítimo supone un 6,8 por 100 de su consumo mundial (6) (7) (fig. 1). Por ello, las actividades marítimas son un grupo de importancia en el aprovechamiento de los combustibles fósiles, existiendo una potencial reducción de este mediante la mejora de la eficiencia energética a bordo de los buques.

(3) Asociación de Navieros Españoles: *Estudios Marina Mercante 2015/2016*, vol. 2016.

(4) United Nations Conference on Trade, «Review of Maritime Transport 2015».

(5) TOMASSIAN, G. C., y SÁNCHEZ, R.: *La industria del transporte marítimo y las crisis económicas*. CEPAL, 2010.

(6) British Petroleum: *Statistical Review of World Energy 2016*.

(7) International Maritime Organization (IMO): *Third IMO Greenhouse Gas Study 2014*.

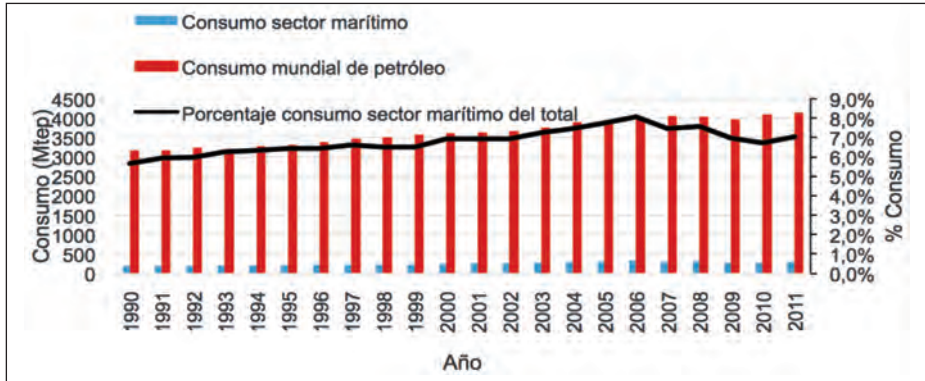


Fig. 1.—Comparación cronológica de consumo de combustible del sector marítimo frente al total consumido. (Elaboración propia a partir de estudios de la OMI y BP) (7) (8).

La contaminación atmosférica (fig. 2) producida por los buques influye de forma notable en las zonas de costa cercanas a las rutas marítimas y sobre todo de gran afluencia de paso. Se estima que cerca del 70 por 100 de las emisiones debidas al sector marítimo ocurren a 400 kilómetros de la costa, contribuyendo significativamente a los problemas de calidad del aire en zonas costeras. En aguas europeas, el 89 por 100 se producen a menos de 50 millas, y el 97 por 100 a menos de 100 millas de la costa (9). Tras el Protocolo de Kioto en 1997, con la preocupación sobre el calentamiento global, la OMI adopta el Anexo VI del Convenio MARPOL, con estudios y normativas relacionadas con la prevención de la contaminación atmosférica. Además, estudiará fijar como fecha límite 2020 o 2025 para que el combustible utilizado por los buques contenga como máximo un 0,5 por 100 de dióxido de azufre frente al actual límite de 3,5. Por su parte, la Agencia Europea de Medio Ambiente de la UE promulga sus estudios acerca de la contaminación atmosférica (10). Ambas instituciones ponen la vista en la mejora de la eficiencia energética del transporte marítimo como solución a este aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Reduciendo el consumo de combustible se consigue la disminución de la emisión de gases nocivos procedentes del sector marítimo.

En lo referente al transporte marítimo, en este marco de políticas medioambientales, reducción de consumos y optimización del aprovechamiento

(8) IMO: *Second IMO GHG Study 2009*.

(9) VIANA, M., *et al.*: «Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe», *Atmospheric Environment*, vol. 90, pp. 96-105, 2014.

(10) AARDENNE, J. van; COLETTE, A.; DEGRAEUWE, B.; HAMMINGH, P., y VLIETGER, I. de: *The impact of international shipping on European air quality and climate forcing*, vol. 4, 2013.

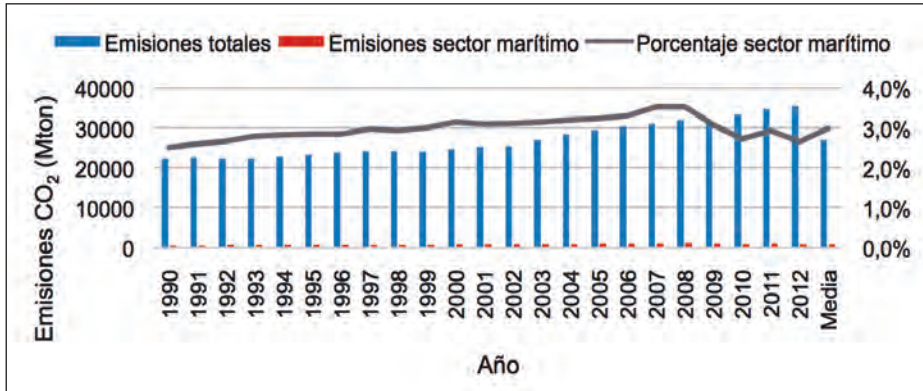


Fig. 2.—Comparación de emisiones de CO₂ totales y las debidas al sector marítimo. (Elaboración propia a partir de datos del Estudio OMI 2014, Estudio OMI 2009 y el Centro de Análisis e Información del CO₂) (7) (8) (11).

energético, las principales organizaciones promulgan medidas sobre el asunto. En julio de 2011, la OMI adoptó una serie de disposiciones técnicas y operativas: el Índice de Eficiencia Energética de Proyecto (EEDI) para los buques nuevos, el Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque (SEEMP) y el Indicador Operacional de la Eficiencia Energética (EEOI). Estas medidas aportarán mejoras para lograr un menor aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, pero insuficientes para llegar a las reducciones absolutas en el transporte marítimo internacional necesarias para alcanzar el objetivo global de las Naciones Unidas establecido en el Acuerdo de París sobre el clima de limitar a 2° C el aumento de las temperaturas mundiales (12). La UE, viendo la necesidad de aplicar mayores medidas que las dirigidas por la OMI, promulgó un reglamento a 29 de abril de 2015 en el que establecía un sistema de Seguimiento, Notificación y Verificación de las emisiones de dióxido de carbono generadas por el transporte marítimo en la Unión (13). De esta forma podrá llevar un control real de las mismas y poner en marcha mejoras en los buques en lo referido a eficiencia energética.

La Marina de los Estados Unidos ha sido pionera en la introducción de medidas de mejora de la eficiencia energética en sus buques. Su principal

(11) Carbon Dioxide Information Analysis Center: *Environmental System Science Data Infrastructure for a Virtual Ecosystem*, 2017.

(12) Naciones Unidas: *Convención Marco sobre el Cambio Climático. Aprobación del Acuerdo de París*, 2016.

(13) Parlamento Europeo: *Reglamento (UE) 2015/757 del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2015 relativo al Seguimiento, Notificación y Verificación de las emisiones de dióxido de carbono generadas por el transporte marítimo*, vol. 2015/757.

caballo de batalla es el programa *Great Green Fleet*, que tiene como objetivo para 2020 la producción del 50 por 100 de sus necesidades energéticas a partir de fuentes renovables. Además, en 2012, durante los ejercicios RIMPAC (*Rim of the Pacific*) demostró la posibilidad de usar combustibles alternativos en todos los buques y aeronaves que participaron. Por último, también está llevando a cabo medidas de reducción del consumo energético en sus buques (14).

La Marina de Reino Unido sigue un plan de mantenimiento del medio ambiente en el que busca minimizar el efecto de sus operaciones en el ambiente marino (15). Para ello, fija unas reglas de actuación en función de la zona en la que se encuentren navegando o realizando ejercicios. En las ubicaciones definidas, se prohíben operaciones que puedan perjudicar el interés medioambiental de esa área. Así, en zonas de protección de aves están prohibidos los ejercicios antiaéreos, en las de protección del fondo marino no se puede fondear o realizar ejercicios de minado o contraminado y, por último, en las de protección de cetáceos no está autorizado el uso del sonar.

Australia sigue el *Plan de Estrategia Energética de la Defensa Estatal 2014-2019*, documento en el que define sus política de mejora de la gestión energética (16). Entre sus principales objetivos destacan la monitorización y reducción de consumos, además del uso de energías limpias sin comprometer su capacidad de defensa.

El Ministerio de Defensa de Canadá lleva adelante un *Plan de Estrategia de Desarrollo Sostenible Federal*, en el que recoge una serie de objetivos para que la actividad de sus Fuerzas Armadas respete lo mejor posible el medio ambiente (17). Entre ellos, destaca la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2020 de un 17 por 100 en edificios y vehículos comerciales, tomando como referencia los valores de 2005.

Por último, mencionar que la Marina de Guerra de Italia tiene un concepto similar al de la US Navy, la *Flotta Verde*, un proyecto iniciado en 2012 para encontrar combustibles marinos alternativos al petróleo y sus derivados con vista a mejorar la seguridad energética nacional y reducir las emisiones contaminantes (18). Su principal objetivo es la adopción de combustible sintético renovable, en línea con la Directiva 2009/29/EC (Horizon 2020). La Marina italiana es líder en el uso de biocombustibles en Europa, siendo la primera en lanzar el uso del biodiésel en el sector naval en un porcentaje mayor del 50 por 100.

(14) US Navy: *Energy Conservation Measures (ECM)*, vol. 2017, n.º 02/28, 2017.

(15) Royal Navy: *Environmental protection*, vol. 2017, n.º 02/28, 2017.

(16) KEENAN, T., et al.: *Next Generation Australian Community Climate and Earth-System Simulator (NG-ACCESS). A Roadmap 2014-2019*. Centre for Australian Weather and Climate Research (CAWCR), 2014.

(17) National Defence Canada: *Defence Environmental Strategy 2013-2016*, 2012.

(18) Marina Militare: *Green Fleet. Flotta Verde*, vol. 2017, n.º 02/28, 2017.

El presente trabajo, continuando con la línea de investigación sobre la eficiencia energética en la Armada española (19) (20), tiene como objetivos principales los siguientes: conocer el estado del arte en materia normativa en eficiencia energética aplicable en el sector naval y las mejoras tecnológicas y establecer las posibilidades de aplicación que ayuden a mejorar la eficiencia energética en los buques de la Armada.

Objetivo y metodología

El principal objetivo de este artículo es comprobar la posibilidad de aplicación de la normativa en eficiencia energética de la Marina Mercante en el ámbito naval militar. Por ello, se procedió de la siguiente forma: analizando la normativa vigente en la UE sobre la eficiencia energética en el transporte marítimo; adaptando el Indicador Operacional de la Eficiencia Energética (EEOI) a los buques de guerra mediante el establecimiento de paralelismos entre cargas útiles de los buques civiles y las capacidades de los de guerra, y realizando el análisis de los datos reales de una navegación de un buque de guerra real utilizando la adaptación del EEOI desarrollada. A continuación trataremos los distintos pasos seguidos para alcanzar el objetivo marcado de comprobar las posibilidades de aplicación de la normativa civil en eficiencia energética al ámbito naval.

Normativa UE en eficiencia energética transporte marítimo

El Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL, *MARine POLLution*) de la OMI es la guía de referencia de normativas. Actualmente, la OMI está compuesta por 172 países miembros y tres Estados asociados (21). Mediante las normativas adoptadas desde 1973, se ha conseguido minimizar el aumento de la contaminación procedente del transporte marítimo. El anexo VI del Convenio MARPOL —centrado en la eficiencia energética y ratificado por 60 Estados, que suponen el 84 por 100 de la flota mundial— fue firmado en 1997 y está vigor desde 19 de mayo de 2005. Este se compromete a la disminución de las emisiones de gases nocivos

(19) CARRASCO P. J., *et al.*: «Eficiencia energética en buques de guerra: un caso práctico», en *IV Congreso Nacional de I + D en Defensa y Seguridad*, 2016.

(20) PÉREZ, A. L., *et al.*: «Eficiencia energética: traslación y aplicación práctica de la normativa civil a buques de guerra», in *Congreso Nacional de I + D en Defensa y Seguridad (DESEi+d)*, 2017.

(21) IMO: *Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL)*, vol. 1983.

procedentes de los buques mediante la implementación de normativas y ejecución de investigaciones y estudios divulgativos (22).

En julio de 2011, la OMI había adoptado una serie de medidas consistentes en el Índice de Eficiencia Energética de Proyecto (EEDI), el Indicador Operacional de la Eficiencia Energética (EEOI) y el Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque (SEEMP), incluidas en el MEPC 62 de julio de 2011 (23). El 5 de febrero de 2014, la Unión Europea, dentro del marco estratégico en materia de clima y energía en 2030, estableció un objetivo de reducción de emisiones de gases en un 40 por 100 en comparación con niveles de 1990. La Unión Europea las ve insuficientes para cumplir el objetivo global de limitar a 2° C el aumento de la temperatura media del planeta, y para reducir las emisiones hasta este nivel, lleva a cabo una serie de medidas mayores de las adoptadas por la OMI.

El 29 de abril de 2015, la UE establece un sistema de Seguimiento, Notificación y Verificación (SNV) de las emisiones de CO₂ basado en el consumo de combustible de los buques, lo que supone la primera fase de las medidas que afectan al sector marítimo para la reducción de gases de efecto invernadero. Con este sistema se esperan reducir las emisiones en un 2 por 100 en comparación con una situación sin él, y se conseguirán ahorros de hasta 1.200 millones de euros en el sector hasta 2030, al facilitar el flujo de información sobre consumos y eficiencia energética de los buques. Su aplicación es obligatoria en buques con tonelaje de registro bruto superior a 5.000 toneladas, con el objeto de no limitar a pequeñas y medianas empresas a seguir reduciendo la mayor parte de las emisiones, suponiendo estos el 55 por 100 de los buques con escala en puertos de la Unión y que son responsables del 90 por 100 de las emisiones asociadas. Están exentos los buques de guerra (objeto de este estudio), las unidades navales auxiliares, los pesqueros o buques factoría, los de madera de construcción primitiva, los no propulsados por medios mecánicos y los de propiedad estatal utilizados sin fines comerciales. La Unión Europea propone como objetivo usar el modelo SNV de la Unión para su aplicación a nivel mundial, compartiendo información con la OMI sobre dicho reglamento.

Por último, citar la reciente normativa de la OMI sobre el Sistema de recopilación de datos sobre el consumo de combustible de los buques, basado en el Reglamento de la Unión Europea y presentado en el MEPC 70 de octubre de 2016 y aún con directrices y circulares en proceso de elaboración (24).

(22) IMO: *Balancing port competitiveness and security*, vol. 2017, n.º 02/28.

(23) IMO: *MEPC 63. Guidance on best practices for fuel-efficient operation of ships*, 2009.

(24) IMO: *MEPC 70/18. 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*

Indicador Operacional de la Eficiencia Energética (EEOI)

Conocido como EEOI por su nombre en inglés, *Energy Efficiency Operational Indicator*, es una herramienta de carácter voluntario que la OMI pone a disposición de los operadores de buques para realizar el seguimiento del rendimiento de estos. Sirve así de complemento al SEEMP para la mejora de la eficiencia energética del ya construido (25). El EEOI permite medir el consumo eficiente de combustible de un buque comparándolo con el trabajo realizado para el transporte de mercancía (a). De esta forma, el armador podrá conocer de una forma cuantitativa si las medidas adoptadas para reducir el consumo están teniendo efecto:

$$(a) \quad EEOI = \frac{\text{emisión } CO_2}{\text{trabajo transporte}}$$

El EEOI para un único viaje está reflejado en la ecuación (b), donde FC_j es la masa de combustible para el tramo j del viaje, C_{Fj} es la conversión a CO_2 de la masa de combustible utilizado en el tramo j , m_{carga} es la masa transportada (número de TEU o de pasajeros) y D la distancia de millas náuticas del tramo analizado. El factor de conversión de masa de CO_2 combustible a masa de que se use, será función del tipo de combustible utilizado:

$$(b) \quad EEOI = \frac{\sum_j FC_j C_{Fj}}{m_{\text{carga}} D}$$

Este índice debe emplearse para un único viaje o un período determinado. En el segundo de los casos, sería necesario tener en cuenta todos los viajes realizados a lo largo del intervalo de tiempo analizado. Por tanto, sería necesario generalizar su cálculo tal y como está indicado en (c). En dicha expresión, el subíndice i corresponde a un viaje y el j a los tramos que lo conforman:

the protocol of 1978 relating thereto (Inclusion of regulations on energy efficiency of ships, vol. 2011.

(25) Marine Environment Protection Committee: «Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency operational indicator (EEOI)», IMO. *Rep.*, 2009.

(c)

$$EEOI = \frac{\sum_i \sum_j FC_{ij} C_{Fj}}{\sum_j m_{carga,i} D_i}$$

Adaptación del EEOI a la Armada española

Por la situación especial de una marina de guerra, los buques de la Armada española necesitan una disponibilidad y requerimientos mayores que los de un buque mercante. Algunas actividades, como pueden ser el uso de toda la potencia de los motores según la operación o el empleo de equipos eléctricos y electrónicos que precisen de un elevado suministro de energía eléctrica, son ejemplos de esta diferencia entre mercantes y buques de guerra. Estos equipos son característicos y únicos de este tipo, como la artillería, radares o equipos de guerra electrónica, que se convierten en la carga útil del buque de guerra, como los contenedores en un buque portacontenedores. De todas formas, exceptuando momentos puntuales de operación y ejercicios, los buques de guerra tienen los mismos empleos de energía que los mercantes (fig. 3) y se parecen mucho a los requerimientos energéticos de un pesquero. Los equipos auxiliares son todos aquellos que trabajan para mejorar el funcionamiento de los sistemas principales —las máquinas de propulsión o las armas—, como por ejemplo el sistema de climatización. Siguiendo el criterio de necesidades

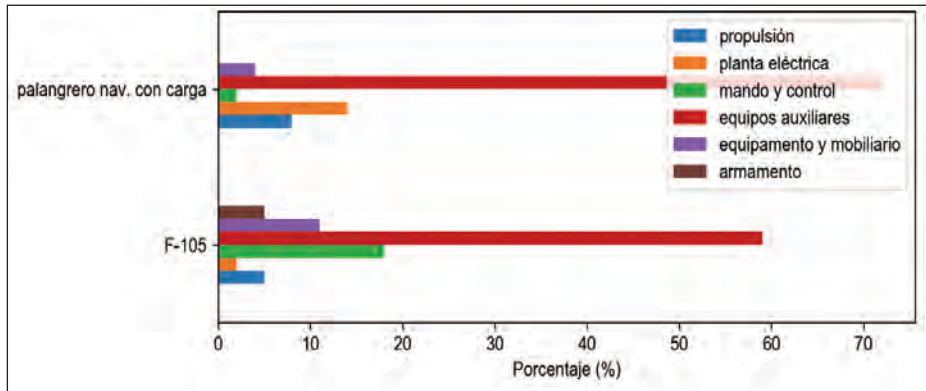


Fig. 3.—Comparativa de distribución de consumos entre un buque de pesca tipo palangrero (700 t) y un escolta (5.000 t) (19) (26).

(26) PAREDES GARCÍA, Miguel: *Diseño planta eléctrica en pesquero palangrero*, 2013.

especiales en su diseño y de priorizar la operatividad frente a la eficiencia cuando la ocasión lo requiera, las mejoras en la eficiencia energética pasiva y operativa son aplicables a los buques de la Armada española.

El EEOI es aplicable en un buque militar una vez se dispone de los datos necesarios. De esta forma, permitiría tener unas estimaciones para conseguir la máxima eficiencia y menor consumo y emisiones, cumpliendo los requerimientos de velocidad y navegabilidad de los futuros buques. Los elementos de la ecuación original (b) se emplearían de la misma forma, pero haría falta definir una nueva unidad para el m_{carga} debido a la naturaleza de la actividad realizada por un buque de guerra cuya principal finalidad no es el transporte de mercancía entre puertos. Es por ello que se hizo necesario reutilizar el concepto de presencia naval como solución a la problemática planteada.

La presencia naval es una función pasiva de un buque militar que realiza siempre que está en navegación o fuera de puerto base. Esta se cuantifica según el coste que suponen los movimientos de los buques. Por una parte, está el desplazamiento (D) del buque o volumen de agua de mar desalojado por su flotabilidad, que permite hacerse una idea de su tamaño y de sus necesidades de propulsión. Por otra, se considera el número de personas que componen la dotación (d) y el desplazamiento del navío (p). Se supondrá una masa de 100 kg por miembro de la dotación, teniendo en cuenta los equipos habituales. Así, el cálculo genérico del indicador de la eficiencia energética para cualquier buque militar sería el reflejado por la siguiente ecuación. Las unidades de EEOI utilizadas serán miligramos de CO_2 kilómetro de navegación y por tonelada métrica desplazada.

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j C_{Fj}}{(d+p)D}$$

Plan de Seguimiento, Notificación y Verificación

Para llevar a cabo una mayor vigilancia ambiental y ayudar en la mejora de la eficiencia energética a bordo de los buques, la OMI implantó el Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque (SEEMP). Están obligados los de arqueo bruto igual o superior a 400 toneladas y exentos de realizarlo ciertos tipos, entre los cuales están los militares. Para hacerse una idea, la Flota de la Armada tiene 39 buques (42 por 100) con un arqueo inferior a las 400 toneladas y 53 (58 por 100) con arqueo superior al citado tonelaje.

Pese a estar exentos del cumplimiento de esta normativa, la realización de este Plan implicaría mejoras en el ámbito energético y económico, sin verse penalizada su proyección de la Fuerza, obteniendo para el mismo trabajo

realizado por la Flota una reducción de la energía consumida, lo que conlleva una menor necesidad de combustible, disminuyendo los costes del movimiento de los buques y proporcionándoles una mayor autonomía.

Para la mejor comprensión de lo que supone esta medida, se realizó una comparativa entre el coste necesario de su implantación frente al coste del combustible necesario para realizar una navegación entre Ferrol y Rota de un buque tipo escolta.

Resultados

En el presente apartado se estudia un caso práctico del índice EEOI propuesto para la implementación del sistema SNV y del Plan SEEMP. Para ello se utilizan los datos de consumos de una misión de ocho días de navegación y puerto, dividida en cuatro rutas, de un buque de la clase F-100 (fig. 4).

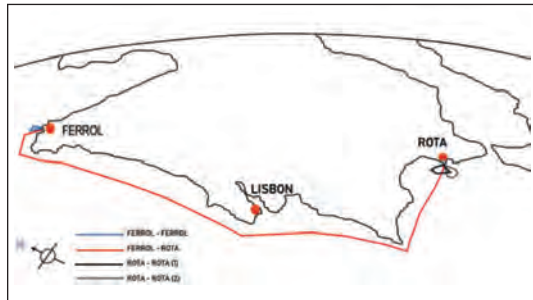


Fig. 4.—Navegación analizada.

Por motivos de confidencialidad no se hace referencia

al nombre del buque y las fechas y horas de las navegaciones están descontextualizados. Los datos más relevantes en lo referente al cálculo del EEOI serían su desplazamiento de 5.800 t, su dotación de 202 personas y el combustible utilizado F76-JP5 con un FC de $3,21 \text{ g}_{\text{CO}_2}/\text{l}_{\text{fuel}}$. En el análisis en su modo de navegación, se muestra la distribución del consumo energético a bordo (fig. 5), que proviene en su totalidad del combustible, puesto que este se emplea en los motores propulsores y diésel-generadores del buque.

El período analizado es de ocho días consecutivos, en los que el buque efectúa una serie de movimientos en el entorno geográfico que se puede ver en la fig. 4. Fundamentalmente, pasa por tres de sus condiciones habituales: puerto, crucero y

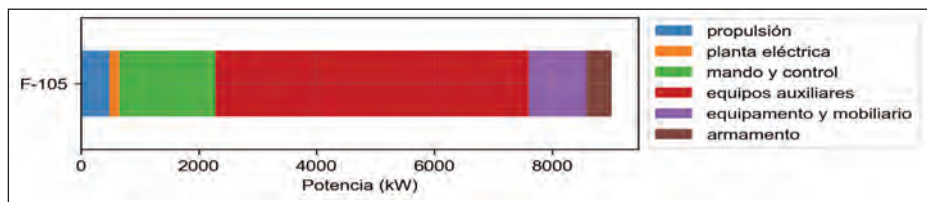


Fig. 5.—Distribución del consumo del buque objeto de estudio (19).

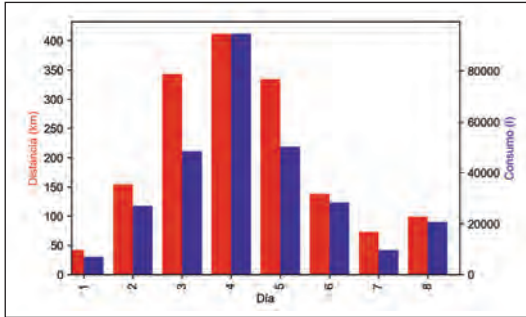


Fig. 6.—Distancia y consumos en la navegación analizada.

variables de porcentaje de carga de los equipos y tiempo de funcionamiento, influyen también las de tipo cualitativo, como el entorno o el personal que se encuentre a bordo trabajando. Sin embargo, se observa claramente que los consumos son menores en las condiciones de puerto (días 1 y 7), ya que la mayoría de los sistemas se encuentran apagados, confirmando que la DDS como primera aproximación en el diseño es una buena herramienta.

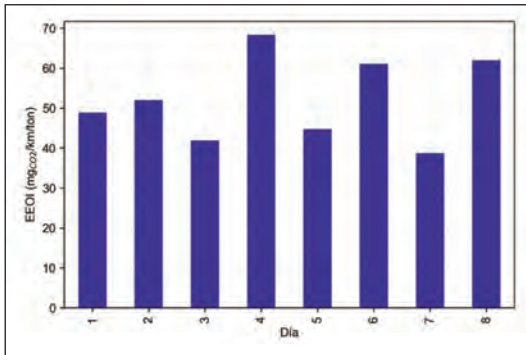


Fig. 7.—Índice EEOI en la navegación analizada.

de otras situaciones. Por lo tanto, el rasgo distintivo entre ambos modos será el diferente instrumental utilizado según las circunstancias.

Para un mejor seguimiento, se propone la inclusión de un sistema de caudalímetros en los motores principales y auxiliares. Una implantación que cada vez está siendo más usual entre los buques de nueva construcción y también en los ya existentes. Además, la normativa de la Unión Europea establece los indicadores de caudal como método de seguimiento del emitido por los buques. Para la mejor comprensión del coste que supone esta medida, se lleva a cabo una comparativa entre el coste necesario de implantación de la

operación, en la que englobamos las salidas para adiestramiento y pruebas. Analizado el caso en cuestión (fig. 6), comparando los cálculos efectuados para este buque basándose en los documentos de diseño DDS empleados por las marinas de la OTAN, los valores no se ajustan exactamente a los reales observados en los datos disponibles. Esto hace suponer que en el consumo, además de las

En la fig. 7 están los resultados del EEOI propuesto según el día de navegación. Se observa que las emisiones oscilan entre los 40 mg_{CO₂}/km/t del día 2 y las 68 mg_{CO₂}/km/t del día 4. Además, el EEOI en modo fondeo (días 1 y 7) es similar al de otros días de modo fondeo. Esto se debe a que los días de fondeo, aunque el consumo sea poco, también lo son los kilómetros navegados. Esto es, el cociente entre estas cantidades será similar al

medida frente al coste del combustible necesario para realizar una navegación entre Ferrol y Rota de un buque tipo escolta.

Se realiza este ejemplo de aplicación de la medida a los buques de acción naval por ser los de mayor desplazamiento, consumo y más representativos de la Armada a nivel internacional. Se pueden distinguir los motores principales, que suministran energía motriz al eje para la propulsión, y los auxiliares o generadores, encargados de proporcionar energía eléctrica. En la figura 8, se enumera la cantidad de motores y turbinas en que haría falta la instalación de un caudalímetro. Para su coste de instalación se tomará como referencia el indicado en el Proyecto ESB Cataluña, de mejora de la eficiencia, la sostenibilidad y el beneficio de la flota pesquera de arrastre catalana, que realiza la instalación de un caudalímetro en un motor de sus buques. Serían un total de 35 caudalímetros que, teniendo en cuenta un coste unitario de 4.300 euros (27), arrojaría un total necesario de 150.500 euros para poner en marcha el sistema de seguimiento de consumos.

LHD <i>Juan Carlos I</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Turbina de gas. • 2 Diésel generadores.
Fragatas Clase <i>Santa María</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Turbinas de gas. • 4 Diésel generadores.
Fragatas Clase "Álvaro de Bazán"	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Turbinas de gas + 2 motores diésel • 4 Diésel generadores
Buques de Asalto Anfibio Clase <i>Galicia</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 4 Motores diésel (propulsión) + 1 motor eléctrico. • 4 Diésel generadores.
Buques de Aprovisionamiento para el Combate <i>Patiño</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Motores diésel (propulsión) • 4 Diésel generadores
Buques de Aprovisionamiento para el Combate <i>Cantabria</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Motores diésel (propulsión) • 4 Diésel generadores

Fig. 8.—Equipos a monitorizar por caudalímetro.

A continuación, se calcula el coste del combustible consumido para la navegación Ferrol-Rota utilizada para el ejemplo de uso de la calculadora EEOI. El precio del litro de F-76 es el proporcionado por personal de la Armada para la equivalencia dólar-euro, de 22 de febrero de 2017, de 0,948 euros el dólar, y relación galón estadounidense a litros de 3,78541 litros el galón. El cálculo del coste del combustible necesario para realizar una navegación Ferrol-Rota por un buque tipo escolta sería de 184.735 euros.

(27) Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente: *Fondo Europeo Marítimo y de Pesca*, vol. 2017, n.º 02/28.



Fragata *Cristóbal Colón* durante su participación en la agrupación naval permanente SNMG-2.
(Foto: www.flickr.com/photos/armadamde).

Por tanto, la instalación de los caudalímetros y puesta en marcha del sistema de seguimiento tendría un coste similar al de la navegación Ferrol-Rota. Si bien implicaría una inversión económica y de labores de investigación, las mejoras podrían conseguir rentabilidad a largo plazo. Por ejemplo, en el 2015 el concurso de suministro de combustible para el Ejército de Tierra y la Armada tuvo un montante de 668.599.000 euros (BOE-B-2015-10981). Una reducción de consumo del 1 por 100 permitiría un ahorro de 6,6 millones o 198 al término del ciclo de vida, estimado en 30 años. Se debe tener presente que algunas de las mejoras no tendrían coste económico. Por ejemplo, la concienciación con el hábito de ahorro y mejor empleo de la energía en los buques por parte de las dotaciones y el seguimiento desde los arsenales son fundamentales en la consecución de mejoras de eficiencia energética.

Conclusiones

En el presente trabajo se ha realizado un estudio de las normativas civiles actuales de eficiencia energética en el sector marítimo, analizando su aplicabilidad en los buques de guerra. Se ha expuesto la utilidad del EEDI como índice a tener en cuenta en la construcción de buques futuros para un mejor

estudio de la eficiencia energética y sus posibilidades de mejora, pudiendo ponerse en marcha su uso en el nuevo proyecto de las futuras *F-110*. Pese a no tener obligación de ser cumplidas por los buques de la Armada española, su aplicación ayudaría, entre otras cosas, al aumento de autonomía de los buques y a la disminución de su impacto ambiental.

Se ha propuesto la mejora del Seguimiento, Notificación y Verificación en los buques de la Armada, guiándose con la propuesta por la UE. Un control preciso y análisis posterior de los datos ofrece la mejor ayuda para la elección de las medidas a seguir para mejorar la eficiencia energética, así como la efectividad de las implementadas. Se hace patente que la necesidad del empleo de caudalímetros a bordo en los buques de mayor porte es fundamental y por tanto es una vía abierta al estudio de su implantación en los de menor porte tipo auxiliar, como remolcadores, lanchas de instrucción o buques tipo goleta.

Queda como vía abierta el estudio de su uso en todos los buques de la Armada española, ya no solo como sistema de toma de datos tradicional, sino como un proceso que debe actualizarse dentro del entorno 4.0 y el Internet de las Cosas. Un control en tiempo real de estos consumos permitirá tomar decisiones tanto en los campos de operación-explotación como en los de mantenimiento y ciclo de vida.





Dotación y alumnos de la Escuela Naval Militar, 15 de julio de 2019. (Foto Armada española).