



# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Eficiencia energética en buques de guerra. Análisis de datos de consumo de un buque de guerra y posibilidades de reducción*

## Grado en Ingeniería Mecánica

**ALUMNO:** Luis Estarellas Perales

**DIRECTORES:** Miguel Ángel Álvarez Feijóo

Pedro Carrasco Pena

Raquel Fernández González

**CURSO ACADÉMICO:** 2017-2018

Universida<sub>de</sub>Vigo





# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Eficiencia energética en buques de guerra. Análisis de datos de consumo de un buque de guerra y posibilidades de reducción*

**Grado en Ingeniería Mecánica**  
Intensificación en Tecnología Naval  
Cuerpo General

Universida<sub>d</sub>eVigo



## **RESUMEN**

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como propósito fundamental analizar los datos de consumo de combustible de una de las unidades de la Armada más punteras, la fragata Cristóbal Colón, con el objetivo de, desde la más pura objetividad de los datos reales, descubrir posibilidades auténticas de reducción del consumo de combustible y la consecuente reducción de los efectos adversos de las emisiones.

La concienciación en materia de eficiencia energética debida entre otras razones al constatado cambio climático, ha llevado a la sociedad actual a la búsqueda del desarrollo sostenible en ámbitos como el económico, el energético o el ambiental. Una de las principales medidas en dicho desarrollo es la búsqueda de un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos existentes.

El estudio de las posibilidades de reducción del gasto económico y del consumo energético es primordial para cualquier organización hoy en día, siendo numerosas las inversiones y estudios en materia de mejora de la eficiencia energética esto no lo es menos en el sector naval. Las directrices, recomendaciones, normas y legislación existentes, especialmente las emitidas por la OMI, los nuevos horizontes planteados para la mejora de la actividad marítima en todas sus vertientes, hacen de su estudio una meta prioritaria.

La Armada Española, exenta de cumplir esta normativa ya obligatoria para buques civiles ha mostrado desde hace años y como parte de su responsabilidad social corporativa, su autodisciplina en el cumplimiento voluntario de dicha reglamentación y estas políticas se ven cada vez más reflejadas en su actuación diaria.

Alcanzar un mayor grado de eficiencia de los buques de la Armada supondrá un ejemplo a seguir en materia de reducción del consumo de energía por otras organizaciones y colectivos, y muestra clara del compromiso con el respeto medioambiental y la sostenibilidad sin mermar sus capacidades operativas, logrando el mejor aprovechamiento de los recursos tanto económicos como materiales y humanos.

## **PALABRAS CLAVE**

Eficiencia energética, buque de guerra, consumo combustible, índices energéticos, medioambiente.



# **AGRADECIMIENTOS**

A todas aquellas personas que me han ayudado a lo largo de estos cinco años.





## CONTENIDO

1	Introducción y objetivos .....	11
1.1	Motivación del proyecto .....	11
1.2	Objetivos del proyecto .....	12
1.3	Estructura de la memoria .....	12
2	Estado del arte .....	13
2.1	Eficiencia energética .....	13
2.1.1	Introducción .....	13
2.1.2	Factores que influyen en la eficiencia energética .....	14
2.1.3	El interés para Defensa .....	15
2.1.4	Normativa sobre EE.....	15
2.2	Importancia de la eficiencia energética en el sector marítimo .....	18
2.2.1	Introducción .....	18
2.2.2	Normativa sobre EE en buques.....	19
2.2.3	EE a nivel tecnológico .....	23
2.3	Eficiencia energética en un buque de guerra .....	29
2.3.1	Definición de buque de guerra.....	29
2.3.2	Eficiencia energética en un buque de guerra .....	30
2.3.3	Eficiencia energética en un buque de guerra de la Armada Española .....	31
2.3.4	Naval Distillate Fuel F-76 .....	34
2.3.5	Proyectos desarrollados por diversas marinas de guerra .....	35
3	Desarrollo .....	39
3.1	Análisis de datos de consumo de un buque de guerra.....	39
3.1.1	Contextualización de la información .....	39
3.1.2	Realización del análisis.....	43
3.2	Calculadora EEOI como indicador de EE.....	60
4	Resultados y análisis .....	65
4.1	Evaluación de los resultados .....	65
4.1.1	EEOI modificado .....	66
4.1.2	Índice Total consumido / Distancia navegada .....	66
4.1.3	Índice Consumido propulsión / Distancia navegada .....	67
4.1.4	Correlación lineal entre la temperatura del agua del mar y el consumo energético del buque.....	67
4.1.5	Gasto económico asociado.....	68
4.2	Presentación gráfica de los resultados .....	68

5 Conclusiones y líneas futuras .....	73
6 Bibliografía.....	75
7 Anexo I: Tablas .....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Factores que influyen en la EE. [7] .....	14
Figura 2-2 Cumbres de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. [17].....	16
Figura 2-3 Figura de flujo básico del proceso de reconocimiento y certificación. [41].....	21
Figura 2-4 Ejemplo eficiencia de escala buque triple-E. [47].....	24
Figura 2-5 Buque solar Turanor.[52] .....	26
Figura 2-6 Potencial de reducción de CO <sub>2</sub> debido a medidas relativas a la EE. [54] .....	27
Figura 2-7 Buque Energy Observer [56] .....	29
Figura 2-8 Fragata Armada Española Clase Álvaro de Bazán. [58] .....	30
Figura 2-9 Buques de la Armada Española (2018) .....	32
Figura 2-10 Prototipos multipropósito de BAM. [60].....	33
Figura 2-11 Medidas de protección al medio ambiente proyecto " <i>Buque de Contaminación Cero</i> ". .....	33
Figura 2-12 Equivalencia euro-dólar durante el período de misión. [63] .....	34
Figura 3-1 Fragatas Armada Española clase Álvaro de Bazán. [58].....	39
Figura 3-2 Zona de operaciones operación OCEAN SHIELD. [58].....	41
Figura 3-3 Ejemplo de la nomenclatura utilizada en la base de los datos. Elaboración propia. ....	42
Figura 3-4 Relación de las situaciones operativas a lo largo de todo el período de estudio. ....	43
Figura 3-5 Relación de las situaciones operativas en el período de Calificación Operativa.....	45
Figura 3-6 Relación de las situaciones operativas en el período de misión. ....	45
Figura 3-7 Relación de millas navegadas a lo largo de todo el período de estudio. ....	46
Figura 3-8 Relación de millas navegadas durante el período de misión. ....	48
Figura 3-9 Consumo de combustible F-76 a lo largo de todo el período de estudio.....	49
Figura 3-10 Relación de consumo de combustible total F-76 navegando a lo largo de todo el período de misión.....	52
Figura 3-11 Relación de consumo de combustible total F-76 en puerto a lo largo de todo el período de misión. ....	53
Figura 3-12 Temperatura media semanal durante la estancia en la Graña. [70] .....	55
Figura 3-13 Temperatura media semanal durante la estancia en Rota. [70] .....	55
Figura 3-14 Temperatura media semanal durante la estancia en Souda. [70].....	56
Figura 3-15 Temperatura media semanal durante la estancia en Djibouti. [70] .....	56
Figura 3-16 Temperatura media semanal durante la estancia en Doha. [70] .....	56
Figura 3-17 Temperatura media semanal durante la estancia en Salalah (I). [70].....	57
Figura 3-18 Temperatura media semanal durante la estancia en Seychelles. [70].....	57
Figura 3-19 Temperatura media semanal durante la estancia en la Dubai. [70] .....	57
Figura 3-20 Temperatura media semanal durante la estancia en Salalah (II). [70].....	58

Figura 3-21 Temperatura media semanal durante la estancia en Salalah (III). [70] .....	58
Figura 3-22 Temperatura media semanal durante la estancia en Jeddah. [70].....	58
Figura 3-23 Temperatura media semanal durante la estancia en Souda (II) [70] .....	59
Figura 3-24 Temperatura media semanal durante la estancia en Estambul. [70].....	59
Figura 3-25 Temperatura media semanal durante la estancia en Nápoles. [70].....	59
Figura 3-26 Temperatura media semanal durante la estancia en Málaga. [70].....	60
Figura 3-27 Temperatura media semanal durante la estancia en Ferrol. [70] .....	60
Figura 4-1 Resultado EEOI modificado en las diferentes navegaciones. ....	69
Figura 4-2 Resultado índice Total consumido / Distancia navegada en las diferentes navegaciones. .....	70
Figura 4-3 Resultado índice Consumido propulsión / Distancia navegada en las diferentes navegaciones. ....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Distribución de las diferentes situaciones de un buque de guerra a lo largo de su ciclo de vida. [59] .....	30
Tabla 3-1 Características generales F-105. [58].....	40
Tabla 3-2 Relación de las situaciones operativas en función del año. ....	44
Tabla 3-3 Relación de millas navegadas en función del año.....	47
Tabla 3-4 Relación consumo combustible debido a los DDGG en función del año.....	50
Tabla 3-5 Relación consumo de combustible debido a los MMPP en función del año. ....	50
Tabla 3-6 Relación consumo de combustible F-76 en función del año. ....	50
Tabla 3-7 Glosario de unidades de uso en la calculadora. [43].....	63
Tabla 4-1 Resultado gasto económico asociado al combustible. ....	68
Tabla 7-1 Relación de las situaciones operativas a lo largo de todo el período de estudio.....	79
Tabla 7-2 Relación de las situaciones operativas en el período de Calificación Operativa. ....	79
Tabla 7-3 Relación de las situaciones operativas en el período de misión. ....	80
Tabla 7-4 Relación de millas navegadas en el período de misión.....	80
Tabla 7-5 Relación de consumo de combustible total F-76 navegando a lo largo de todo el período de misión. ....	81
Tabla 7-6 Relación de consumo de combustible total F-76 en puerto a lo largo de todo el período de misión. ....	82
Tabla 7-7 Resumen resultados calculadora EEOI en las diferentes navegaciones. ....	83



# 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1 Motivación del proyecto

Las posibilidades de la eficiencia energética (EE) a nivel mundial, de la mano del ahorro de la propia energía, constituyen los principales mecanismos de respuesta a tres de los desafíos más relevantes a los que se enfrenta la sociedad de hoy en día: la crisis económica, energética y medioambiental.

La disminución de los recursos económicos, el progresivo agotamiento de los recursos fósiles existentes en el planeta y la poca concienciación del ser humano por problemas medioambientales como el cambio climático [1], se podrían definir como las principales circunstancias causantes de dichas crisis.

Un sector como el marítimo, cuya importancia en el comercio mundial está fuera de toda duda, está alcanzando un alto grado de concienciación en aspectos relacionados con estos tres problemas. La búsqueda de la máxima rentabilidad económica y la investigación en avances tecnológicos respetuosos con el medioambiente son claros ejemplos del compromiso internacional de continuar con el desarrollo de las medidas tecnológicas necesarias que conduzcan a maximizar la EE en el entorno marítimo.

Se podría obviar citar que un buque de guerra no tiene como objetivo principal alcanzar un cierto grado de EE. De hecho, los buques de guerra, por su condición como tal, no están obligados a cumplir el Convenio MARPOL (Marine Pollution) [2] pero la Armada Española se ha fijado como objetivo el cumplimiento de su normativa, especialmente el apartado referido a la emisión de gases contaminantes, buscando lo que se denomina como "*Buque de contaminación cero*", luchando contra la contaminación marina y atmosférica.

Por ello, en el presente proyecto se busca una mejora en la EE en los buques de la Armada Española, analizando los datos de consumo y planteando unas posibles reducciones en dichos consumos. Con estos resultados, obtendremos soluciones a los tres problemas que se han citado a lo largo de esta introducción: en el aspecto económico, reduciendo el gasto en el coste del movimiento de los buques; en el aspecto energético, mejorando la autonomía de los buques, permitiendo navegar una mayor distancia con la misma cantidad de combustible y por último, en el aspecto medioambiental, con la reducción de la emisión de los gases de efecto invernadero (GEI).

## **1.2 Objetivos del proyecto**

Los objetivos fundamentales que se han marcado para este Trabajo de Fin de Grado (TFG) son los siguientes:

- Conocer el estado del arte en aspectos relativos a la EE y a su normativa, centrada en el ámbito naval.
- Estudio y análisis de datos de consumo de un buque de guerra.
- Aplicación de la calculadora del Indicador Operacional de la Eficiencia Energética (EEOI) para el buque objeto de estudio.
- Obtención de líneas de trabajo para la reducción del gasto energético en un buque de guerra de la Armada.

## **1.3 Estructura de la memoria**

En este apartado se describe la estructura que se ha utilizado para organizar este TFG, resumidos a continuación:

- Introducción, donde se presenta el proyecto, la motivación, los objetivos y su estructura.
- Estado del arte, donde se expone toda la información investigada previamente para la redacción del trabajo, mostrando los aspectos necesarios para llevar a cabo tal investigación.
- Desarrollo del trabajo.
- Resultados y análisis.
- Conclusiones y líneas futuras que se abren con la elaboración del TFG.



## 2 ESTADO DEL ARTE

*"El mundo se enfrenta a una combinación muy desalentadora: por un lado una creciente demanda energética y cada vez más emisiones de gases de efecto invernadero y, por otro, un agotamiento de los recursos. Una revolución tecnológica global en materia energética es necesaria y puede llegar a conseguirse; pero es un desafío enorme."*

**Nabou Tanaka**, Ex-Director Ejecutivo de la Agencia Internacional de la Energía (2010)

### 2.1 Eficiencia energética

#### 2.1.1 Introducción

La Real Academia Española (RAE) define la palabra eficiencia como:

*"La capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado".*

Dicho de otro modo, eficiencia es la capacidad o habilidad de lograr un resultado con el mínimo número de recursos disponibles en el menor tiempo posible.

En lo concerniente a la eficiencia energética (EE), Murray G Patterson en su libro *"What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues"* [3] define este concepto de la siguiente forma: *"la EE se refiere a utilizar menos energía para producir la misma cantidad de servicios o productos útiles"*. Un uso eficiente de la energía permite una optimización tanto de la obtención de los recursos energéticos como de los procesos productivos. La reducción de las pérdidas energéticas que se producen en todo proceso necesita de la incorporación de mejores hábitos de uso y mejores tecnologías. [4]

El concepto de asociar principalmente la EE a la energía eléctrica, por ser esta la más utilizada, es erróneo, la EE puede aplicarse a cualquier fuente de energía. Con un uso eficiente de la energía podemos reducir desde el coste de obtención y utilización, reduciendo el coste de explotación y de igual forma, protegiendo el medio ambiente y fomentando la sostenibilidad. En definitiva, la EE busca la óptima relación entre la producción y el gasto de la propia energía, sin perder calidad de vida.

En la sociedad actual, son innegables los rápidos cambios en las preferencias tanto en la producción como en el consumo de todo tipo de productos. Este tipo de procesos productivos intensivos, tiene como consecuencia que la gran mayoría de los países desarrollados tienen un alto nivel de dependencia energética. La gran demanda de recursos energéticos y el insuficiente desarrollo de los recursos renovables conllevarán al agotamiento de las fuentes de recursos energéticos tradicionales, como son los hidrocarburos.

El cambio climático, producido principalmente por los gases de efecto invernadero (GEI), tiene en el campo de la EE las acciones más relevantes para la reducción del calentamiento global mediante la

reducción de las emisiones de estos gases. Además de los mencionados GEI, se deben mencionar dentro de las llamadas emisiones atmosféricas, las sustancias que agotan la capa de Ozono. Entre todas estas sustancias, las más representativas son las de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y las de óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) que producen deposiciones ácidas, ozono superficial y eutrofización del medio, las de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que contribuyen al cambio climático y la de los halones que afectan a la capa de ozono.

Dada la gran demanda de recursos energéticos y el impacto ambiental que la explotación masiva de los mismos provoca en el entorno, tiene lugar una opinión generalizada que trata de la necesidad de una revolución en la explotación del modelo energético. [5]

La remodelación del paradigma energético se puede considerar como uno de los principales retos de la humanidad a lo largo de la primera mitad del siglo XXI. Este desafío se debe considerar como un reto tecnológico y social. La concienciación de los seres humanos y la práctica profesional en el sector tienen que ser los pilares en los que se sustentará esta "revolución". [6]

El consumo incontrolado de energía ha hecho que las organizaciones tanto públicas como privadas hayan potenciado el desarrollo de estudios de EE. Esta concienciación ha llegado hasta tal punto que en la Primera Conferencia Internacional de la Eficiencia Energética celebrada en Austria en 1998, se estableció el día 5 de marzo como el Día Mundial de la Eficiencia Energética, para pensar en las posibles soluciones que puedan hacer frente al abuso que se hace de los combustibles fósiles. Un día a nivel mundial es el ejemplo perfecto para que el ser humano reflexione sobre la obligación moral de cuidar el planeta.

### 2.1.2 Factores que influyen en la eficiencia energética

Según el tipo de uso que se le quiera dar a la energía, se pueden destacar tres diferentes factores que influyen en la EE como se pueden ver en la Figura 2-1: los factores económicos, los factores tecnológicos y los factores sociales. [7]

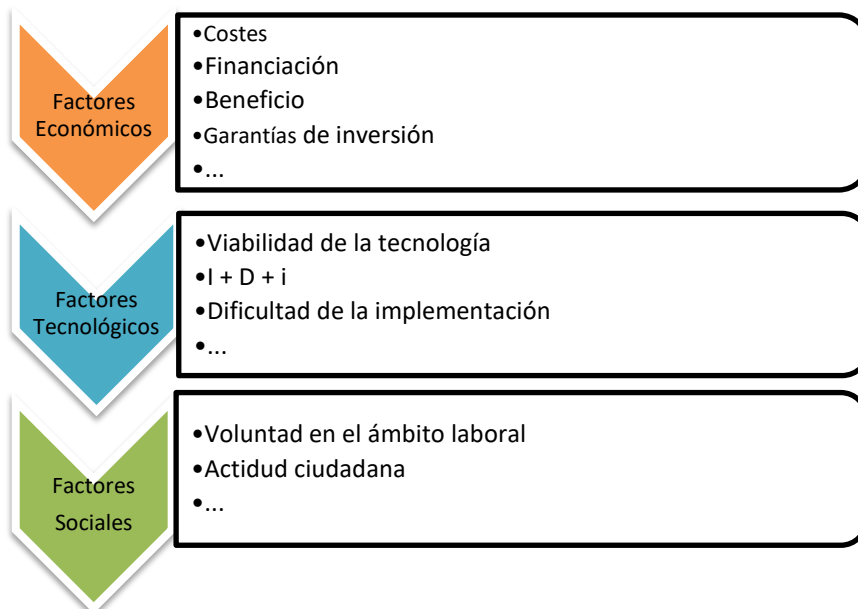


Figura 2-1 Factores que influyen en la EE. [7]

Existe una creencia social acerca de la gran importancia de la tecnología como elemento principal del cambio o desarrollo industrial, pero no hay que dejar de lado que el factor humano es decisivo en todo proceso de cambio.

### 2.1.3 *El interés para Defensa*

Existe una interrelación entre cambio climático, energía, seguridad y defensa, la cual tiene gran importancia en el panorama estratégico mundial. Teniendo claro que el concepto de operatividad es ineludible para las fuerzas armadas, las soluciones que ayuden a corregir los problemas tanto energéticos como medioambientales son objetivos marcados por los organismos centrales de los mismos.

Las Fuerzas Armadas Españolas (FAS) tienen en la Subdirección General de Planificación y Medio Ambiente el organismo que desempeña, entre otras muchas funciones, la de desarrollar la política medioambiental del Ministerio de Defensa (MINISDEF) y dirigir y supervisar el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética (PAEE). [8]

Medidas como la concienciación del personal de las FAS, la promoción del ahorro energético, la protección del medio natural y el fomento del uso de energías alternativas son los objetivos básicos marcados para esta Subdirección General. A mayores de la política medioambiental, una reducción en el consumo de energía abarataría el coste de la misión y disminuiría la cantidad de emisiones contaminantes. [9] [10]

La EE es un aspecto a tener en cuenta en el área de I+D de Defensa. Adaptar los sistemas tecnológicos civiles más punteros al entorno militar junto con el desarrollo que se pueda realizar dentro de dicho ámbito son las medidas necesarias para llevar a cabo una óptima utilización de los recursos.

### 2.1.4 *Normativa sobre EE*

#### 2.1.4.1 **Política medioambiental**

Al hablar de normativa sobre la EE, es de obligado cumplimiento tratar primero la normativa referente a la gestión ambiental y a la lucha contra el cambio climático. Este apartado tiene por objeto ofrecerle al lector una breve exposición cronológica de los principales hitos realizados por la sociedad en materia de gestión ambiental.

La gestión ambiental actual se ha construido mediante la interacción de un complejo conjunto de factores económicos, sociales, culturales, políticos y ambientales. En la segunda mitad del siglo XX, diversos estudios científicos como "*Silent Spring*" de Rachel Carson [11], donde se exponía la creciente preocupación por la contaminación ambiental causada por el incesante desarrollo económico causaron un profundo impacto en la sociedad.

A principios de 1970, fenómenos como la lluvia ácida en los países industrializados, motivaron la realización de la Conferencia de Estocolmo sobre el Medio Ambiente Humano [12]. Organizada por las Naciones Unidas en 1972 se considera como el primer esfuerzo a nivel global en el desarrollo de la política internacional del medio ambiente. Con esta Conferencia el tema ambiental alcanzó una mayor prioridad en las agendas estatales. Libros como "*Only one Earth*" de Barbara Ward y René Dubois [13] o "*The limits to growth*" de Donella H. Meadows [14] advirtieron del peligro de mantener las tendencias del desarrollo económico ante la incapacidad del planeta para soportarlo.

Estocolmo sirvió de base para determinadas mejoras en la calidad ambiental de los países desarrollados, pero el deterioro de los recursos naturales y la mayor degradación ambiental del mundo en desarrollo, como la confirmación de la existencia del agujero de la capa de ozono o la novedosa idea del cambio climático, sirvieron como motivación para la Asamblea de las Naciones Unidas a constituir la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo en 1987. [15]

El Protocolo de Montreal, constituido a partir de las nuevas amenazas no detectadas por la Conferencia de Estocolmo como la destrucción de la capa de Ozono, se considera uno de los tratados multilaterales sobre medio ambiente más exitosos de la historia. Se determinaron los compromisos y modalidades de tener la emisión de sustancias contaminantes, iniciándose así la construcción de un

nuevo tipo de convención global, acuñándose el término "desarrollo sostenible". Con la nueva década se determinaron las bases para la negociación de una convención sobre el cambio climático.

La lucha contra el cambio climático a nivel global comenzó con la firma del Convenio Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMNUCC) en 1992. Esta Convención marcó un antes y un después en la concienciación de la sociedad sobre el exceso de emisiones de GEI sobre la atmósfera. Los países industrializados vieron la necesidad de estabilizar la emisión de dichos gases viendo que podían afectar adversamente a los ecosistemas naturales y a la humanidad. [16]

La denominación "*Marco*" establece una revisión periódica del documento para que los esfuerzos frente al calentamiento atmosférico y el cambio climático puedan orientarse mejor y ser más eficientes. No fue hasta 1994 cuando entró en vigor, cuando se generó un mecanismo para la participación de los miembros en asambleas generales anuales denominadas Conferencias de las Partes (CP). En estas asambleas se decidirían las líneas de actuación a seguir por los países miembros, véase Figura 2-2.



**Figura 2-2 Cumbres de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. [17]**

La primera CP que tuvo especial relevancia fue la CP 3 de Kioto en 1997 en la que se firmó el Protocolo de Kioto[1]. A partir de Kioto, las negociaciones se volvieron más complejas y se establecieron grupos de actuación para cada tema. Este cambio no tuvo el éxito esperado, no obstante con los informes del Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) se ofrecieron pruebas certeras de las consecuencias del calentamiento global de origen humano en el futuro, estableciendo el límite de subida de 2°C la temperatura en el año 2100 respecto a los niveles de 1900 para evitar los efectos irreversibles del calentamiento global. [18]

La vigencia del Protocolo de Kioto finalizó en 2012, esto obligó a establecer un nuevo protocolo. Las bases de este protocolo se marcaron en la CP 13 celebrada en Bali [19] y se destinaron muchos medios para conseguir un nuevo acuerdo de lucha contra el cambio climático. La esperanza se puso en la CP 15 celebrada en Copenhague en 2009, [20] pero la excesiva ambición generada no permitió alcanzar un acuerdo vinculante de reducción de emisiones para relevar a los objetivos establecidos en Kioto, por lo que se prolongó la vigencia del mismo hasta 2020.

No fue hasta el CP 21 de París en 2015 donde se consiguió renovar el acuerdo firmado previamente en el Protocolo de Kioto. Con el Acuerdo de París se remarcó la afirmación de que el cambio climático es un problema de toda la humanidad y que la respuesta al mismo ha de ser progresiva y eficaz, basada en los mejores conocimientos científicos disponibles actualmente. [21]

#### 2.1.4.2 Política energética

Por otro lado, la Unión Europea a través de sus organismos establecidos para ello, además de todas las medidas establecidas en materia de política ambiental, ha llevado a cabo una política energética comunitaria que establece las líneas generales de forma que se garantice el acceso a una energía sostenible, segura y competitiva. En 2007 la Comisión Europea firmo una comunicación denominada "Una política energética para Europa". [22]

El objetivo general establecido se materializó la creación de la Estrategia Europa 2020, fundamentada en el desarrollo sostenible donde se establecen objetivos cuantificables en materia de energía y cambio climático [5], destacando:

- Reducción de un 20% en las emisiones de los GEI en comparación con los niveles de 1990.
- Incremento de un 20% de las fuentes de energía renovables en el consumo energético.
- Aumento de un 20% de la EE.

Un denominador común que contribuye a cumplir todos los objetivos energéticos de la UE de forma positiva es la EE. Con una mejora en la EE se disminuiría la dependencia energética, se reducirían las emisiones de todo tipo y se mejoraría la competitividad de las empresas consumidoras.

Viendo esta oportunidad, la UE ha regulado una gran cantidad de iniciativas dirigidas a mejorar la EE. En un principio se dividieron en dos grandes bloques: las dirigidas a los equipos consumidores y las destinadas a que el propio mercado energético actúe de manera más eficiente.

Entre las primeras se pueden destacar las siguientes directivas:

- La Directiva 2009/125/CE por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía. [23]
- La Directiva 2010/30/UE relativa a la indicación del consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada. [24]
- La Directiva 2010/31/UE relativa a la EE en edificios. [25]

Entre las segundas se puede destacar:

- La Directiva 2004/8/CE relativa al fomento de la cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil en el mercado interior de la energía. [26]
- La Directiva 2006/32/CE sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos. [27]

A finales de 2012, en un marco en el que se constata que no se van al alcanzar los objetivos establecidos para 2020, como el de aumentar en un 20% la EE, es de necesaria actualización la normativa vigente sobre EE. Se crea un marco común con el objetivo de reforzar el objetivo anteriormente planteado y plantear mejoras de EE más allá de 2020.

De esta situación, surge la Directiva 2012/27/UE relativa a la EE, cuyo objetivo pretende agilizar la EE a nivel global para conseguir una energía segura, sostenible y competitiva. La ambición de la misma repercute en todas las políticas anteriores de EE. Deroga las directivas referentes al fomento de la cogeneración y sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos. También modifica las directivas sobre ecodiseño y etiquetado energético y, por último, complementa la Directiva 2010/31/UE relativa a la EE en edificios. [28]

Recientemente, esta directiva relativa a la EE en edificios ha sido propuesta para una modificación denominada Directiva relativa a la EE en edificios (DEEE) donde destacan el fomento de la utilización de las TIC y las tecnologías inteligentes a fin de garantizar el funcionamiento eficaz de los edificios y la integración de las estrategias de renovación a largo plazo. [29]

Cada uno de los Estados miembros se marcó sus propios objetivos orientados de EE para 2020, basados en los requisitos mínimos que marcaba dicha Directiva. España definió el Plan Nacional de Acción Energética de Eficiencia Energética 2014-2020 (PNAEE) desarrollado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). [30]

El IDAE [31] es un organismo perteneciente al Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital del Gobierno de España que desarrolló dicho PNAEE 2014-2020 con el fin de llevar a cabo el cumplimiento de la Directiva 2010/27/UE, centrado en un uso más eficiente de la energía y el

desarrollo de auditorías energéticas para controlar y realizar un seguimiento de las mejores de la EE para el cumplimiento de los objetivos marcados en la Estrategia Europa 2020. [32]

Este Plan sustituyó al anterior Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (PAAEE) 2011-2020 [33] que daba continuidad a los planes de ahorro y EE que habían sido aprobados con anterioridad por el Gobierno Español dentro del marco de la Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética. Con el nuevo marco común europeo España se vio obligada a adaptar sus planes.

Actualmente, el Plan que España tiene en vigor es el PNAEE 2017-2020 [34] debido a la exigencia marcada por la Directiva 2012/27/UE de presentar un nuevo plan cada tres años. Este Plan se estructura en cuatro capítulos:

- Introducción y presentación del objeto y estructura del mismo.
- Análisis de los consumos e intensidades energéticas en España hasta 2015 y comparativo con la UE.
- Presentación de los objetivos de EE y el grado de avance en la consecución de los mismos.
- Medidas de ejecución conducentes a la consecución de los objetivos de ahorro exigidos por la Directiva 2012/27/UE.

Añade también en informe anual correspondiente al año 2017 sobre los progresos alcanzados en relación con los objetivos nacionales de EE que cada Estado se comprometió a realizar.

## **2.2 Importancia de la eficiencia energética en el sector marítimo**

### *2.2.1 Introducción*

La importancia del transporte marítimo a nivel mundial es cada vez mayor, pudiendo considerarse este como uno de los pilares básicos de la economía mundial. Un instrumento imprescindible para la globalización del comercio mundial superando los 30.000 millones de toneladas cada año, transportando cerca del 90% del volumen las mercancías del mundo. [35]

El transporte marítimo es uno de los medios de transportes más eficientes que existen para el progreso y desarrollo, además de considerarse un medio seguro, rápido y sostenible. La navegación marítima, según la organización RightShip, supone el 2,3% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>, posicionándolo como el modo de transporte más respetuoso con el medio ambiente, desde el punto de vista de las emisiones de GEI. Sin embargo, debido al aumento del volumen de mercancías transportadas por vía marítima, no se esperan reducciones en el consumo de combustibles y emisiones de CO<sub>2</sub>, a pesar de las nuevas regulaciones, sino todo lo contrario. [36]

Por razones claramente económicas, la gran mayoría de los buques utilizan combustibles "de baja calidad", los cuales tienen un alto contenido de azufre. El principal motivo es la gran dependencia de este sector en los combustibles fósiles cada vez más escasos, especialmente del petróleo o de los productos derivados del refinado del propio petróleo de menor calidad.

Otro aspecto a tener en cuenta es la distancia de las fuentes de emisión, en comparación con las fuentes terrestres, el impacto de las emisiones marítimas es menos evidente sobre el medio ambiente. No obstante, en las ciudades portuarias las emisiones de los buques son una de las principales fuentes de contaminación.

La importancia de EE en el sector marítimo no sólo radica en la lucha contra la contaminación. Existen muchas medidas, que se han llevado a cabo o que se trabaja para desarrollarlas, para alcanzar la implantación de un modelo energético más eficiente. Desde la búsqueda de combustibles alternativos, la optimización del diseño de las formas de los buques o el perfeccionamiento de los sistemas de propulsión son las principales líneas de actuación a nivel tecnológico para mejorar la eficiencia energética en los buques. [37]

Alcanzando un nivel suficiente de EE se actuará directamente sobre una reducción en el consumo de combustible, teniendo dos posibles lecturas: una reducción de las emisiones de gases contaminantes y el consiguiente ahorro económico que conllevaría un menor gasto de cantidad de combustible.

### *2.2.2 Normativa sobre EE en buques*

El tema de la normativa referente a la reducción de contaminantes atmosféricos ya ha sido tratado previamente en este Trabajo de Fin de Grado en el apartado 2.1.4.1 de Política medioambiental, pero en los diversos tratados que abordan dicho apartado apenas se hace una mención a regulaciones sobre transporte marítimo.

Es la Organización Marítima Internacional (OMI), el organismo de las Naciones Unidas especializado en la Seguridad de la Navegación y las Prevención de la Contaminación de los buques, la encargada de la regularización de las emisiones a la atmosfera procedentes del sector marítimo y de la consecución de un modelo que apueste por la EE. En concreto, el Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques MARPOL 73/78 (Marine Pollution) representa el principal convenio de la OMI referido a la prevención de la contaminación del medio marino, ya sea debido a causas operativas o accidentales. [2] [38]

#### **2.2.2.1 Convenio MARPOL**

El Convenio MARPOL 73/78 [2] tiene aplicación sobre la totalidad de los buques, excepto los buques de guerra o aquellos buques que siendo propiedad de un estado, presten servicios gubernamentales de carácter no comercial. No obstante, la concienciación a nivel global de proteger el medio marino, ha llevado a estos buques, denominados "exentos", a actuar en consonancia con este Convenio, siempre que no perjudique la capacidad operativa de dichos buques.

El Convenio se compone de unos artículos que determinan la jurisdicción y facultades de ejecución e inspección, y de unos anexos que detallan más detenidamente las regulaciones anticontaminación. Del primer al quinto anexo tratan de reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos, por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel, por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos o para prevenir la contaminación por aguas sucias y por las basuras de los propios buques.

La normativa actual sobre las emisiones de gases contaminantes procedentes de buques que naveguen en aguas internacionales es el Anexo VI de dicho Convenio, añadido en 1997. Sustancias que agotan la capa de ozono, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) o los compuestos orgánicos volátiles son las sustancias contaminantes en las que se hace hincapié en dicho Anexo.

El contenido de azufre permitido en los combustibles marinos está estrictamente restringido es unas determinadas zonas denominadas Sulphur Emission Control Areas (SECA's). Estas áreas fueron creadas a consecuencia de problemas como la lluvia ácida provocada por la contaminación atmosférica. Lugares como el Mar Báltico, el Canal de la Mancha o las costas de EEUU o Canadá son algunas de las SECA's que existen actualmente en el mundo. Una variable más genérica de las SECA's son las Emission Control Areas (ECA's) que además de la cantidad de azufre, también miden cantidades de NO<sub>x</sub> y de CO<sub>2</sub>. [39]

El Comité de Protección del Medio Marino (MEPC) es el órgano técnico superior de la OMI encargado de abordar las cuestiones ambientales recogidas dentro del Convenio MARPOL 73/78, controlando periódicamente que se cumplan estos reglamentos. En diversas de estas sesiones, el objetivo principal ha sido la búsqueda de mejoras de la EE de los buques.

#### **2.2.2.2 Política energética**

Con el desarrollo tecnológico de los últimos años, la OMI decidió adoptar una serie de nuevas directrices, técnicas y operacionales, destinadas a mejorar la EE en los buques, reduciendo en una mayor medida las emisiones contaminantes. Estas medidas fueron presentadas a consecuencia de la

publicación de un primer estudio de las emisiones de CO<sub>2</sub>, con el objetivo de establecer la cantidad de GEI emitidos dentro del conjunto global de emisiones, realizándose en la sesión número 45 del MEPC en Junio del 2000. [40]

Dentro de las medidas técnicas, se hace referencia a aquellas acciones que se pueden realizar sobre la maquinaria, tanto en equipos como en combustible, como sobre el propio casco del buque. Las medidas operacionales se basan en las acciones que se llevan a cabo a bordo de un barco en el día a día, como planificación en las rutas o la velocidad llevada durante la navegación. [41]

Estas directrices permitieron que se implantasen, en el MEPC 62 de Julio del 2011, unas reglas de carácter obligatorio sobre la EE de los buques en el Anexo VI del Convenio MARPOL como son el Índice de Eficiencia Energética de Diseño (EEDI), el Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del buque (SEEMP) y el Indicador Operacional de la Eficiencia Energética (EEOI). La lentitud en la introducción de estas medidas en la flota mundial hace que se establezca un marco temporal amplio para el desarrollo de las mismas. [42]

A continuación se irán desglosando las diferentes reglas de carácter obligatorio implantadas en el MEPC 62:

### **2.2.2.3 Índice de Eficiencia Energética de Diseño (EEDI)**

Constituye una herramienta que nos permite conocer la información sobre la EE específica de un buque de nueva construcción o aquellos que hayan sufrido una transformación importante, en función de su categoría y su tamaño, no incluyendo a aquellos buques que no superasen las 400 toneladas de arqueado bruto. [41]

Mediante el EEDI, es posible conocer la cantidad de masa emitida de CO<sub>2</sub> (expresada en gramos) a la atmósfera por cantidad de toneladas de carga transportadas (en tonelada por milla), siendo necesario que esta relación cumpla unos requisitos mínimos para ser aprobada su construcción, dejando claros desde el principio los procedimientos de verificación, reconocimiento y certificado, véase Figura 2-3. El umbral obligatorio marcado por la OMI se estableció en función del promedio de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la flota mundial existente entregada entre 1995 y 2004.

Definido este índice, los buques tienen la obligación de llevar a bordo un expediente técnico que contenga la información necesaria para el cálculo del EEDI y muestre el proceso de cálculo. Estos documentos serán comprobados por personal competente de la OMI en las revisiones periódicas.

Es necesario resaltar que aquellos buques que tengan sistemas de propulsión diésel-eléctrica, propulsión por turbinas o híbrida, no estarán obligados a calcular el EEDI hasta que se determinen los métodos del cálculo del EEDI para dichos buques.

Cuanto menor sea el resultado del EEDI, mayor EE tendrá el diseño del buque.



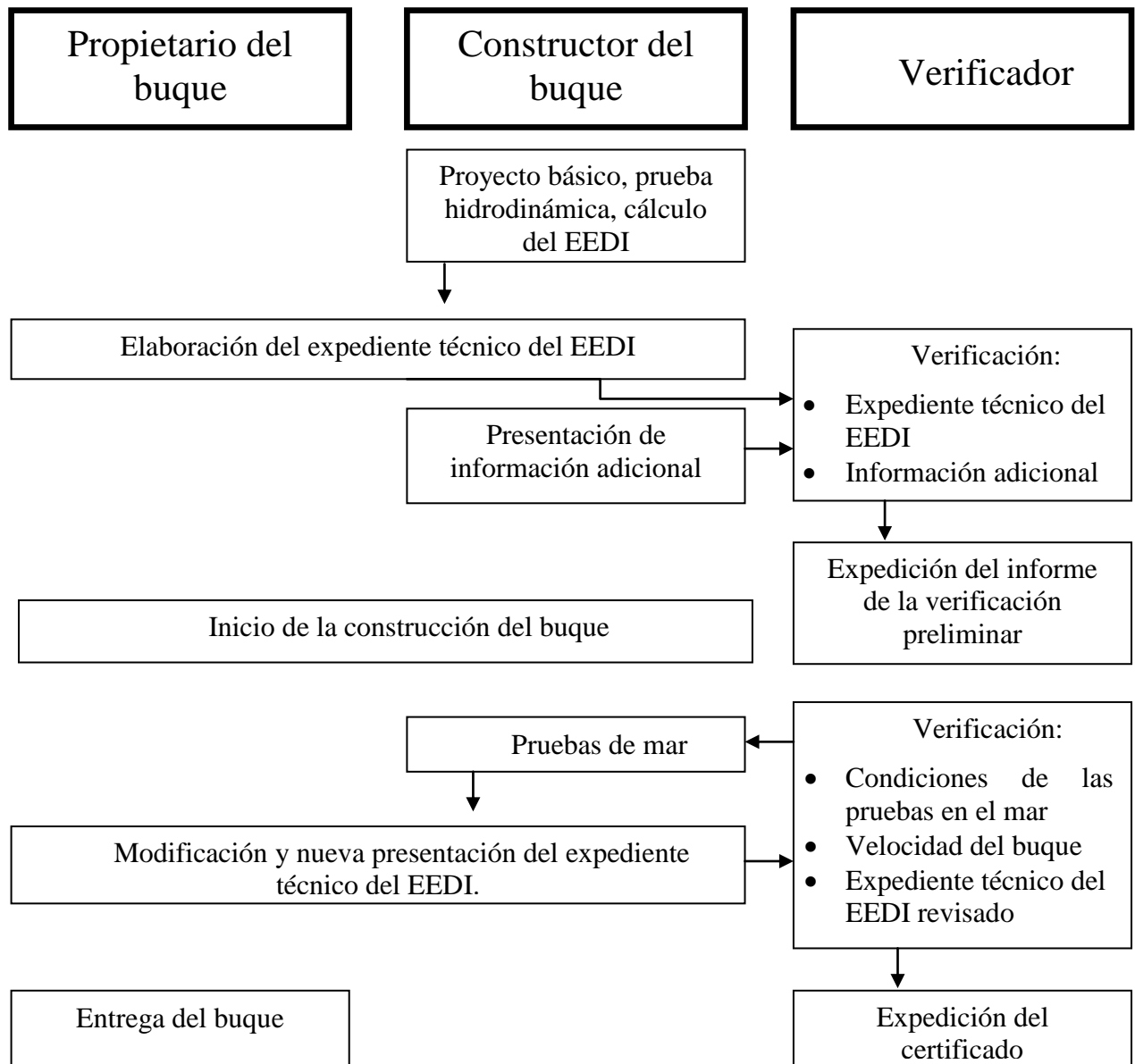


Figura 2-3 Figura de flujo básico del proceso de reconocimiento y certificación. [41]

#### 2.2.2.4 Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del buque (SEEMP)

El SEEMP es un plan estratégico, específico para cada buque, que tiene por objeto establecer un mecanismo que permita una optimización en la EE, reduciendo el consumo de combustible con el consiguiente ahorro de dinero, y una reducción de la contaminación atmosférica. Una elaboración a cargo del propietario o armador, dentro de la política de gestión energética de la compañía, reflejando las circunstancias particulares de las operaciones del propio buque. [41]

La elaboración de diversos procedimientos para implantar dicho plan establece una serie de prescripciones que determinan cinco fases en las que se puede actuar para mejorar la EE de un buque: planificación, implantación, vigilancia, autoevaluación y mejora. Los buques deben llevar a bordo el SEEMP certificado que desempeñará un papel fundamental en el ciclo continuo para la mejora de la gestión energética del mismo.

La consecución de la certificación del mismo garantizará la concesión del Certificado Internacional de Eficiencia Energética (IEE) que complementará al Certificado Internacional de Prevención de la Contaminación Atmosférica (Certificado IAPP) actuando en consonancia con la norma ISO 14001.

### 2.2.2.5 Indicador Operacional de la Eficiencia Energética (EEOI)

Compartiendo objetivos respecto a la EE con el EEDI, su predeterminación a la operación eficiente de los buques sirve como complemento al SEEMP para la mejora de un buque ya construido.

Siendo una herramienta de carácter voluntario, por ahora, dedicada a ayudar a alcanzar una mejora en la EE de su buque, con la reducción del uso del combustible asociada, el EEOI se considera un parámetro óptimo para hacer un seguimiento del rendimiento del buque o de una flota. Debido al enfoque de este índice, específico para cada tipo de buque, permite a las compañías definir las rutas en función de la eficiencia de su flota. [41]

Es necesario recalcar que dicho índice no es de aplicación obligatoria como los dos anteriores, esto se debe a la extrema dificultad de comparar el EEOI de cada tipo de buque, ya que, es prácticamente imposible encontrar dos buques con las mismas características que se dediquen a lo mismo. Por lo tanto, el EEOI es una medida óptima para conocer el nivel de EE de un buque y observar la evolución de este, pero para hacerlo obligatorio habría que encontrar unos parámetros para poder clasificar los diferentes tipos de buque y las diferentes actividades que estos realizan para poder comparar unos con otros.

Debido a la utilización del EEOI en este TFG, basándose en la calculadora realizada por el Alférez de Navío (AN) Antonio Liarte Pérez en su TFG del año 2017, cuyo título es "Traslación y aplicación de la normativa de la eficiencia energética en la marina mercante al ámbito militar", el cual se va a explicar en mayor medida en el apartado Calculadora EEOI como indicador de EE se procede a una explicación más detallada de dicho índice. [43]

Es necesario recalcar algunas diferencias realizadas por Antonio Liarte, debido a que el EEOI realizado en dicho TFG está orientado a los buques de guerra, siendo algo diferente al EEOI genérico realizado por la OMI.

Las directrices emitidas por el MEPC para la elaboración del EEOI definen dicho indicador como la relación de masa de CO<sub>2</sub> (M), emitida por unidad de actividad de transporte. La fórmula básica para calcular el EEOI es la siguiente:

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{carga} \times D}$$

siendo:

- j el tipo de combustible
- FC<sub>j</sub> la masa de combustible j consumido durante el viaje
- C<sub>Fj</sub> el factor de conversión entre la masa de combustible j y la masa de CO<sub>2</sub> emitido correspondiente al combustible j
- m<sub>carga</sub> la carga transportada (en toneladas) , la actividad realizada (número de pasajeros) o el arqueado bruto de los buques de pasaje
- D la distancia, en millas marinas, correspondiente al viaje

Las unidades en las que se expresa el EEOI dependen de la medida utilizada por la carga transportada o la actividad realizada. Puede ser en función de las toneladas de carga transportada o el número de pasajeros. Este es el aspecto donde se encuentra la diferencia entre el EEOI genérico y el utilizado por Antonio Liarte, ya que, este último utilizo como medida una combinación entre el desplazamiento del barco y el número de dotación del mismo, siendo estas medidas constantes en un buque de guerra.

### 2.2.2.6 Reglamento de la Unión Europea 2015/757. Sistema SNV de la UE

Por otro lado, la Unión Europea, actuando en consonancia con las políticas de la OMI, ha establecido una serie de normativas referentes a la EE en el ámbito del sector marítimo. Las dos más reseñable son la Comunicación 2002/595 [44] relativa a la reducción de las emisiones atmosféricas de los buques de navegación marítima y el Reglamento (UE) 2015/757 [45] del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2015 relativo al seguimiento, notificación y verificación (Sistema SNV) de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el transporte marítimo.

Este Sistema SNV se considera como la mejor opción posible para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte marítimo, lo que llevará a la inclusión de las emisiones de gases contaminantes procedentes del sector marítimo en el compromiso de reducción de las emisiones de GEI contraído por la Unión Europea, como ya se ha realizado en otros sectores.

Estableciendo la normativa necesaria para el seguimiento, notificación y verificación precisos de las emisiones y otros parámetros de EE de los buques que arriben, zarpen o se encuentren en puertos bajo la jurisdicción de un Estado miembro para buques que superen las 5000 toneladas, quedando exentos entre otros los buques de guerra, este Sistema pretende que al hacer públicos los informes de las emisiones de los buques se eliminen aquellas barreras comerciales que se daban debido a la falta de información y que impedían la adopción de determinadas medidas que reducirían las emisiones dentro del transporte marítimo.

### 2.2.3 EE a nivel tecnológico

Es una obviedad hablar de la importancia de la tecnología en la sociedad de hoy en día, siendo completamente esencial para el ser humano, y el sector marítimo no va a ser una excepción. Los avances tecnológicos de los últimos años han transformado completamente el concepto que se tenía del transporte marítimo, siendo unos de los pilares fundamentales en los que se ha sustentando el gran crecimiento del transporte por vía marítima. A lo largo de este apartado se expondrán diversas medidas que gracias a la tecnología se han llevado a cabo para mejorar la EE en los buques. [46]

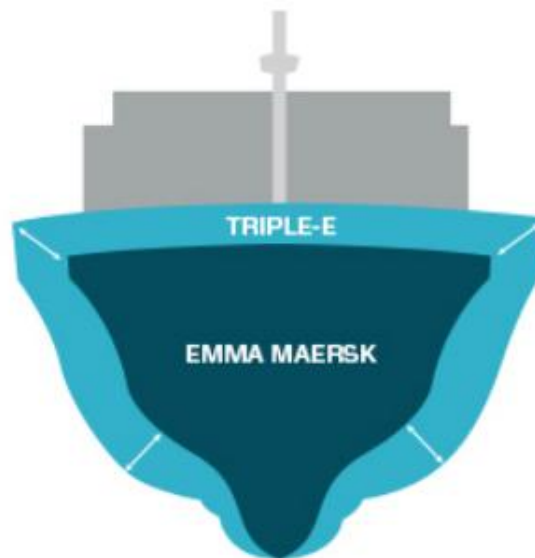
Estas medidas tecnológicas se pueden llevar en todas las etapas del ciclo de vida de un buque, empezando por la fase de diseño del buque. Desde el momento de su concepción, independientemente del tamaño del buque, pudiendo ser uno de la compañía danesa Maersk o un pequeño pesquero, tiene que estar definida la función para la que se ha diseñado el buque. En este aspecto, un diseño eficiente del buque permite optimizar las capacidades y espacios, la velocidad y propulsión, el dimensionado y las formas.

La globalización alcanzada por el comercio marítimo, cuyo crecimiento es continuo, ha llevado a las grandes empresas del sector a asociar dicho concepto al de la economía de escala. Al aumentar el tamaño del buque, la cantidad de contenedores que se puede transportar es mayor. Aunque esto pueda suponer una contradicción, las emisiones de gases contaminantes disminuyen debido a que la energía necesitada por unidad de carga es menor.

El mejor ejemplo de la utilidad de esta medida lo ha llevado a cabo la empresa Maerks con su nueva clase de buque Triple-E (Economía de escala, Eficiencia Energética y rendimiento Ecológico), conocida como la clase Trípoli [47]. Partiendo del diseño de un buque portacontenedores ya existente, el Emma Maersk, considerado el buque portacontenedores más eficiente actualmente, se buscó la forma de aumentar la capacidad de contenedores, haciendo hincapié en el cumplimiento de estos tres objetivos. El resultado final fue el desplazamiento del puente hacia la proa del buque, separándolo de la cámara de máquinas, la cual fue llevada a popa, modificando el diseño del buque.

Diversos estudios realizados por dicha empresa demostraron que la forma de "V" del casco del buque a estudiar era óptima en lo referente a la resistencia al agua pero que la eficiencia del mismo aumentaría considerablemente si la forma del casco fuese de "U", véase Figura 2-4. El cambio en el diseño permitirá un aumento de más del 15% de capacidad, disminuyendo en un 35% la cantidad de

combustible necesario por contenedor, lo que conllevará una reducción del 20% en las emisiones de CO<sub>2</sub>.



**Figura 2-4 Ejemplo eficiencia de escala buque triple-E. [47]**

La segunda medida de la naviera Maersk en su nuevo tipo de buque es la EE. El Triple-E está diseñado para navegar a una velocidad óptima de 19 nudos, utilizando el concepto de "slower steaming", algo inferior a la del buque objeto de estudio. El objetivo no ha sido otro que la búsqueda del rendimiento óptimo de los motores.

Otro elemento que se ha sido objeto de estudio es el sistema eje/hélice. Un ahorro del 4% de energía es el resultado de comparar la posibilidad de utilización de un sistema único de eje/hélice o una duplicidad de los mismos, siendo más eficiente el sistema doble.

Debido a la gran cantidad de energía disipada en forma de calor en los gases de escape de unos motores de tales dimensiones, han diseñado un sistema de recuperación del calor desprendido (WHR) que capta y reutiliza el calor y la presión de dichos gases, produciendo vapor sobrecalentado que sirve para alimentar una turbina de vapor que mueve el generador. El ahorro alcanzado es de más del 10% en consumo de combustible y emisiones de la máquina.

El tercer objetivo del proyecto del buque Triple-E es el rendimiento Ecológico del mismo, conociendo ya la reducción en la emisión de gases contaminantes debido a la reducción en el consumo de combustible. Se ha utilizado un concepto creado por el arquitecto estadounidense William McDonough y el químico alemán Braungart denominado "Cradle to Cradle" (de la cuna a la cuna en castellano) en su libro con el mismo nombre. Una optimización en el ciclo de vida de los materiales utilizados en la fabricación de un producto permitirá una mayor posibilidad de reciclaje cuando este finalice.

Maersk se ha propuesto documentar y clasificar cada uno de los elementos del barco en función de sus propiedades, para cuando el barco deje de estar operativo se puedan reutilizar, reciclar o eliminar de la manera más segura y eficiente todos los materiales, contribuyendo a la consecución de un nuevo estándar de construcción naval sostenible. En esta clase de barcos, el 98% del material utilizado es acero, por lo tanto cuando llegue el final de su vida operativa se podrá reutilizar, en función de la calidad del mismo, para cascos de buque o los propios contenedores de la empresa.

Estas medidas son un ejemplo de lo que se puede conseguir en el ámbito de la EE mediante el estudio y el desarrollo de una política claramente innovadora. No obstante, analizar sólo el caso de una de las compañías navieras más grandes del mundo no es una buena indicación de como se encuentra en

la actualidad el sector marítimo en este aspecto. También existen ejemplos de estudios realizados a menor escala para la búsqueda de una mejora continua como son el Proyecto ESB Cataluña y el Proyecto PSE Peixe Verde, realizados en el sector pesquero en Cataluña y Galicia respectivamente, con resultados claramente positivos en materia de EE. [48]

No hace falta disponer de buques de más de 300 metros de eslora para realizar un diseño eficiente de las formas del buque. Cada tipo de buque tiene unas necesidades específicas que, gracias a herramientas como el diseño asistido por ordenador o la capacidad de simular situaciones informáticamente han permitido a los ingenieros navales la obtención de unas nuevas soluciones en función de sus necesidades. En el propio casco del buque, modificaciones en el bulbo permiten al buque un mejor rendimiento en su capacidad de navegar, debido a la formación de las olas delante de la proa en vez de hacerlo en la roda, lo que disminuye el rozamiento del casco contra el agua. [49]

Otro elemento característico de los buques en el que se puede trabajar el aspecto de la EE es en la hélice de los barcos. Con el desarrollo de los estudios acerca de las mejoras obtenidas mediante la regulación del paso de las hélices, diferenciando las mismas en hélices de paso fijo o controlable, se puede elegir el modo óptimo de funcionamiento y adaptarlo a los distintos regímenes de funcionamiento que sea necesario en cada caso. [35]

Durante la fase de diseño del buque se determina el tipo de propulsión que va a utilizar el buque. Existe una gran variedad de ellos y cada uno tiene unas determinadas características que lo hacen más eficiente para unas determinadas funciones. La corriente actual de incentivar el uso de energías renovables, como son la eólica o la solar, como métodos de propulsión tienen ciertas limitaciones.

En el caso de la energía eólica, dependiente de la existencia de viento, ha sido el elemento más utilizado desde la antigüedad. La Revolución Industrial fue el principal causante de la reducción de su uso, en su casi totalidad, a las embarcaciones de recreo con algunas excepciones como son los buques-escuela de algunas de las marinas de guerra del mundo. En la actualidad, debido al agotamiento de los recursos fósiles, existen algunas iniciativas para aprovechar este tipo de energía como fuente para la propulsión.

Como se ha comentado anteriormente, pocos son los ejemplos que queda de la utilización de la vela tradicional en la actualidad. Los casos más notables son los buques-escuela de las diferentes marinas de guerra del mundo. Buques donde se forman los futuros oficiales suelen ser buques a vela con una arraigada historia y tradición. Uno de ellos es el nonagenario buque-escuela de la Armada Española Juan Sebastián de Elcano, cuyo nombre hace referencia al primer navegante que circunnavegó el globo terráqueo en 1522. Otros ejemplos del uso en la actualidad de la navegación a vela tradicional son los cruceros de pasajeros, de la compañía americana Windstar Cruises.

Por otro lado está el caso del sistema de impulsión eólica conocido como el Rotor Flettner inventado en 1920, basado en la utilización del efecto Magnus para aprovechar la depresión causada mediante el giro de un cilindro, produciendo un empuje hacia proa. Este sistema ya ha sido probado con resultados satisfactorios, pero las navieras más importantes aún no se han atrevido a dar el paso utilizando este sistema a gran escala. [50]

El uso de cometas de tracción como complemento a la propulsión de los buques es otra vía de utilización de la energía eólica. Una de las empresas pioneras en este aspecto es la empresa alemana SkySails. Un sistema automático de control es el encargado del manejo de la cometa de tracción, la cual vuela a unas altitudes cercanas a los 300 metros, aprovechando la mayor fuerza del viento a esas alturas. Este sistema no está muy desarrollado, por lo tanto su uso no está muy arraigado en el sector. [51]

No obstante, hay que tener en cuenta que no puede existir una total dependencia del viento, ya que, en caso de que no esté presente, estos buques necesitan un medio de propulsión convencional auxiliar para poder seguir con su navegación. Por lo tanto, no se soluciona del todo el problema del uso de combustibles fósiles, sólo se aplaza.

El otro caso de energías renovables más arraigado es el de la utilización de la energía solar como propulsión. Sistemas de placas solares han sido instalados y probados en buques con éxito en varias ocasiones. Hay que tener en cuenta unos diversos matices a la hora de analizar estos resultados. Se ha demostrado la posibilidad de utilizar esta fuente de energía pero en casos específicos, como el caso de la vuelta al mundo del Turanor del proyecto "*Planet Solar*", Figura 2-5. [52]

Este citado buque es el mayor barco accionado por energía solar del mundo, siendo el primer vehículo eléctrico solar en dar la vuelta al mundo en 2012. Un catamarán de 35 metros de eslora y 23 metros de manga, destaca por sus 512 m<sup>2</sup> de paneles solares fotovoltaicos alimentan unas baterías de iones de litio, que a su vez alimentan cuatro motores eléctricos de 240 kW cada uno, alcanzando el barco velocidades cercanas a los 14 nudos y una autonomía de 72 horas en completa oscuridad con las baterías cargadas.

La absoluta limpieza, ambientalmente hablando, de este buque demuestra la idoneidad de utilizar este tipo de propulsión, pero hay que tener en cuenta varios aspectos negativos, ya que, este proyecto se llevo a cabo para demostrar la posibilidad, pero viendo la Figura 2-5 son numerosas las dudas acerca de la operatividad del buque, debido a la gran cantidad de superficie utilizada para los paneles solares, quedando la cubierta sin otro uso que no sea este.

Por lo tanto, el aprovechamiento de la energía solar como sistema de propulsión de un buque, al igual que la energía eólica, presenta ciertas ventajas pero son muchos los inconvenientes que muestran que hay que seguir investigando en estos temas para una posible aplicación de estos sistemas a gran escala.



**Figura 2-5 Buque solar Turanor.[52]**

La tecnología no afecta exclusivamente a aquellas medidas realizadas para alcanzar mejoras en la fase de diseño de las características generales de un buque. Existen una serie de medidas, denominadas operacionales y técnicas, que utilizan las tecnologías actuales haciendo referencia a actividades que se llevan a cabo durante el día a día del barco. Estas acciones cotidianas son aplicables a buques nuevos o a buques ya existentes, que permiten, a corto plazo, reducir el consumo y por lo tanto, los costes de combustible y emisiones contaminantes, Figura 2-6.

La actividad por excelencia que lleva a cabo un buque es la navegación. De obligado cumplimiento por navieras es la planificación de estas. Optimizar las rutas mediante soportes proporcionados por la OMI, como la resolución A. 893 (21) del 25 de noviembre de 1999 [53], puede ser una ayuda muy beneficiosa. Tener en cuenta los factores meteorológicos también puede ser de gran

ayuda. Llevar a cabo una monitorización y un estudio de los datos obtenidos de los buques de cada flota, es una medida que permite obtener conclusiones acerca de la viabilidad y eficiencia de las rutas.

Por otro lado, existen medidas relacionadas con el gobierno del buque. Para cada tipo de buque, existe una velocidad óptima que no tiene nada que ver con la velocidad máxima. A dicha velocidad óptima, la relación entre consumo de combustible y distancia recorrida es la mejor posible. Esta velocidad se obtiene estudiando las curvas de potencia/consumo del fabricante del motor y la curva de la hélice del propio buque.

Otro aspecto relacionado con la velocidad tiene que ver con los tiempos de llegada y de salida de puertos, esto no es otra cosa que intentar evitar aquellos períodos en los que el buque se adelanta y tiene que fondear en los lugares destinados a ello en las cercanías del puerto, estos tiempos muertos significan una gran cantidad de dinero pérdida. Atrasarse con la hora de llegada puede suponer la pérdida del lugar de atraque, con las consecuencias que aquello tendría. Por lo tanto, la velocidad del buque es un aspecto a tener muy en cuenta en la planificación y también durante la propia navegación.

Con respecto a la carga del buque también hay muchas medidas que pueden mejorar la EE. De la carga en el buque, aspectos como el asiento o el lastre son elementos que pueden ser estudiados para una mejorar en la optimización.

Todas aquellas medidas dedicadas al mantenimiento preventivo de los diferentes elementos del buque también son herramientas aconsejables para mejorar la EE dentro de un buque. Destacando por encima de los demás elementos el casco, un mantenimiento continuo del mismo sería muy provechoso, sin ser necesaria la entrada a dique del propio buque, sino realizando dichas comprobaciones con el buque a flote. La hélice o el sistema de propulsión también son elementos en los que es necesario influir en su mantenimiento, debido a la importancia que tienen estos elementos en el conjunto del buque.



Figura 2-6 Potencial de reducción de CO<sub>2</sub> debido a medidas relativas a la EE. [54]

Por otro lado, un elemento que también influye en este aspecto es el combustible. Con el paso de los años se ha ido evolucionando en este aspecto y han aparecido combustibles alternativos que pueden rivalizar con los combustibles convencionales utilizados tradicionalmente a bordo. A continuación se hará una breve reseña a alguno de los combustibles alternativos existentes actualmente en el mercado.

### 2.2.3.1 Combustibles alternativos

El Gas Natural Licuado (GNL) se trata de una solución que ya está puesta en marcha, siendo un número cercano a la centena el de buques que actualmente utilizan este combustible, el cual parece que va a ir en aumento con el paso de los años. Diversos estudios han determinado que es un combustible menos sucio que el diésel o la gasolina, reduciendo las emisiones de gases contaminantes con su uso, según datos proporcionados por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital de España. [55]

No obstante, este combustible tiene como principales desventajas la necesidad de terminales que avituallen, existiendo en España sólo 7, la mayor exigencia de espacio para ubicar los tanques donde almacenarlo y los riesgos de su utilización, ya que, este gas pasa a estado líquido a  $-163^{\circ}\text{C}$  y presión atmosférica. La razón de pasar este combustible gaseoso a estado líquido es debido a que el volumen de este en estado líquido es más de 500 veces menor.

El estado actual de las reservas de gas natural en el mundo es muy grande, pero hay que recordar que este combustible tampoco es infinito, por lo tanto su explotación también podría llevar en un momento al agotamiento de este.

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es el combustible alternativo más utilizado en el mundo, aunque gran parte de la gente desconoce su existencia. Siendo una mezcla de hidrocarburos como butano, propano y otros que se almacena en estado líquido.

Denominado también Autogas, es utilizado en motores de combustión interna por encendido de chispa, también llamado motores de ciclo Otto. Debido a su mejor relación estequiométrica aire/GLP que la de aire/gasolina quema menos combustible y por tanto produce menos emisiones contaminantes. El número de vehículos que utilizan en el mundo este tipo de combustible supera los 15 millones.

El Hidrógeno es una de las alternativas como fuente de energía en los motores, considerando como ventajas el poco ruido y las nulas emisiones de gases contaminantes, extrayendo el mismo del agua del mar mediante el paso de la corriente eléctrica y almacenándolo en depósitos. Mediante pilas de combustible y la electricidad generada a partir del Hidrógeno, se provee la energía necesaria a los motores eléctricos. Un ejemplo de uso es el de los futuros submarinos de la Armada Española.

En el mercado existen otros combustibles alternativos, incluso se ha experimentado con utilizar agua de mar como combustible, como demostró la US Navy en 2014. También existen aquellos casos donde se pretende obtener combustibles con un nivel contenido en azufre. Todos estos combustibles alternativos están, en mayor o en menor medida, poco desarrollados. La línea marcada especialmente por el GNL o el GLP puede ser la línea de investigación más accesible a corto plazo.

### 2.2.3.2 Proyecto "Energy Observer"

Siguiendo con la línea de actuación creada a partir del primer avión solar, el "*Solar Impulse*", la UNESCO ha colaborado en un proyecto de la empresa francesa "Energy Observer" para llevar hasta el mar el mismo reto. El "Energy Observer" va camino de convertirse en otro hito histórico, el primer barco del mundo que combine para su propulsión las diferentes fuerzas de la naturaleza, utilizando una combinación de las diferentes energías renovables existentes: viento, sol, olas y el agua. [56]

Se trata de un catamarán de 30 metros de eslora y 12 metros de manga, que tiene como objetivo dar la vuelta al mundo durante 6 años, con más de un centenar de paradas en los principales puertos del mundo, sin consumir una gota de combustible fósil y por lo tanto, sin emitir gases contaminantes. Dos tripulantes serán los que navegarán a bordo: Victorien Erussar, navegante y oficial de la Marina Mercante francesa y Jérôme Delafosse, explorador y realizador de documentales, también francés.

La electricidad generada a bordo proviene de muy diversos orígenes, véase Figura 2-7. La principal fuente de energía va a ser el agua del mar, recurso inagotable. En cada uno de los flotadores del catamarán, un desalinizador de ósmosis inversa de agua de mar purificará el agua y un electrolizador descompondrá el  $\text{H}_2\text{O}$  en Oxígeno e Hidrógeno. Este último se almacena en depósitos, para ser suministrado a una pila de combustible de 22 kW.





**Figura 2-7 Buque Energy Observer [56]**

Este catamarán también dispone de 130 m<sup>2</sup> de paneles solares fotovoltaicos (21 kW) y dos turbinas eólicas de eje vertical (2 kW). Un ala de tracción, a 100 metros de altura, obtendrá energía del viento cuando se den las condiciones propicias para su utilización. Los motores eléctricos de muy alta eficiencia serán los encargados de la propulsión, pudiendo funcionar como hidrogenadores movidos por las olas del mar, completando así los diferentes tipos de energía utilizados a bordo.

El propósito de este catamarán es demostrar la eficiencia de la energía "verde" y motivar a posibles futuros inversores en este tipo de energías. Durante sus travesías por todas las zonas del globo, buscará rastrear las rutas marítimas adecuadas para buques propulsados por estas energías limpias.

## **2.3 Eficiencia energética en un buque de guerra**

### *2.3.1 Definición de buque de guerra*

Por buque de guerra se define a todos los buques de combate y a los buques auxiliares pertenecientes a la marina de guerra de un Estado. Sin necesidad de entrar en definiciones jurídicas [57], el concepto de buque de guerra actual, como el de la Figura 2-8, independientemente de la clase o tipo al que pertenezca, se compone de dos elementos principales y diferenciados:

1. La plataforma: se podría definir como todos los elementos que componen la infraestructura del barco. Sobre ella se instalan todos los equipos necesarios del buque para su correcto funcionamiento. Esta controlado por el Sistema Integrado de Control de la Plataforma (SICP) que supervisa y controla la propulsión, la generación y distribución eléctrica y el funcionamiento de todos los sistemas auxiliares y de averías del buque. Las decisiones en un buque de guerra son responsabilidad de su comandante, pero para que las decisiones sean las adecuadas, es necesario disponer del mejor conocimiento de la situación y esa herramienta necesaria es el SICP.
2. El Sistema de Combate (SC): es lo que se conoce como el "cerebro" del buque de guerra. Toda la información de los sensores del buque es gestionada y presentada al usuario a través del SC. Integra los sensores, las armas y todos los elementos de mando y control del buque para facilitar la capacidad de respuesta del buque, de la manera más automatizada posible, ante las posibles amenazas a las que deba hacer frente.



**Figura 2-8** Fragata Armada Española Clase Álvaro de Bazán. [58]

Una información reseñable a la hora de hablar de un buque de guerra es la distribución a lo largo de su ciclo de vida de las diferentes situaciones a las que se enfrenta, Tabla 2-1.

<b>Período</b>	<b>Condición</b>	<b>% del tiempo del ciclo de vida</b>
En la mar	Crucero / Fondeado	27-30
	Operación	3-5
En puerto	Apagado	45-50
	Encendido	10-15
	Mantenimiento	10

**Tabla 2-1** Distribución de las diferentes situaciones de un buque de guerra a lo largo de su ciclo de vida. [59]

### 2.3.2 Eficiencia energética en un buque de guerra

La construcción de un buque de guerra se realiza en base a unas necesidades muy concretas, la defensa de los intereses de un Estado en el ámbito marítimo es su principal función. La EE no era la prioridad en el diseño de un buque de guerra pero con la situación actual que vive la sociedad concienciada con problemas como el cambio climático o el agotamiento de los recursos energéticos se ha abierto una nueva era en el diseño de estos.

Además de las funciones para las que han sido creados, en estos buques se busca que sean eficientes energéticamente y respetuosos con el medio ambiente a un mismo tiempo. Una mayor EE traerá de la mano un ahorro económico al Estado correspondiente.

Para reducir la demanda energética del exterior, es fundamental reducir el consumo energético de los buques de guerra ya que, en este caso la necesidad de despliegue en cualquier punto del planeta en cualquier momento requiere de la mayor independencia de un país de suministradores externos, o al menos, debe reducirse al máximo.

Por otro lado, la utilización de energías alternativas, como puede ser la eólica a través de un sistema de velas, es una opción poco fiable. Sería dar un paso atrás, además, la eficacia de un barco de guerra depende de la existencia o no del viento es cuanto menos un sinsentido por las limitaciones a las que se ve sometido.

Otra opción es el uso de otro combustible fósil, que es también contaminante, como puede ser el gas natural. Pero en este caso no se solucionaría el problema, sólo se aplazaría. La exploración de fuentes de energía renovables y la reducción del consumo son los pilares en los que se tiene que mantener todas las investigaciones, teniendo en cuenta la necesidad que tiene un buque de guerra de no ver mermada la eficiencia de sus funciones básicas.

### *2.3.3 Eficiencia energética en un buque de guerra de la Armada Española*

Como se puede encontrar en su página web [58], la Armada Española es una institución que forma parte de la historia de España y en la que la modernidad convive con arraigadas costumbres y tradiciones marineras.

La Armada Española lleva a cabo la práctica de la totalidad de las actividades relacionadas con el ámbito marítimo. Teniendo en cuenta el alto porcentaje de superficie de agua en el planeta Tierra y siendo España un país mayoritariamente costero, la Armada Española tiene una vital importancia en la defensa de los intereses y de los espacios territoriales del Estado español.

Fijados por las instituciones comunitarias, los objetivos y las actuaciones en materia de EE en España han llevado a la Armada Española a comprometerse firmemente con la necesidad de potenciar la EE como un objetivo general.

Muestra de este compromiso fue la celebración en abril de 2013 de las primeras "Jornadas de Eficiencia Energética y Medioambiente en la Armada para el siglo XXI". Durante tres días se hicieron presentaciones prácticas de empresas de muy diversos sectores del campo de la eficiencia y el ahorro energético. Se cumplió con creces el objetivo de las jornadas, ya que se dieron a conocer múltiples alternativas energéticas y debates entre los asistentes que propiciaban nuevos planteamientos para lograr reducir costes energéticos en Defensa.

En los buques de guerra de la Armada Española, véase Figura 2-9, es importante distinguir entre dos tipos de energía, la energía mecánica dedicada a la propulsión del buque y la energía eléctrica que se emplea para el resto de los sistemas y equipos del buque. Los sistemas de propulsión y generación eléctrica deberán dimensionarse en función de las necesidades del buque, siendo este estudio una de las partes fundamentales en el diseño del buque previo a su construcción. [59]

Nuevas mejoras en los sistemas de producción energética en los buques, como las mejoras en el diseño de las propias formas de los buques deben ser los esfuerzos principales para conseguir buques más eficientes, lo que llevaría a buques menos contaminantes.

La Armada Española lleva desde hace uno años aplicando diferentes medidas en la lucha contra la contaminación marina y atmosférica, las cuales afectan no sólo a sus unidades navales, sino también a sus instalaciones en tierra.



Figura 2-9 Buques de la Armada Española (2018)

Dicho compromiso quedó ratificado en el documento Líneas Generales de la Armada, promulgado por el ya relevado Almirante General D. Jaime Muñoz Delgado y Díaz del Río, antiguo Almirante Jefe del Estado Mayor de la Armada (AJEMA), en Septiembre de 2007: *"La Armada continuará impulsando medidas de protección ambiental en buques e instalaciones en tierra y mantendrá su política de minimizar el impacto sobre la vida marina y el medio ambiente durante la realización de actividades de preparación de la Fuerza"*. [9]

Uno de los puntos básicos que establece la Armada Española es el exhaustivo cumplimiento del Anexo VI del Convenio MARPOL, referido a la emisión de gases contaminantes. En este aspecto, existe una línea de actuación en los programas de nuevas construcciones denominada *"Buque de Contaminación Cero"*, cuyas medidas principales para proteger el medio marino se pueden ver en la Figura 2-11.

Un ejemplo ha sido el programa de construcción de los Buques de Acción Marítima (BAM). La clase Meteoro constituye una nueva clase de patrulleros oceánicos de la Armada Española, con unas funciones algo más amplias del concepto de patrullero convencional, como por ejemplo la posibilidad de respuesta en escenarios de baja intensidad. Una serie de 4 unidades, las cuales están todas operativas y realizando continuas misiones, está siendo acompañada por dos nuevas unidades en construcción. La intención es ampliar esta clase con unidades de diversa índole (Figura 2-10) así por ejemplo se pretende la construcción de un BAM, destinado al ámbito científico para sustituir al Buque de Investigación Oceanográfica (BIO) "Hespérides".

El BIO "Hespérides" es el primer buque de superficie de la Armada Española que cuenta con propulsión eléctrica. Es importante comentar que la misión del BIO "Hespérides" no es otra que la investigación polar y el apoyo a las bases antárticas españolas. Por otro lado, el primer buque de combate eléctrico de la Armada Española es el Buque de Proyección Estratégica "Juan Carlos I", que cuenta con un sistema de propulsión de dos sistemas POD de doble hélice.



Figura 2-10 Prototipos multipropósito de BAM. [60]

Los BAM incorporan un novedoso sistema de gestión integral de residuos, con una recogida selectiva de basuras. El mecanismo de reciclaje separa lo aprovechable de los que no lo es, los residuos orgánicos se trituran e incineran, los inorgánicos se trituran y se compactan para un óptimo almacenamiento y las aguas residuales se recogen mediante bombas de vacío y se envían a las plantas de tratamiento de aguas residuales (TAR) donde se tratan y se descargan al mar, siempre que sea posible, cumpliendo siempre con la normativa estipulada por el Convenio MARPOL. [10]

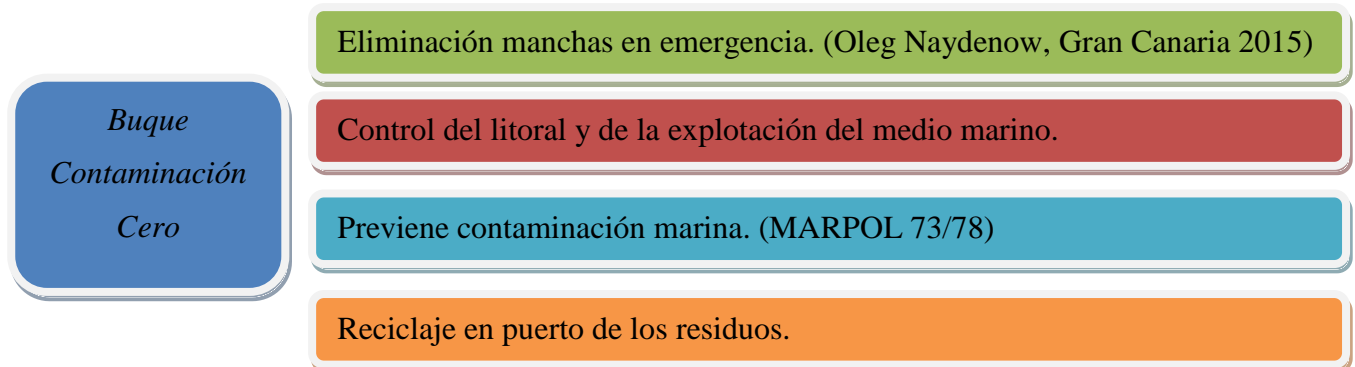


Figura 2-11 Medidas de protección al medio ambiente proyecto "Buque de Contaminación Cero".

Por todos es conocido el desastre en el año 2002 del petrolero "Prestige" frente a las costas gallegas provocando una catástrofe natural de una inmensa magnitud. A raíz de este suceso, la UE prohibió la entrada y salida de puertos europeos a buques petroleros monocasco, siempre que transporten fuel pesado. La Armada Española siguió estas directrices en la construcción del Buque de Aprovisionamiento en Combate (BAC) "Cantabria", el cual consta con doble casco. Además este buque tiene la capacidad de recoger y de almacenar unos 2000 m<sup>3</sup> de vertidos contaminantes.

Además de lo referente a las unidades, la Armada Española ha llevado a cabo el proceso de implantación de los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) de sus instalaciones en tierra, de acuerdo a la normativa de gestión ambiental ISO 14001. [61] El campo de adiestramiento de la Sierra del Retín se convirtió, en 1998, en la primera instalación militar de Europa en contar con un SGA certificado.

Son reseñables también los protocolos de actuación establecidos por la Armada Española para reducir el impacto que pudiesen causar sobre los cetáceos emisores acústicos como los sonares. Una serie de directrices a seguir durante la realización de los ejercicios en relación a la potencia y frecuencia de sus emisiones. Todas estas son algunas de las múltiples medidas que lleva a cabo la Armada Española como muestra de su compromiso con la lucha contra la contaminación.

### 2.3.4 Naval Distillate Fuel F-76

A bordo de las unidades de la Armada Española, como de la mayoría de las demás marinas de guerra del mundo, se utiliza un combustible destilado específico para el ámbito naval cuya denominación en el código OTAN es F-76.

Este combustible tiene unas especificaciones determinadas, destacando los requisitos de control de calidad en su almacenamiento y manejo. Su punto de inflamación mínimo se encuentra en los 60 °C. [62]

El precio del litro de F-76 es proporcionado por personal de la Armada Española y verificado por otras fuentes, siendo la equivalencia euro-dólar media durante el período de febrero a julio del año 2014, véase Figura 2-12, fue de 0,7303 euros el dólar y relación galón estadounidense a litros de 3,78541 litros el galón. Por lo tanto, el precio medio del litro de F-76 durante el período objeto a estudio fue de 0,5729 euros. [63]



Figura 2-12 Equivalencia euro-dólar durante el período de misión. [63]

### 2.3.5 *Proyectos desarrollados por diversas marinas de guerra*

#### 2.3.5.1 US Navy

Hablar de la marina de guerra de los Estados Unidos (US Navy) es hablar de la mayor potencia naval que existe actualmente en el mundo, superando con una abismal diferencia a los demás países. Desde su posición a la vanguardia, tanto de la potencia armamentística como tecnológica, ha sido la primera marina de guerra que se ha propuesto introducir para mejorar la EE en sus buques y ha llevado a cabo una concienciación en el tema del cambio climático.

En 2009, Ray Edwin Mabus Jr. secretario del "*Department of the Navy*", determinó una serie de medidas cuya finalidad era transformar el uso de la energía en la US Navy:

1. Incrementar el uso de la energía alternativa, con el objetivo de que en el año 2020 el 50% del consumo total de la energía provenga de fuentes alternativas.
2. Incrementar el uso de la energía alternativa en las instalaciones en tierra, con el objetivo de que en el año 2020 el 50% de la energía utilizada en puerto provenga de fuentes alternativas.
3. Llevar a cabo el programa "*Great Green Fleet*", demostrado en ejercicios en 2012.
4. Reducir el uso de petróleo en situaciones sin necesidades tácticas, con el objetivo de que en 2015 este se haya reducido en un 50%.
5. Adquisiciones eficientes energéticamente, mediante la evaluación previa obligatoria en la firma de los diferentes contratos.

El programa nombrado "*Great Green Fleet*" fue un programa que tenía como objetivo demostrar la posibilidad de introducir una serie de medidas de conservación de la energía (ECM) sin la pérdida de operatividad en las unidades navales, entre ellas la utilización una mezcla de 50/50 de combustible diésel marino convencional y biodiésel. La primera prueba que se llevo a cabo fue en el año 2012, en los ejercicios RIMPAC, con el grupo de combate del portaviones nuclear USS Nimitz (CVN-68), la cual se realizó sin incidentes. [64]

Posteriormente a los resultados positivos, se decidió implantar este programa en el grupo de combate del portaviones nuclear americano John C. Stennis (CVN-74) en el año 2015. Otras ECM, entre las muchas que se han llevado a cabo, han sido la implantación de diodos LED en los buques, el desarrollo de un programa que permite tener control en tiempo real de la situación de la demanda energética del buque y la incorporación de unas aletas en la parte trasera de los buques para mejorar el comportamiento hidrodinámico del mismo.

#### 2.3.5.2 Royal Navy

Un enfoque diferente es el que la ha dado la Royal Navy británica. La principal medida que han adoptado para minimizar el impacto sobre el medio ambiente es el desarrollo de unas pautas para la protección ambiental, EPG en sus siglas en inglés.

Unas capas que se añaden a las cartas electrónicas disponibles en los buques, proporcional la información necesaria acerca de las zonas de protección marítimas (MPA) situadas en las proximidades de sus costas. Siguiendo estas pautas, se aseguran el cumplimiento de su normativa relativa a la protección del medio ambiente en zonas designadas para la protección de las aves, de cetáceos o simplemente de protección del fondo marino. [65]

#### 2.3.5.3 Royal Australian Navy (RAN)

La existencia del "*Defence Estate Energy Strategy 2014-2019*" marca el compromiso de la RAN con el desarrollo de políticas de mejora de la gestión energética. [66] Los objetivos principales de dicho plan son:

- Medida y monitorización de la energía, aseguramiento del correcto uso de infraestructuras y procesos que le permitan medir el consumo y producción energética.

- Reducir los requerimientos energéticos de la Defensa, maximizando la eficiencia energética.
- Transición hacia el uso de energías limpias, fuentes sostenibles y menores contaminantes.
- Proveer soluciones energéticas rentables y que originen beneficio económico.
- Aprovechar la experiencia de otras naciones y organizaciones del sector privado para identificar estrategias exitosas y factores que contribuyeron a la implementación de iniciativas.
- Proporcionar la base para la mejora continua y la innovación, usando los mejores sistemas de monitorización y gestión de la energía.

Por otro lado, la ha desarrollado un Plan de Gestión Ambiental de las Actividades Marítimas (MA EMP) para el control de las actividades rutinarias llevadas a cabo por sus buques. Siendo numerosas las áreas de ejercicios utilizadas por la RAN, han desarrollado unos procedimientos para una mejor planificación de actividades para evitar el impacto ambiental adverso. Aspectos como la protección de la Gran Barrera de Coral o el uso limitado del sonar en zonas de existencia de ballenas son tratados en dichos procedimientos. [67]

#### **2.3.5.4 Royal Canadian Navy (RCN)**

La RCN ha desarrollado un plan para asegurar la sostenibilidad de las operaciones militares. Este plan se denomina "*Defence Energy and Environmental Strategy*" (DEES). [68] Los cuatro objetivos principales del DEES son los siguientes:

- Reducir la demanda energética de la Defensa, incrementando la EE.
- Traslado a fuentes de energía más sostenibles y menos contaminantes como la energía hidroeléctrica, los aerogeneradores y los paneles solares fotovoltaicos.
- Reducción de las emisiones de GEI y demás impactos ambientales de las infraestructuras, de las flotas comerciales y operacionales y del equipamiento.
- Asegurar que los sistemas y los procesos que mejoren la EE y la gestión del medioambiente.

#### **2.3.5.5 Marina Militare Italiana**

Proyecto "*Flotta Verde*" es un proyecto creado en 2012 para encontrar combustibles marinos alternativos al petróleo, con vistas a mejorar la seguridad energética nacional y reducir las emisiones contaminantes. [69] Los objetivos son:

- Adopción de combustible sintético renovable, en línea con la Directiva 2009/29/EC (Horizon 2020).
- Desarrollo y uso de tecnologías ecológicas para reducir el impacto de la actividad de sus buques.
- Reducción del consumo de energía de los buques, mediante procedimientos de mejora de la eficiencia energética (propulsión eléctrica o gestión de la energía a bordo).

La Marina Militare es líder en el uso de biocombustibles en Europa, siendo la primera en lanzar un programa de uso del biodiésel en el sector naval usando un combustible de mezcla de biodiésel en un porcentaje mayor del 50% en sus buques.

#### **2.3.5.6 Situación de otras marinas de guerra.**

En el año 2017 la Marinha do Brasil, lanzó su primer proyecto de gestión y EE, llamado "*O Con Energia*". Será probado en la Base Naval de Río de Janeiro y tendrá como objetivo la reducción de costes de la energía eléctrica y la creación de alternativas para la implementación de acciones para crear en sus unidades un ambiente de gestión inteligente de la energía.



Tanto la Marine Nationale Française como la Marinha de Portugal no tienen programas como tal. Las acciones que llevan a cabo son aquellas relacionadas con la protección del medioambiente, en el caso francés existe un llamado Libro Azul donde reflejan todas estas medidas.



## 3 DESARROLLO

### 3.1 Análisis de datos de consumo de un buque de guerra

#### 3.1.1 Contextualización de la información

##### 3.1.1.1 Descripción de los datos

El presente TFG tiene por objeto el análisis de datos de consumo de un buque de guerra, la fragata de la Armada Española Cristóbal Colón (F-105), durante el período de tiempo que corresponde desde el 1 de octubre de 2012 hasta el 31 de julio de 2014.

La fragata Cristóbal Colón es la quinta y última de las fragatas de la clase Álvaro de Bazán, véase Figura 3-1, de la Armada Española desarrolladas y construidas por la empresa Navantia en sus astilleros de Ferrol. Basada en el proyecto americano de la clase Arleigh Burke, se puede considerar como uno de los buques de guerra más avanzados tecnológicamente.



Figura 3-1 Fragatas Armada Española clase Álvaro de Bazán. [58]

Existen ciertas discrepancias a la hora de clasificar a esta clase de buques. Para la Armada Española, se engloba en la familia de las fragatas, debido a su desplazamiento. Por otro lado, para la US Navy, una unidad con esta capacidad de fuego se engloba dentro de la familia de los destructores. Las características generales de la F-105 se citan en la Tabla 3-1, y permiten que esta unidad sea capaz de actuar como buque de escolta o buque de Mando y Control si fuese necesario.

### Características generales

Desplazamiento	5.800 Tons
Eslora	147 m
Manga	18,5 m
Calado	4,75 m
Dotación	201
Velocidad	29 nudos
Propulsión	CODOG

**Tabla 3-1 Características generales F-105. [58]**

El SC "*Aegis*" es un sistema de combate de origen estadounidense que permite a la F-105 realizar sus funciones de escolta oceánica de tamaño medio, siendo su principal punto fuerte la defensa aérea. Este sistema es uno de los más avanzados tecnológicamente, siendo unos pocos países en el mundo los que lo poseen: Estados Unidos, Japón, Corea del Sur, Australia y Noruega.

Respecto a la propulsión, dispone de un sistema basado en un "*CODOG*" (Combined Diésel or Gas). Este sistema está formado por dos turbinas de gas GE LM25000 de 17.500 kW de potencia y dos motores diésel Bravo 16 V, Navantia / Caterpillar de 5.650 kW, utilizándose las primeras para alta velocidad y los segundos para velocidad de crucero. Lo complementan dos líneas de ejes, con una hélice de paso controlable, de 5 palas y 4,65 metros de diámetro cada una. Por último una empujadora a proa facilita la maniobra en puerto. Dos cámaras de generación diésel, con dos motores MTU de 1.200 kW cada una, se encargan de suministrar energía eléctrica al buque en todo momento.

El combustible utilizado por este buque, el mismo para todos los buques de la Armada Española, es el combustible normalizado, por razones logísticas, por la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) para los buques de guerra de los estados miembros. Conocido por las siglas DFM, Distillate Fuel Marine o según la simbología OTAN, F-76, con un máximo de 1% de contenido en azufre.

Los datos proporcionados corresponden a 669 días, entre el 1 de octubre de 2012 hasta el 31 de julio de 2014, fechas entre las cuales se desarrolló el primer ciclo operativo del buque objeto de estudio.

Comenzando por la fecha donde el buque le fue entregado a la Armada Española, después de las pertinentes pruebas de mar, se puede observar que los datos corresponden a los períodos de las primeras pruebas en puerto y navegaciones realizadas independientemente en las cercanías del Arsenal Militar de Ferrol, puerto donde tiene su base dicho buque. Todo esto se realiza como parte de la puesta a punto del buque para poder realizar la misión que le vaya a ser otorgada.

Durante el año 2013 el buque navega con una mayor asiduidad visitando puertos como Rota y Cartagena, zonas donde la actividad naval está muy presente, participando en los diversos ejercicios que planifica la Armada Española para la instrucción y el adiestramiento de sus unidades.

En el año 2014 es cuando la carga de trabajo del buque es mayor. Con la superación de la Calificación Operativa (CALOP) en Rota, que sirve como certificación de las capacidades de los buques a principios de año, el buque demuestra que está capacitado para llevar a cabo la misión que le ha sido otorgada. En este caso, el buque fue designado para ser el buque de mando de la segunda fuerza de intervención rápida de la OTAN, cuyas siglas son SNMG2 (Standing NATO Maritime

Group 2), realizando la misión Ocean Shield, en lucha contra la piratería en el golfo de Adén y el Cuerno de África, Figura 3-2.



Figura 3-2 Zona de operaciones operación OCEAN SHIELD. [58]

El desarrollo de esta misión tuvo lugar entre el 14 de marzo de 2014, momento en el que la F-105 relevó a su gemela, la fragata Álvaro de Bazán (F-101), en el puerto de Djibouti como buque de mando de la SNMG2. Esta misión finalizó el 8 de julio, en la ciudad andaluza de Málaga, cuando fue relevado por el destructor americano USS Leyte Gulf, perteneciente a la clase Ticonderoga. Los últimos días objeto de estudio son los destinados a volver a su base en el Arsenal Militar de Ferrol.

### 3.1.1.2 Descripción de las variables

Para el estudio de los datos de consumo del buque en cuestión, ha sido necesario clasificar los datos en diferentes categorías. La manera en la que se ha realizado dicho estudio ha sido en función de los diferentes modos de operación o de funcionamiento, que la F-105 ha llevado a cabo a lo largo del período de tiempo objeto de estudio, los cuales se han denominado TOMA en la base de datos, que son los siguientes:

1. En puerto: es la condición de funcionamiento más habitual, en la que el buque está atracado a un puerto. En función si se encuentra en su puerto base o no, se diferencian dos posibilidades, puede permanecer encendido con sus propios medios o encontrarse apagado y recibir toda la energía eléctrica necesaria de una instalación del propio puerto. En el registro de los datos, estas posibilidades se han detallado como P.E. y P.A.

2. Crucero: este modo de funcionamiento del buque está relacionado con la navegación a una velocidad económica. También se le puede denominar tránsito, o lo que es lo mismo, una navegación de un punto a otro del globo sin ninguna misión específica durante la misma, más que el propio desplazamiento. En la base de datos se le ha denominado como N. En este modo de funcionamiento el barco produce toda la energía necesaria para la navegación.
3. Operación: durante una navegación, cuando un buque está cumpliendo la misión que le ha sido otorgada, se dice que está en operación. El buque produce toda la energía necesaria. En la base de datos se le denomina también N. Las diferencias entre el modo de operación denominado crucero y este llamado operación, se describirán en futuros apartados.

Aquellas situaciones en las que durante el mismo día el buque está atracado en puerto y sale a navegar o viceversa, se han llamado P.E.N.

La información incluida en la base de datos, como se puede ver en la Figura 3-3 Ejemplo de la nomenclatura utilizada en la base de los datos., nos permite conocer el consumo tanto de los diésel-generadores (CDDGG) como el consumo de los motores principales (CMMPP). En función de la situación, el buque se puede encontrar en puerto o navegando, englobando esta última a la navegación normal o a la maniobra que es un régimen de entrada o salida de puerto en la que el buque es auxiliado por remolcadores y en los que el consumo mayoritario es de los DDGG. Se indican también las horas y los minutos de funcionamiento de estos.

Por último, en la tabla se pueden observar el sumatorio de consumos (C.TOTAL) que nos indica la cantidad de combustible utilizado tanto por los DDGG como por los MMPP. Las millas y la velocidad media son datos que también se han recopilado.

AÑO	MES	DÍA	SITUACIÓN	TOMA	PUERTO				MANIOBRA		NAVEGANDO		NAVEGANDO		C.TOTAL	MILLAS	Ym	
					CDDGG	CMMPP	H.	MIN.	CMMPP	H.	MIN.	H.	MIN.	H.				MIN.
2013	FEB	1	FERROL	P.E.	2300	2000	16	0	0	0	0	0	0	0	4300	0	0,00	
2013	FEB	2	FERROL	P.A.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
2013	FEB	3	FERROL	P.A.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
2013	FEB	4	FERROL	P.E.	2600	0	18	0	0	0	0	0	0	0	2600	0	0,00	
2013	FEB	5	NAVEGANDO	N	0	0	0	0	12700	2	0	22	0	7800	50	20500	208	8,67
2013	FEB	6	NAV.FERROL	P.E.N.	1300	0	9	0	9000	1	0	8	0	2900	20	13200	102	11,33
2013	FEB	7	FERROL	P.E.	1400	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1400	0	0,00	
2013	FEB	8	FERROL	P.E.	1300	0	9	0	0	0	0	0	0	0	1300	0	0,00	
2013	FEB	9	NAV.FERROL	P.E.N.	300	0	2	0	20800	1	0	19	0	5700	40	26800	274	13,70
2013	FEB	10	NAVEGANDO	N	0	0	0	0	16300	1	0	23	0	7200	48	24100	301	12,54
2013	FEB	11	NAV.ROTA	P.E.N.	4700	0	27	0	4600	1	0	0	0	500	4	9800	11	11,00
2013	FEB	12	ROTA	P.E.	4900	0	30	0	0	0	0	0	0	0	4900	0	0,00	
2013	FEB	13	ROTA	P.E.	5500	0	33	0	0	0	0	0	0	0	5500	0	0,00	
2013	FEB	14	NAVEGANDO	N	0	0	0	0	8500	1	0	23	0	4600	48	13100	221	9,21
2013	FEB	15	NAV.ROTA	P.E.N.	2700	0	18	0	10400	1	0	8	0	4900	40	18000	152	16,89
2013	FEB	16	ROTA	P.E.	4300	0	24	0	0	0	0	0	0	0	4300	0	0,00	
2013	FEB	17	ROTA	P.E.	4300	0	24	0	0	0	0	0	0	0	4300	0	0,00	
2013	FEB	18	NAVEGANDO	N	0	0	0	0	21300	2	0	22	0	7000	48	28300	193	8,04
2013	FEB	19	NAVEGANDO	N	0	0	0	0	11500	0	0	24	0	7400	48	18900	222	9,25
2013	FEB	20	NAVEGANDO	N	0	0	0	0	17600	0	0	24	0	7200	48	24800	290	12,08
2013	FEB	21	NAV.FERROL	P.E.N.	2500	0	16	0	7200	1	0	9	0	2900	19	12600	91	9,10
2013	FEB	22	FERROL	P.A.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
2013	FEB	23	FERROL	P.A.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	

Figura 3-3 Ejemplo de la nomenclatura utilizada en la base de los datos. Elaboración propia.

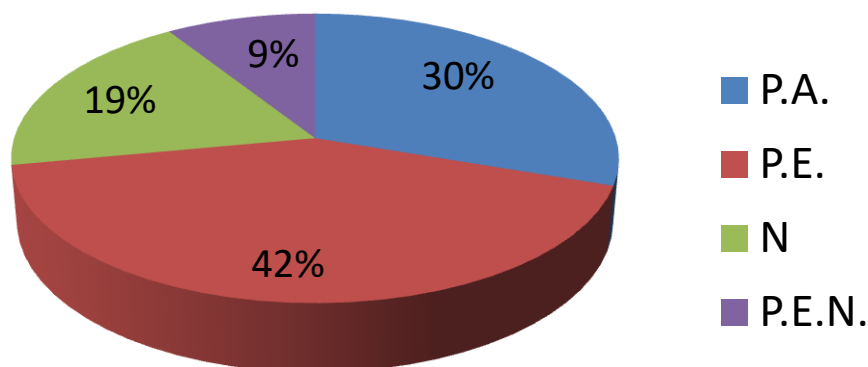
### 3.1.2 Realización del análisis

Realizada la contextualización de los datos de consumo y la descripción de las variables que han sido objeto de estudio, este apartado tiene por objeto realizar una descripción de los pasos que se han seguido a lo largo del desarrollo del estudio de los datos de consumo de la F-105 a lo largo del período establecido, comprendido entre el 1 de octubre de 2012 hasta el 31 de julio de 2014, en total 669 días.

#### 3.1.2.1 Situaciones operativas

El primer paso del análisis ha sido llevar a cabo la diferenciación entre las diferentes situaciones operativas descritas anteriormente.

En primer lugar, se ha realizado un análisis global de las mismas. En la Figura 3-4, realizada con los datos obtenidos de la Tabla 7-1 del Anexo I, se puede observar la relación de las diferentes situaciones operativas a lo largo de todo el período de estudio.



**Figura 3-4 Relación de las situaciones operativas a lo largo de todo el período de estudio.**

A la vista de los resultados, estos difieren de lo que se explica previamente en la Tabla 2-1. Esta diferencia se debe al período en el que se encontraba el buque, siendo este el tiempo inmediatamente posterior a la entrega del mismo a la Armada.

Los trabajos iniciales en un buque son aquellos relacionados con la prueba de todos los elementos que componen al propio buque. Este período también sirve como primer contacto para la dotación del buque, la cual comienza a aprender a trabajar con los equipos y los sistemas para su correcta realización en posteriores misiones. La mayoría de estas pruebas se hacen con el buque atracado en puerto.

Que el dato sea mayor en la situación de P.E., en lugar de P.A., es motivo de dichas pruebas, a pesar de que lo normal para un buque atracado en su puerto base, en este caso el Arsenal Militar de Ferrol, es que encuentre en la situación P.A. la condición más repetida, ya que en esta situación la corriente necesaria se la suministran equipos en tierra.

El dato referente a navegación, es algo inferior a lo que se daría en una situación normal, en otro ciclo operativo que no fuese el primero. Esta diferencia se debe a que el buque apenas realizó navegaciones en los dos primeros años, siendo este porcentaje debido al número de singladuras navegando que realizó el buque en el último año objeto de estudio. En lo referente a la situación P.E.N. es similar a la de N, siendo si cabe más exagerada.

Completando el análisis específico de las diferentes situaciones operativas, el siguiente paso ha sido diferenciar estas en función del año, véase Tabla 3-3.

Situaciones operativas	2012	2013	2014
Puerto Apagado (P.A.)	53	125	24
Puerto Encendido (P.E.)	33	179	68
Navegación (N.)	1	33	92
Puerto Encendido y Navegación (P.E.N.)	5	28	61
Total	92	365	212

**Tabla 3-2 Relación de las situaciones operativas en función del año.**

En función del año, esta diferencia se puede apreciar mucho más significativamente. Desde el mes de octubre de 2012 hasta final del mismo año, el buque permaneció prácticamente la totalidad de sus días atracado en puerto. Más de la mitad fueron en la condición de P.A., llevando a cabo las primeras pruebas de equipos con corriente de tierra. Los datos de la situación de P.E. muestran como también se llevaron a cabo las primeras pruebas para determinar la autosuficiencia del propio buque.

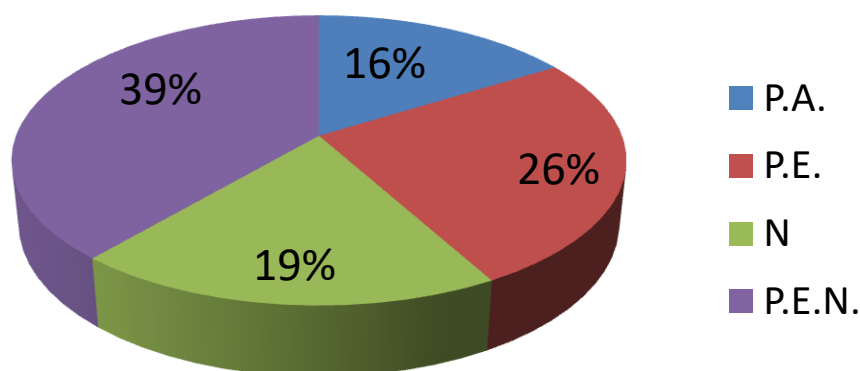
La Tabla 3-2 Relación de las situaciones operativas en función del año permite observar que las pruebas de navegación fueron escasas, siendo solo uno el día en el que el buque navegó durante las 24 horas del día, y siendo 5 las veces que el buque salió de puerto.

En el año 2013, destaca el dato de la condición de P.E., la cual ofrece una idea de que dicho año fue el año donde la mayor cantidad de pruebas a bordo se realizaron, para poder asegurar la operatividad del buque en cualquier situación.

El número de navegaciones también aumentó considerablemente. A lo largo de este año el buque realizó sus primeras navegaciones de cierto porte, navegando más allá de las proximidades de la Ría de Ferrol.

El año 2014 fue el año donde se llevó a cabo la misión que concluía el ciclo operativo. La condición de P.A. apenas se dio debido a la realización a lo largo del mes de enero de el período de CALOP, véase Figura 3-5 realizada con los datos obtenidos de la Tabla 7-2 del Anexo I, donde el buque se prepara para poder realizar la misión.



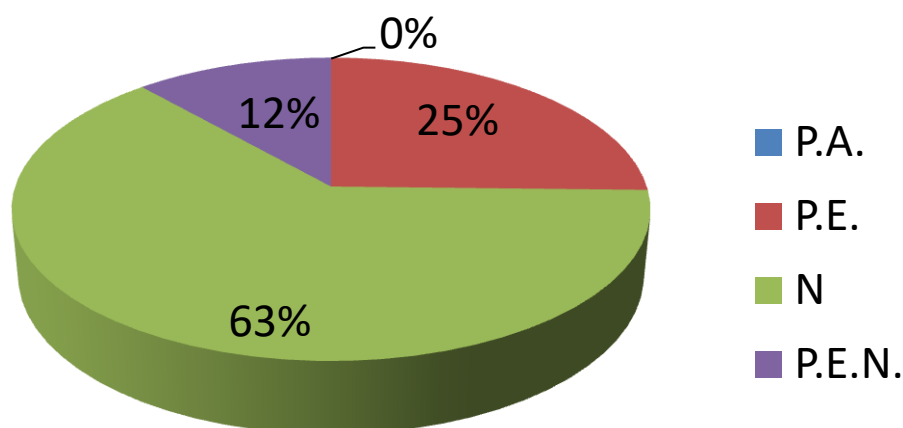


**Figura 3-5 Relación de las situaciones operativas en el período de Calificación Operativa.**

A lo largo del mes que duró la CALOP, destaca la condición de P.E.N., esto es debido a que durante este mes, las principales pruebas que lleva a cabo el buque son en la mar, ya sea navegando durante todo el día o entrando y saliendo de puerto a lo largo del mismo. Realizada esta calificación, el buque se encontraba preparado para desarrollar satisfactoriamente la misión que le había sido encomendada.

Por último, se ha realizado con un mayor detenimiento, el análisis del período comprendido entre el 23 de febrero de 2014 y el 10 de julio del mismo año, un total de 138 días. En este período, el buque realizó la misión anteriormente explicada como buque de mando de la SNMG 2, véase Figura 3-6 realizada con los datos obtenidos de la Tabla 7-3 del Anexo I.

En este período el buque realiza las principales funciones para las que está diseñado cualquier buque de guerra, destacando especialmente la navegación. Es de reseñar el dato asociado a la condición de P.A., ya que, a lo largo del desarrollo de la misión, debido a que las condiciones de los diferentes puertos no eran óptimas para hacer toma de tierra, el buque permaneció atracado en puerto con la condición de P.E., utilizando sus propios medios de generación energética.

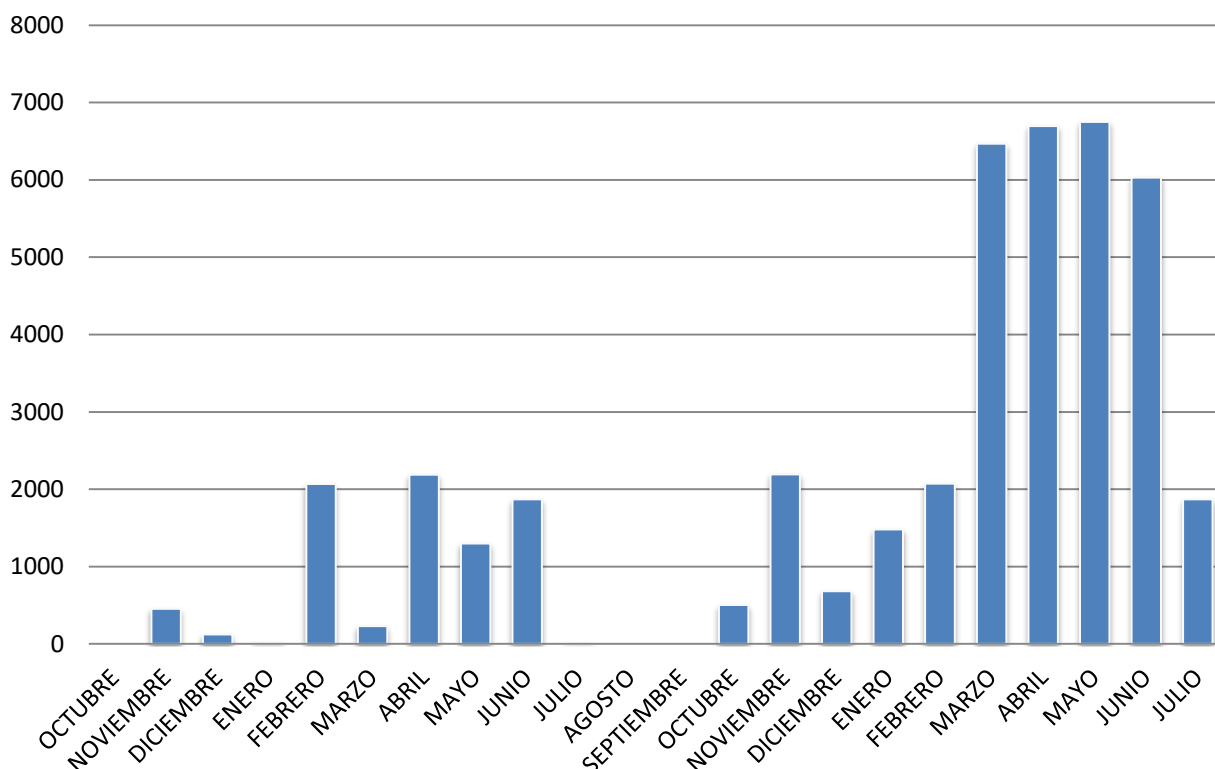


**Figura 3-6 Relación de las situaciones operativas en el período de misión.**

### 3.1.2.2 Millas navegadas

Para llevar a cabo el estudio de las millas navegadas durante todo el período de tiempo que ha sido objeto de estudio, se ha seguido una metodología similar a la utilizada para llevar a cabo el desarrollo de las diferentes situaciones operativas.

El primer análisis que se ha realizado ha sido un estudio general, un estudio de todas las millas navegadas a lo largo de los 669 días que se incluían en la base de datos, cuyos resultados se pueden ver en la Figura 2-1. Siendo el resultado final un total de 42975 millas las que el barco navegó.



**Figura 3-7 Relación de millas navegadas a lo largo de todo el período de estudio.**

Entrando más en detalle en el gráfico y en consonancia con la Tabla 3-3, se pueden diferenciar claramente cada uno de los tres años que componen el período. En el año 2012 se llevan a cabo unas primeras y muy básicas pruebas de mar.

En el año 2013, se realizan las primeras navegaciones de cierta importancia, visitando por primera vez los puertos de Rota y de Cartagena, ciudades donde la presencia naval de la Armada Española es claramente identificable.

Estas navegaciones se dieron en dos períodos diferenciados, el primero anterior y el segundo posterior al verano. En estos dos períodos se demostraron las capacidades marineras del buque, comenzando su participación en diversos ejercicios con otras unidades de la Armada Española.

**Millas navegadas**

---

2012	575
2013	11043
2014	31357
Total	42975

---

**Tabla 3-3 Relación de millas navegadas en función del año.**

Por último, en el año 2014, el buque llevó a cabo su misión y con ella, el consiguiente número de millas navegadas. En un primer momento, en el período de CALOP el buque navegó 2412 millas, divididas entre los diversos tránsitos entre Ferrol y Rota y los diferentes ejercicios que tuvo que realizar para alcanzar el grado de adiestramiento óptimo para poder desarrollar su misión.

El 24 de octubre zarpó del puerto ferrolano de la Graña, donde los buques de la Armada Española finalizan su preparación para las navegaciones con los últimos pertrechos, y puso rumbo a la Base Naval de Rota comenzando su andadura en su primera misión internacional, véase Figura 3-8 realizada con los datos obtenidos de la Tabla 7-4 del Anexo I, donde se muestran la relación de millas navegadas en cada una de las navegaciones. Realizada la parada en Rota, la F-105 navegó a través del Mar Mediterráneo colaborando con la misión Active Endeavour de la OTAN en su tránsito hasta Souda, lugar donde se encuentra una base naval de la OTAN.

En la siguiente singladura de la navegación, la F-105 alcanzó por primera vez el Canal de Suez, cruzándolo el 7 de marzo. El siguiente puerto de la navegación fue el puerto de Djibouti, donde la Cristóbal Colón realizó el relevo como buque de mando de la SNMG 2 con el buque que da nombre a su clase, la F-101 Álvaro de Bazán. Este fue el primer hito de la misión.

Los cometidos de las agrupaciones navales permanentes de la OTAN consisten en hacer presencia naval y proteger los intereses de los países miembros en aquellas aguas. Comenzaron así determinadas navegaciones por la zona del Golfo de Adén, el Golfo Pérsico y el Mar de Arabia. Puertos como Doha, Salalah (en tres ocasiones), Seychelles, Dubai fueron destinos donde la agrupación atracaba para el necesario descanso de la dotación de los buques.

Durante las navegaciones, se distinguen dos modos de navegación, el de tránsito y el de operación. Cuando un buque navega haciendo un tránsito no está cumpliendo una misión específica, simplemente se desplaza de un punto a otro. En cambio, navegando en operación, el buque realiza la misión encomendada, en este caso el de patrullar y hacer presencia naval en determinadas zonas. En estos meses, los tránsitos fueron aquellos destinados a desplazarse desde los puertos donde se hacía escala, hasta las zonas de operaciones.

Finalizando con su participación en la misión, la F-105 en su vuelta al Mar Mediterráneo, hizo escala en el puerto de Jeddah. Alcanzado el Canal de Suez por segunda vez, la agrupación atracó en los puertos de Souda, Estambul, Nápoles y finalmente en el puerto de Málaga, donde se llevo a cabo la ceremonia de relevo con el crucero americano Leyte Gulf, dando por terminado el año en el que España tuvo el mando de la SNMG 2. El tránsito hasta Ferrol fue la última etapa de esta misión para la F-105.

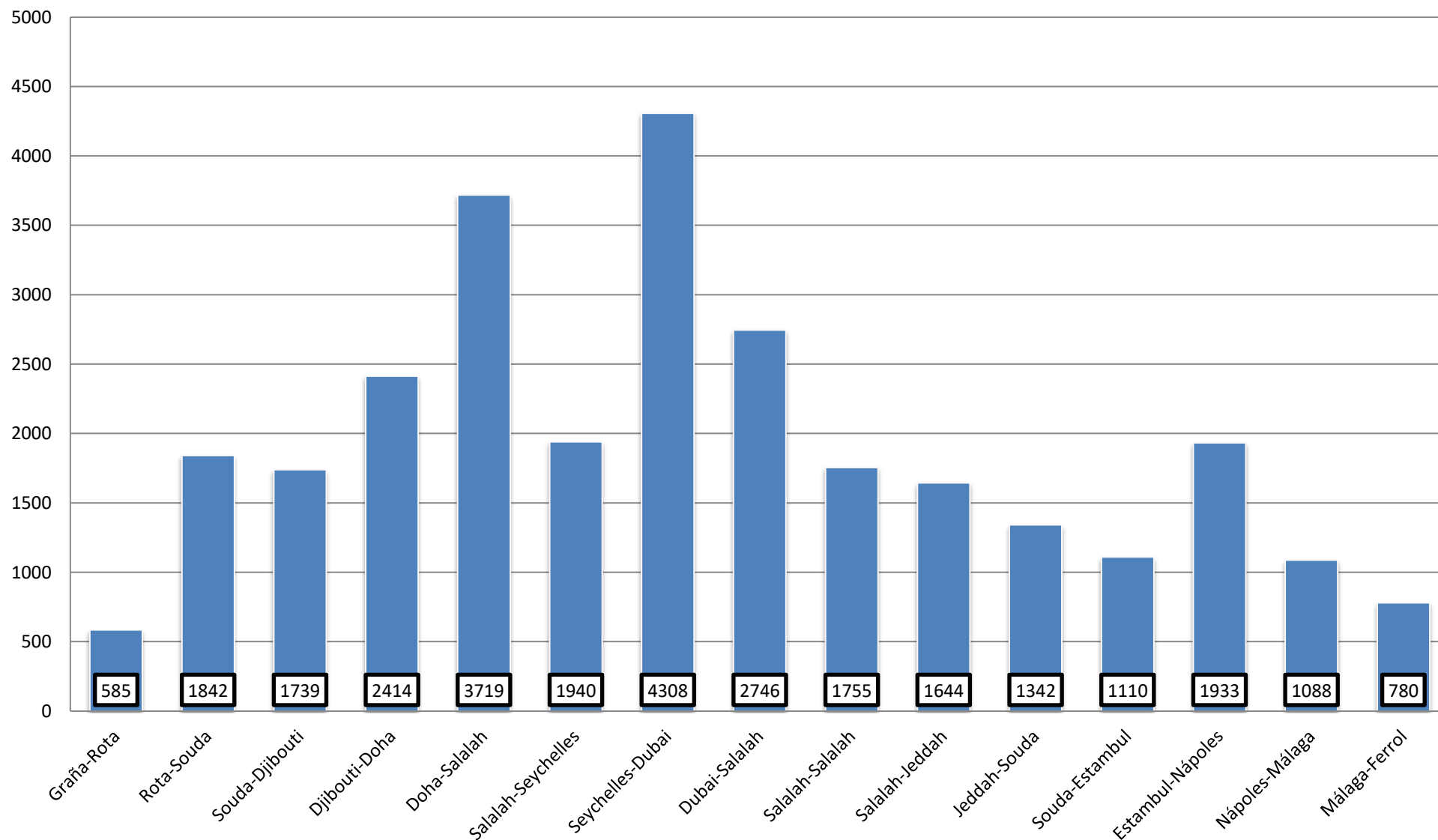


Figura 3-8 Relación de millas navegadas durante el período de misión.

### 3.1.2.3 Consumo F-76

Como último apartado del análisis, el estudio del consumo del combustible F-76, el combustible diésel de uso militar más extendido en el mundo, se realizó siguiendo la misma metodología que los apartados anteriores. Comenzando por el período completo, se ha ido desglosando para centrarse en el último período donde se desarrolló la misión.

En la Figura 3-9 se puede ver una visión general del consumo de combustible a lo largo de todos los meses del período que ha sido objeto de estudio. Se puede observar que está gráfica muestra una gran correlación las gráficas anteriores, que mostraban las diferentes situaciones operativas y las millas navegadas.

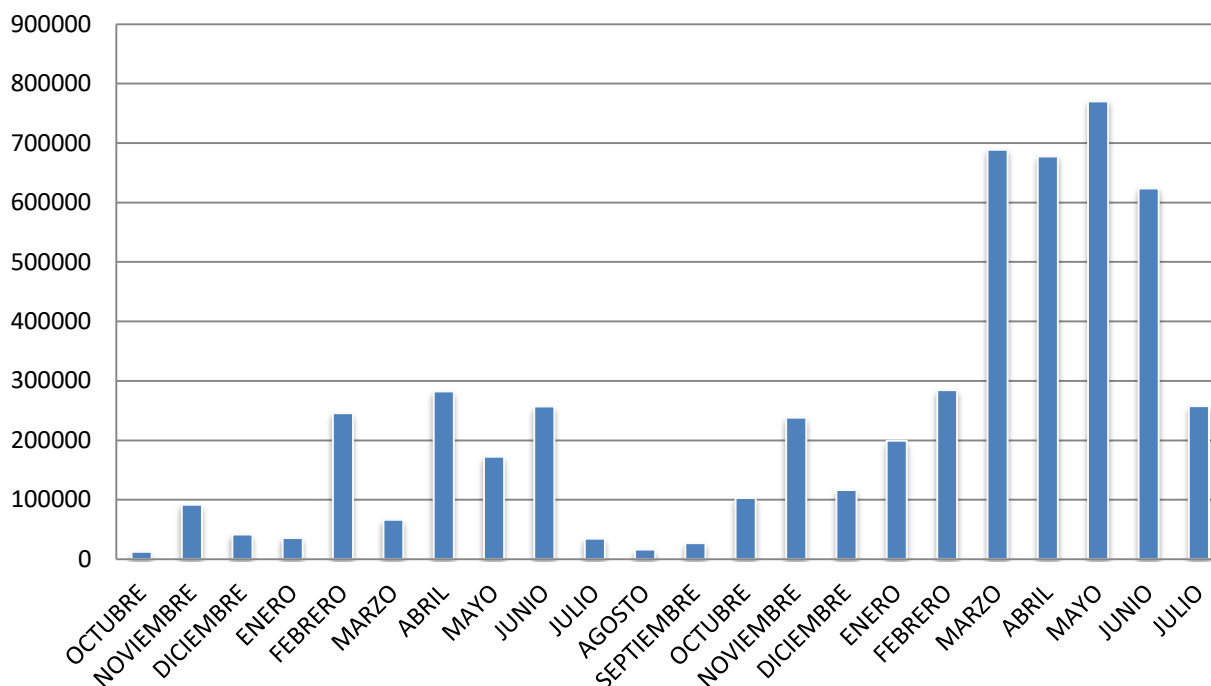


Figura 3-9 Consumo de combustible F-76 a lo largo de todo el período de estudio.

Es importante reseñar que el estudio del consumo de combustible es una mezcla de los dos aspectos anteriores. Resulta obvia la relación entre las millas navegadas y la situación operativa de navegación, sin embargo, la relación existente entre el consumo de F-76 y las situaciones operativas no se reduce solo a la anteriormente citada.

Ya se ha mencionado en que situaciones puede encontrarse el buque cuando está atracado en puerto, y se ha dejado claro que en cuanto se encuentra en P.A., el consumo es externo, por lo tanto no entra dentro de este estudio.

Por otro lado, la situación P.E. lleva asociado un consumo de combustible debido al funcionamiento de los equipos gracias a la energía suministrada por los DDGG. La situación P.E.N. es una situación especial donde se dan ambas condiciones, con el consiguiente consumo asociado, pero en esta situación, durante el período que el buque se encuentra en la maniobra de atracada o de desatracada, el régimen de maniobra que se lleva a bordo lleva asociado un consumo mayor de los DDGG que la situación normal de navegación.

<b>Año</b>	<b>C.P. DDGG</b>	<b>C.N. DDGG</b>	<b>TOTAL DDGG</b>
2012	68200	23900	92100
2013	356600	342800	699400
2014	285100	772800	1057900
Total	709900	1139500	1849400

**Tabla 3-4 Relación consumo combustible debido a los DDGG en función del año.**

<b>Año</b>	<b>C.P. MMPP</b>	<b>C.N. MMPP</b>	<b>TOTAL. MMPP</b>
2012	0	53100	53100
2013	18700	874700	893400
2014	10000	2432600	2442300
Total	28700	3360100	3388800

**Tabla 3-5 Relación consumo de combustible debido a los MMPP en función del año.**

<b>Año</b>	<b>DDGG</b>	<b>MMPP</b>	<b>F-76</b>
2012	92100	53100	145200
2013	699400	893400	1592800
2014	1057900	2442300	3500200
Total	1849400	3388800	5238200

**Tabla 3-6 Relación consumo de combustible F-76 en función del año.**

En las Tabla 3-4, Tabla 3-5 y Tabla 3-6 se puede observar el consumo de combustible F-76 a lo largo de cada uno de los años del período objeto de estudio. Desglosado dicho consumo, se puede apreciar el consumo debido a los DDGG, tanto en puerto como navegando, el consumo de los MMPP en las dos mismas situaciones y el consumo total de F-76, sumatorio de los dos anteriores.

A lo largo de los años analizados, se diferencian los consumos en función de las necesidades de cada momento. Durante los dos primeros años, aunque la diferencia de consumo entre un día completo de navegación o un día completo en puerto es muy grande, el uso principal del buque en puerto llevó asociado un consumo similar entre DDGG y MMPP. Esta diferencia se hace mucho mayor en el año 2014, debido a las navegaciones para la CALOP y para la misión.

Entrando en detalle del período entre febrero y julio de 2014, se puede observar en la Figura 3-10 realizada con los datos obtenidos de la Tabla 7-5 del Anexo I el consumo de combustible, diferenciando el consumo durante las navegaciones entre puertos y el consumo en los propios puertos, donde siempre se mantenía en buque con la propia energía suministrada por los DDGG.

En la Tabla 7-5 del Anexo I se pueden observar las diferentes navegaciones entre puertos, la duración de las mismas y el consumo asociado a cada navegación tanto para los DDGG como para los MMPP, indicando el consumo total de F-76 en la última columna. La correlación entre las navegaciones más largas y el consumo de combustible queda demostrada en la propia tabla. Hay que dejar claro que en determinadas ocasiones, en estas navegaciones se diferencia la navegación por la zona de operaciones o los tránsitos desde los puertos hacia las mismas.

Durante los citados tránsitos, la velocidad utilizada por el buque dependía de la distancia desde el puerto hasta la zona de operaciones. El ejemplo más claro se dio en la navegación entre el puerto omaní de Salalah y Seychelles. La distancia entre estos puertos se aproxima a las 1300 millas náuticas y la velocidad media necesaria para cubrir esta distancia en los 6 días de navegación fue de 15,14 nudos. Esta velocidad media, prácticamente 2 nudos mayor que la velocidad media total en el período de misión, es resultado de la distancia entre la zona de operación y los puertos, con el consiguiente consumo asociado. Son reseñables los 17 nudos de media del día 17 de abril para llegar a la hora predeterminada a Seychelles, después de las patrullas en la zona de operaciones.

Durante las jornadas en la zona de operaciones, las velocidades empleadas fueron unas velocidades económicas, que rondaban los 12 nudos de velocidad media. Una velocidad con una adecuada relación entre consumo y distancia navegada, acorde con las necesidades de la situación.

Por último, la Figura 3-11 realizada con los datos obtenidos de la Tabla 7-6 del Anexo I muestra la relación de consumo de combustible F-76 durante las distintas estancias en puerto. La condición de P.E. fue la utilizada los días en los que el buque se encontraba atracado en puerto, como se explico anteriormente. Aquellas ocasiones en las que aparece consumo en los MMPP se debieron a necesidades excepcionales del buque de diversa índole, ya sean diferentes pruebas o cambio en los puntos de ataque.

### Consumo total navegando en misión

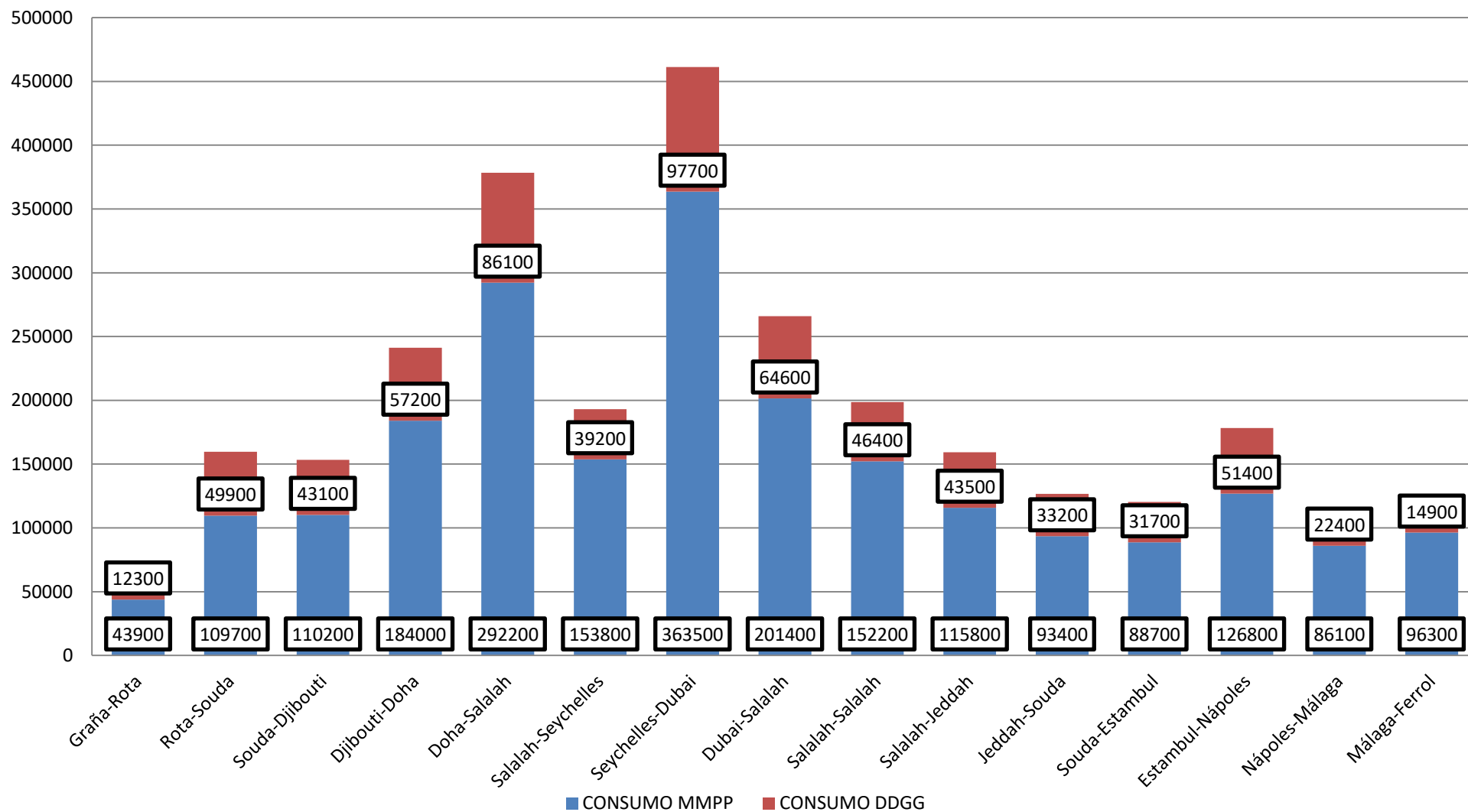


Figura 3-10 Relación de consumo de combustible total F-76 navegando a lo largo de todo el período de misión.



### Consumo total puerto en misión

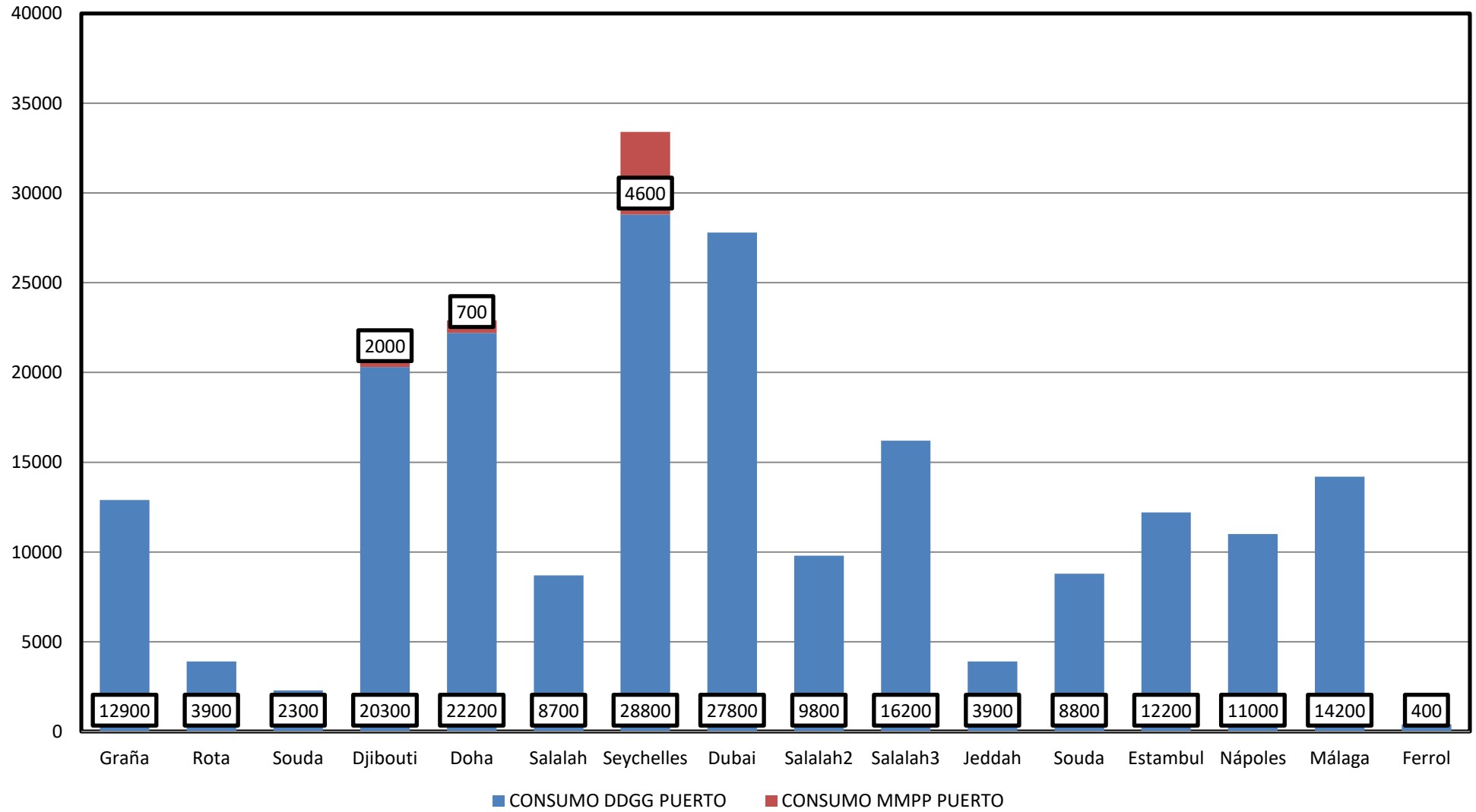


Figura 3-11 Relación de consumo de combustible total F-76 en puerto a lo largo de todo el período de misión.

### 3.1.2.4 Correlación lineal entre la temperatura del agua del mar y el consumo energético del buque.

La correlación lineal estadística para confirmar el grado de responsabilidad de la temperatura superficial del agua del mar en el mayor o en el menor consumo energético del buque se ha analizado empleando la correlación lineal de Pearson, cuya fórmula es la siguiente:

$$r_{xy} = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Dónde:

1.  $r_{xy}$  es el valor de la correlación.
2.  $Cov(X, Y)$  es el valor de la covarianza de las matrices X, Y.
3. X e Y representan los datos de consumo de combustible y temperatura del agua del mar
4.  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$  son las desviaciones típicas de las variables estudiadas.

Con la fórmula de la correlación lineal se busca conocer el grado de relación de dos variables cuyo valor absoluto debe encontrarse entre el 0 y el 1. La fortaleza o la debilidad de la correlación vienen dadas por la proximidad o la lejanía al valor absoluto máximo. Para conocer la entidad de correlación se toma como referencia lo siguiente:

1. Si r está entre 1 y 0,5 en valor absoluto la correlación es fuerte.
2. Si r está entre 0,5 y 0,3 en valor absoluto la correlación es moderada.
3. Si r está entre 0,3 y 0,1 en valor absoluto la correlación es débil.
4. Si r está por debajo de 0,1 en valor absoluto la correlación es muy débil o inexistente.

En este caso, se ha utilizado como referencia el artículo "*Eficiencia energética en buques de guerra: un caso práctico*" publicado por Pedro Carrasco Pena, Elena Arce Fariña, Javier Torres Martínez y Raquel González Fernández en el IV Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad de 2016. [59]

En este artículo se estudiaron unos datos para relacionar estas dos variables. Realizado el balance energético de la plataforma objeto de estudio, la F-105, los diferentes sistemas auxiliares existentes a bordo representaban el 59% del consumo total. Estos datos hacen necesario un sistema de climatización, "*Heating Ventilation and Air Conditioning*" (HVAC) que ayuden a disipar el calor generado por el funcionamiento de los distintos sistemas, y de esta manera, alcanzar las condiciones óptimas de temperatura tanto para las personas que se encuentran a bordo como para el funcionamiento de los diferentes equipos.

Debido a la importancia de este sistema HVAC a bordo y que es un sistema que funciona las 24 horas del día, los autores de dicho artículo decidieron realizar la correlación lineal entre el consumo energético asociado a este equipo y la temperatura del agua del mar, citando a continuación sus resultados.

Enlazando con las diferentes situaciones operativas que puede llevar a cabo un buque a lo largo de su ciclo de vida operativo, se demostró que se observa una mayor influencia de la temperatura del agua del mar en el consumo energético en aquellas situaciones que el buque se encuentra en puerto, ya sea apagado o encendido. Teniendo más importancia esta correlación cuando el buque se encuentra encendido ( $r = 0,77$ ), es necesario recordar que esta situación ha sido la utilizada cuando el buque realizó su despliegue en la operación Ocean Shield.

Por otro lado, el buque en sus navegaciones, ya fuesen en tránsitos o en operación, tiene valores de correlación mucho menores entre dichas dos variables. En navegación bajo operaciones, la correlación lineal se puede considerar débil ( $r = 0,12$ ), esto se debe al propio funcionamiento del buque, y a la

mayor exigencia que se hace de los sistemas del mismo le quitan importancia al factor ambiental. En los tránsitos, las necesidades son menores, por lo tanto la correlación es algo mayor.

Por lo tanto, la información obtenida sobre hipotética correlación en el citado artículo entre la temperatura de la superficie del agua del mar y el consumo energético en la situación de navegación no es suficiente como para establecer correlaciones claras entre estos dos aspectos.

Volviendo al presente TFG, el cálculo de la correlación lineal entre estos dos elementos difiere en cierta medida del realizado en el artículo de referencia. Estas diferencias se deben principalmente a los datos disponibles, ya que, para la realización de este TFG se dispone de los datos generales de consumo del buque. En cambio, en el artículo de referencia se disponía de los datos específicos del sistema HVAC. Por lo tanto, la correlación lineal realizada en este TFG se orientará al total de consumo de los DDGG.

En la Tabla 7-6 del Anexo I, se pueden observar las diferentes temperaturas medias de la superficie del mar en cada una de las estancias en puerto. Los datos mostrados se basan en las siguientes figuras, de la Figura 3-12 a la Figura 3-27. Estas figuras están sacadas de un mapa interactivo de la página web de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) del Departamento de Comercio de los Estados Unidos. [70]



Figura 3-12 Temperatura media semanal durante la estancia en la Graña. [70]



Figura 3-13 Temperatura media semanal durante la estancia en Rota. [70]



Figura 3-14 Temperatura media semanal durante la estancia en Souda. [70]

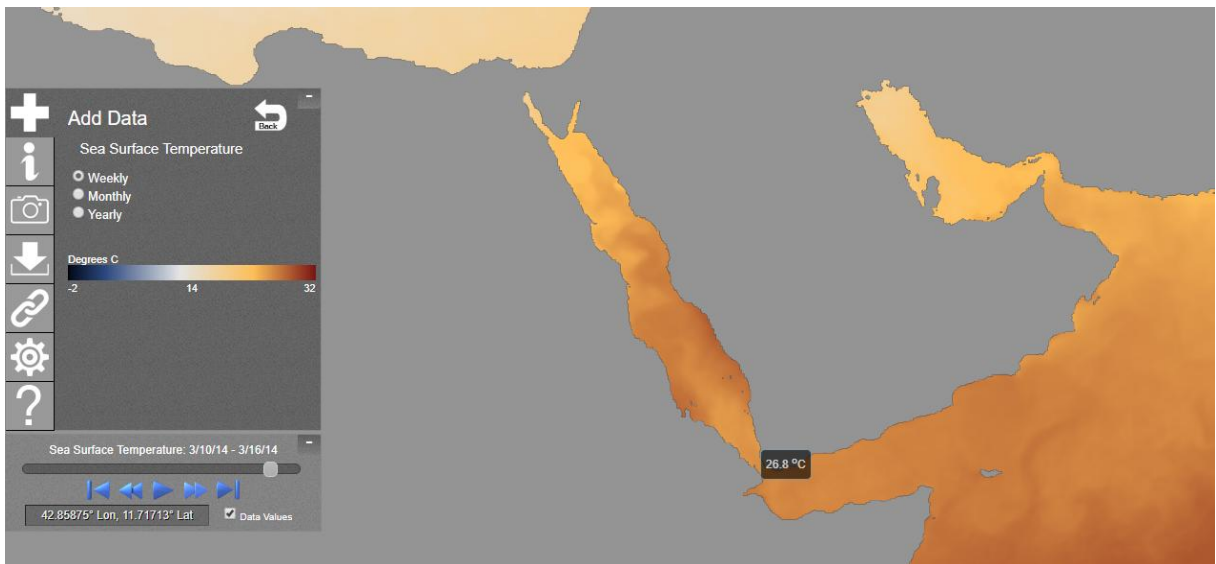


Figura 3-15 Temperatura media semanal durante la estancia en Djibouti. [70]

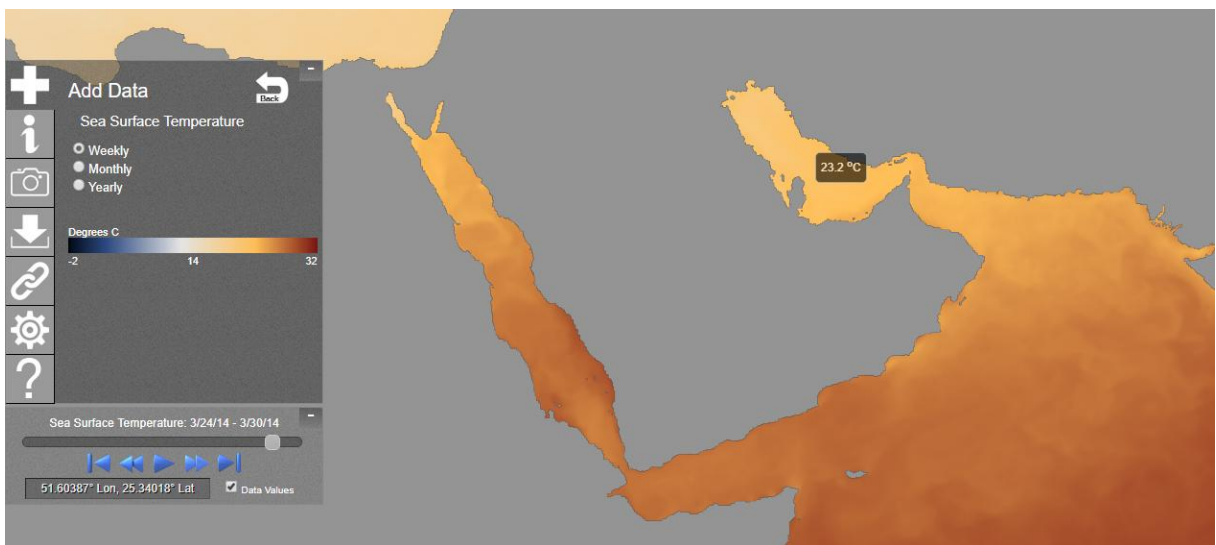


Figura 3-16 Temperatura media semanal durante la estancia en Doha. [70]



Figura 3-17 Temperatura media semanal durante la estancia en Salalah (I). [70]

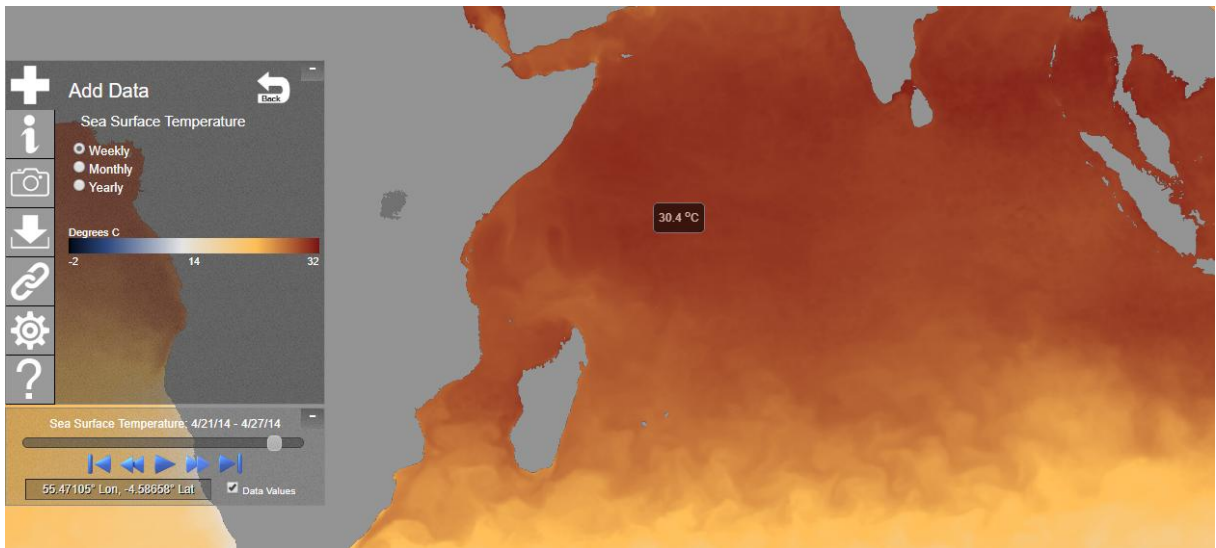


Figura 3-18 Temperatura media semanal durante la estancia en Seychelles. [70]

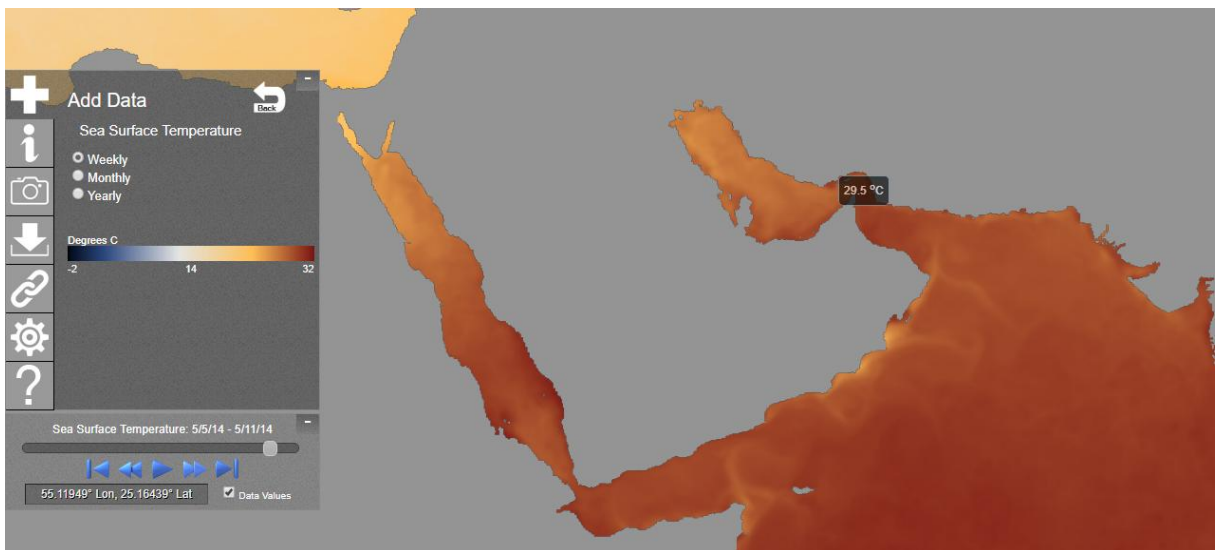


Figura 3-19 Temperatura media semanal durante la estancia en la Dubai. [70]

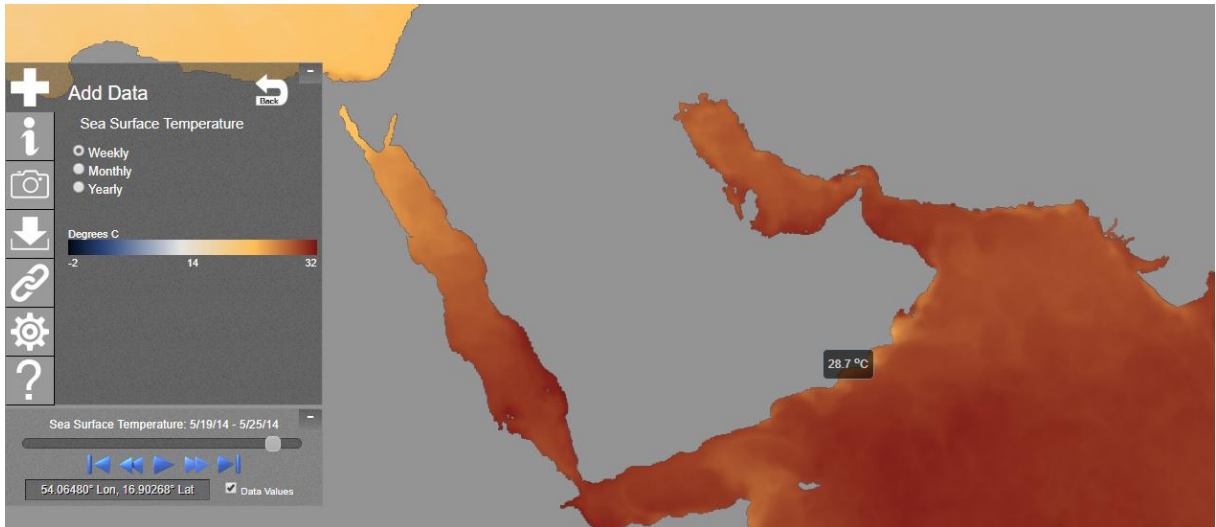


Figura 3-20 Temperatura media semanal durante la estancia en Salalah (II). [70]

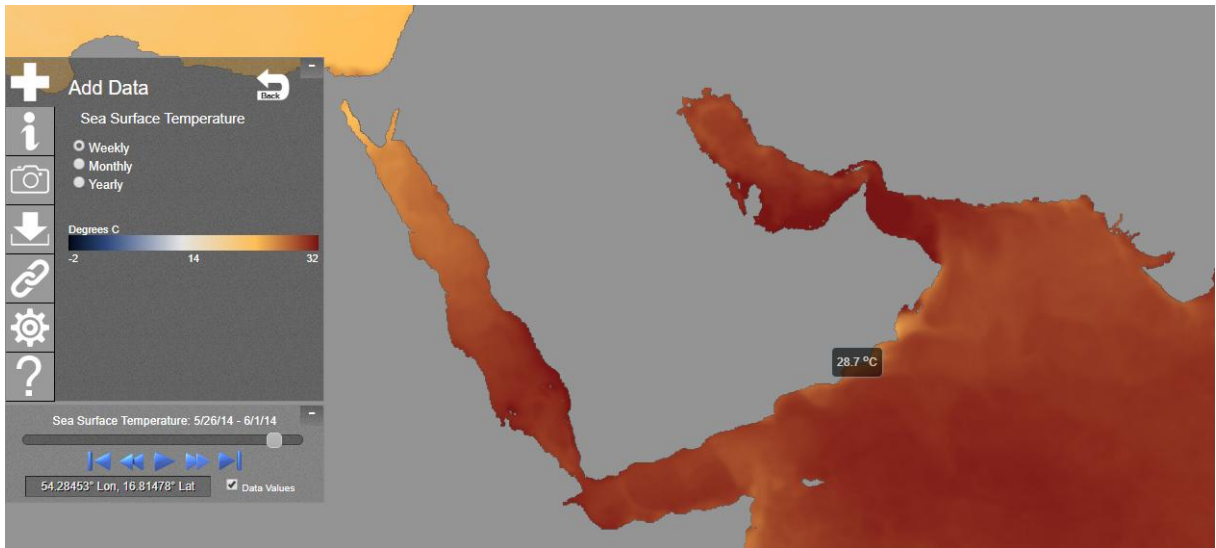


Figura 3-21 Temperatura media semanal durante la estancia en Salalah (III). [70]

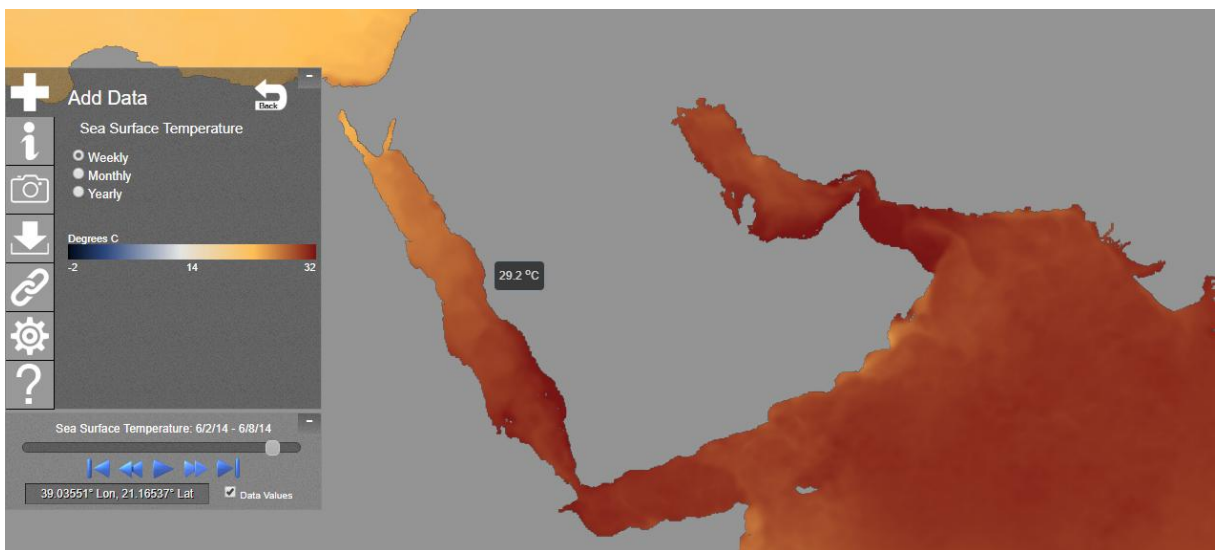


Figura 3-22 Temperatura media semanal durante la estancia en Jeddah. [70]



Figura 3-23 Temperatura media semanal durante la estancia en Souda (II) [70]



Figura 3-24 Temperatura media semanal durante la estancia en Estambul. [70]

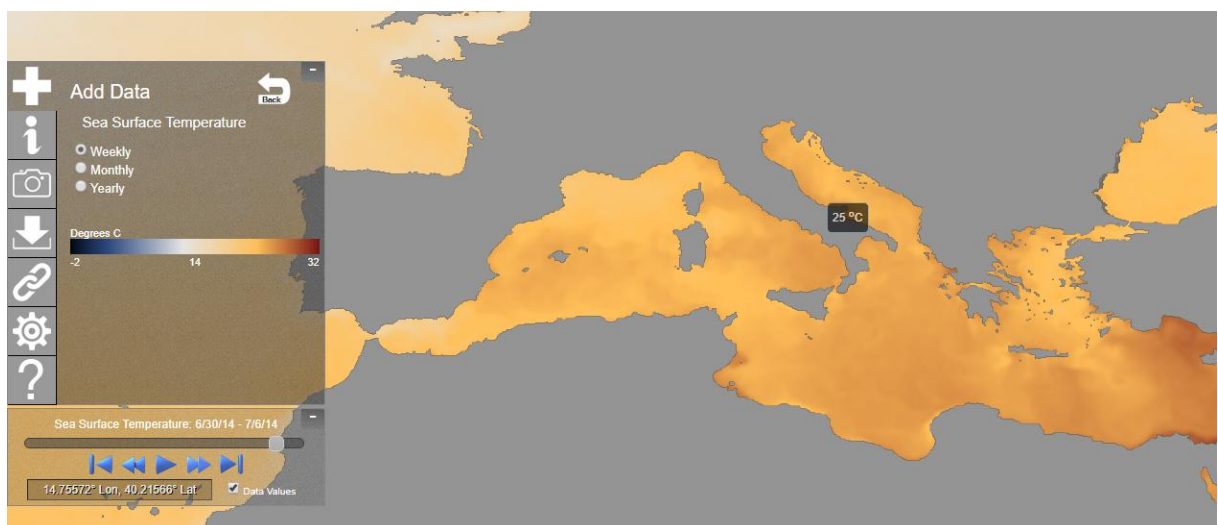


Figura 3-25 Temperatura media semanal durante la estancia en Nápoles. [70]

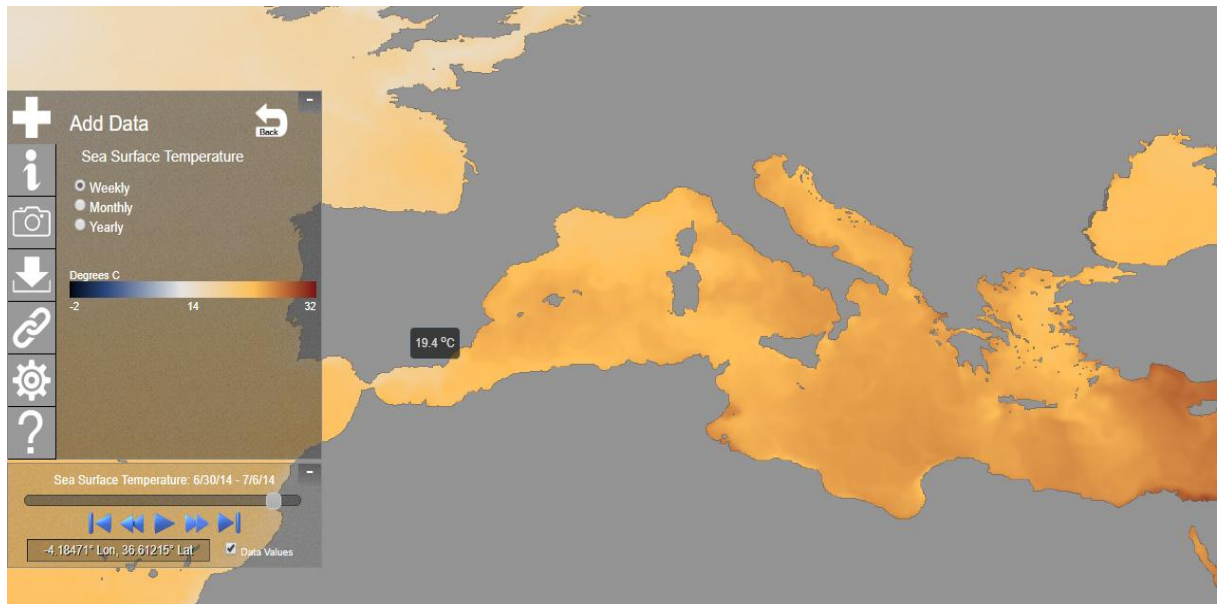


Figura 3-26 Temperatura media semanal durante la estancia en Málaga. [70]

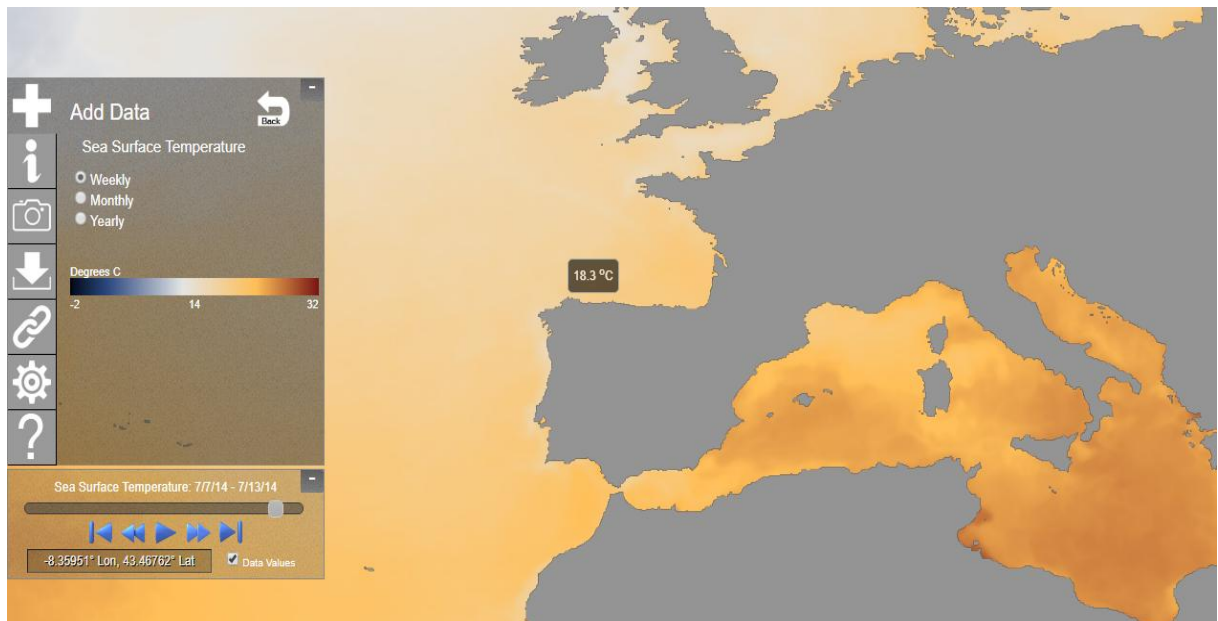


Figura 3-27 Temperatura media semanal durante la estancia en Ferrol. [70]

### 3.2 Calculadora EEOI como indicador de EE

El Trabajo de Fin de Grado realizado en el año 2017 por el AN Antonio Liarte Pérez, cuyo título es "*Traslación y aplicación de la normativa de la eficiencia energética en la marina mercante al ámbito militar*", tuvo como uno de sus objetivos la realización de una calculadora del EEOI para los buques de la Armada con la idea de aplicar el SEEMP de la OMI para conseguir una reducción del consumo energético a bordo.

Esta calculadora permite realizar un cálculo del índice de una forma sencilla, ya que, con los datos de consumo de combustible diarios, el tipo de combustible utilizado, la distancia navegada y la carga transportada (entre desplazamiento del propio buque y su dotación) nos permite calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por unida de trabajo realizada. Un programa de tipo hoja de cálculo, en este caso se ha utilizado el Microsoft Excel, es la herramienta necesaria para la realización de esta calculadora.



La calculadora está dividida en varias hojas de cálculo en las que se distinguen los siguientes apartados:

1. Instrucciones.
2. Datos del buque.
3. Navegación en curso.
4. Eficiencia navegación.
5. Resumen navegaciones.
6. Informe EEOI
7. Informe total consumido.
8. Informe consumido propulsión.

A continuación se detallan las distintas hojas de cálculo:

1. Instrucciones.

En esta hoja se facilitan las instrucciones a seguir por el usuario para un uso correcto de la calculadora, indicando los campos a rellenar y el modo de uso de la calculadora. Uno de los elementos dedicados a facilitar su uso es un código de colores en las diferentes casillas:

- Color azul: Casillas a rellenar por el usuario.
- Color verde: Casillas resultado de índices de eficiencia calculadas de forma automática.
- Color blanco: Casillas calculadas de forma automática, sumas, promedios.
- Color blanco, letra negrita: Títulos y apartados de las tablas.

La manera para realizar el relleno y borrado de datos es la siguiente:

- La calculadora se rellenará con datos diarios de los consumos del buque, una vez al finalizar cada singladura, reflejando en la hoja “Navegación en curso” los datos requeridos.
- Durante estancias en puerto se rellenará la hoja registro “Consumos en puerto”.
- La forma de incluir un nuevo día en la tabla será clicando sobre la fila “Total”, insertar, desplazar filas hacia abajo. Las casillas que lo requieren tienen comentarios de ayuda, con indicaciones como la unidad utilizada.
- Una vez finalizada la navegación se volcarán los datos de la hoja “Navegación en curso” en las hojas “Resumen navegaciones”, “Consumos navegaciones” e “informes EEOI”.

Por último también se da una explicación de cómo se debe realizar la importación e impresión de los datos.

2. Datos generales del buque.

En este apartado, se muestran datos del buque necesarios para el cálculo del índice. Se deberá rellenar las casillas siguientes, donde sirven como ejemplo los datos la F-105:

- Tipo de buque: Escolta
- Clase: Álvaro de Bazán
- Serie: Nada que reseñar
- Unidad: F-105 Cristóbal Colón
- Desplazamiento (en toneladas): 5800
- Dotación: 201
- Combustible de uso, queda preestablecido el utilizado por los buques OTAN, siendo el diésel F-76 y el JP-5.

El cálculo del factor de conversión de combustible a  $CO_2$  emitido por los combustibles OTAN, se realiza en base a los requerimientos de cantidad de carbono en los combustibles F-76 y JP-5 y la normativa de la OMI sobre el cálculo del EEOI, en la que explica el factor de  $CO_2$  de los combustibles.

El factor a usar es de 3,21 g de  $CO_2$  generados por cada mililitro de combustible quemado, tanto para F76 como para JP-5. [43]

### 3. Navegación en curso.

En este apartado, el usuario irá actualizando al finalizar cada singladura. Se entiende por singladura cualquier jornada que el buque pase en la mar, ya sea el día entero, o desde el momento que el buque sale a navegar o llega a puerto. El conjunto de las singladuras es lo que se conoce como una navegación. El usuario deberá rellenar las siguientes casillas:

- Nombre de la navegación.
- Puerto de salida.
- Puerto de llegada.
- Fecha y hora de salida.
- Fecha y hora de llegada.
- Consumo de combustible, debida a motores principales y auxiliares en navegación y el usado por las aeronaves.
- Distancia navegada, en millas en cada singladura

### 4. Eficiencia navegación

En este apartado se encuentran los cálculos necesarios para obtener los datos de la eficiencia energética del buque. A partir de los datos de la hoja Navegación en curso se obtiene el EEOI. Es de destacar, que frente a los que propone la OMI, que usa para el cálculo de este índice toneladas de  $CO_2$  emitido, en la calculadora propuesta por el AN Liarte, se ha realizado en base a gramos de  $CO_2$  emitido. De esta manera se pueden manejar indicadores con números simplificados para una mejor comprensión por el usuario.

Además del cálculo del EEOI, se proponen dos nuevos índices: La cantidad de combustible consumido total por el buque por milla navegada y la cantidad de combustible consumido para la generación de energía para propulsión por milla navegada.

Con estos dos nuevos índices, se puede cuantificar el consumo medio de cada singladura y por consiguiente, de la navegación total. De una manera similar al EEOI, estos índices nos permiten cuantificar por un lado, el combustible total consumido y por el otro, el combustible sólo consumido por la propulsión. Estos índices se realizan en función de la distancia navegada, sin tener en cuenta el desplazamiento y la dotación del buque, como aconseja la OMI. Esta diferencia se debe a que un buque de guerra no necesita cuantificar el consumo necesario para transportar una cantidad de carga variable, ya que, tanto el desplazamiento y la dotación se pueden considerar constantes en el tiempo. Este índice se aproxima más al que utiliza cualquier conductor en su coche para calcular el consumo de litros de combustible por cada 100 kilómetros recorridos.

### 5. Resumen navegaciones

En este apartado se presentan los resultados obtenidos, incluyendo la distancia navegada, el consumo de combustible total, las emisiones de  $CO_2$  y los tres diferentes índices explicados anteriormente.

### 6. Informe EEOI

En esta apartado se resumen los diferentes indicadores operacionales de la eficiencia energética de todas las navegaciones, la media de los mismos y una gráfica que representa los indicadores de cada navegación. Siendo de ayuda para el estudio y comparación del indicador entre las distintas navegaciones. El EEOI, será mejor cuanto más bajo sea su número, es decir, menores cantidades de emisiones de  $CO_2$  por valor del trabajo realizado o a iguales emisiones con mayor valor del trabajo realizado.

7. Informe total consumido

Este apartado presenta los valores medios de los consumos totales de combustible, tanto los MMPP como los DDGG, por milla navegada de cada navegación, incluyendo una gráfica para su mejor estudio y posterior análisis.

8. Informe consumido propulsión

Siendo similar a la anterior, incluye los datos de combustible consumido exclusivamente por los sistemas de propulsión del buque por cada milla navegada.

En la Tabla 3-7 se expone un glosario de las unidades utilizadas en la calculadora.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>
Desplazamiento	Toneladas
Dotación	Nº de personas
Combustible	Litros
Factor Combustible	Gramos de CO <sub>2</sub> / mililitro de combustible
Distancia navegada	Millas náuticas
Emisiones de CO <sub>2</sub>	Gramos de CO <sub>2</sub>
Valor del trabajo realizado	Millas * Nº de personas + Millas * Desplazamiento (EEOI General)
EEOI	Toneladas de CO <sub>2</sub> / Millas * Nº personas + Millas * Desplazamiento (EEOI general)
Combustible total consumido por milla navegada	Litros / Milla
Combustible consumido para propulsión por milla navegada	Litros / Milla

---

**Tabla 3-7 Glosario de unidades de uso en la calculadora. [43]**



## 4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Como se ha explicado anteriormente a lo largo de este trabajo, el EEOI es un índice creado por la OMI para llevar a cabo una estimación de lo eficiente que es un buque. Este trabajo ha utilizado una variación de dicho EEOI de la OMI, con el fin de proporcionar una información más específica a un buque de guerra, en este caso la fragata F-105 de la Armada Española, la fragata Cristóbal Colón.

La calculadora del EEOI utilizada es una herramienta creada con dicho fin. El resultado de la misma, que se expondrá a lo largo de este apartado, nos muestra una relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> y un valor de trabajo realizado, en este caso en función de tres parámetros: desplazamiento, dotación y millas navegadas.

Por otro lado, también se han obtenido resultados para los otros dos índices: la cantidad de combustible consumido total por el buque por milla navegada y la cantidad de combustible consumido para la generación de energía para propulsión por milla navegada.

### 4.1 Evaluación de los resultados

Debido a la singularidad de un buque de guerra, estos resultados no pueden ser comparados con otras clases de buques. La comparación óptima sería, en este caso, con unidades de similares características como las fragatas de la misma clase, las fragatas noruegas clase "*Fridjot Nassen*" o los destructores de la Royal Australian Navy de la clase "*Hobart*".

No hay que olvidar que la EE se buscará siempre y cuando se alcance un nivel mínimo exigido de operatividad. En diversas situaciones a bordo de esta clase de buques, se podrán dar algunas acciones que no contribuyan a la utilización eficiente del mismo. Un claro ejemplo son aquellas situaciones en las que el buque tenga que navegar a máxima velocidad, consumiendo en esos casos una mayor cantidad de combustible que haciéndolo a la velocidad óptima.

Estas situaciones influyen negativamente en los resultados de estos índices, por lo tanto hay que tener en cuenta que la visualización de estos resultados no debe ser siempre del todo objetiva. Evaluar con la tradicional calificación numérica a estos resultados pierde su sentido, debido a su singularidad.

Estos índices son herramientas perfectas para obtener resultados en aquellas situaciones donde la navegación no ha sufrido ningún altercado notable, un ejemplo de ello pueden ser los múltiples tránsitos que los buques realizan entre puertos, sin la realización de ninguna otra misión en el desarrollo de estos que no sean el simple desplazamiento marítimo del buque.

La Tabla 7-7 del Anexo I muestra un resumen de los principales elementos a tener en cuenta para realizar los diferentes índices por la calculadora. En ella se pueden contemplar desde las millas navegadas, el combustible consumido, la huella de CO<sub>2</sub> producida y los 3 índices desarrollados a lo largo del trabajo.

Con los datos mostrados en dicha tabla, se han realizado diversos gráficos (Figura 4-1, Figura 4-2 y Figura 4-3) para mostrar los diferentes resultados obtenidos en cada una de las navegaciones realizadas a lo largo del período donde fue realizada la comentada misión.

#### 4.1.1 EEOI modificado

Hablando individualmente de cada uno de los índices, observamos como el EEOI tiene como media la puntuación de 54,35. Se observa que la mayoría de las navegaciones ligeramente por debajo de la media. Esto se debe a la última navegación. El tránsito de Málaga a Ferrol marcó la última etapa de la misión y la velocidad media de la misma fue superior a los 15 nudos, notablemente superior al resto de las navegaciones. Esto conlleva un consumo de combustible mayor, con la huella de CO<sub>2</sub> asociada.

Esta indicación muestra la situación en el aspecto de EE en la que se encontró la F-105 en el período de tiempo objeto a estudio. Sin entrar a valorar lo positivo o lo negativo de esta puntuación, este sistema puede servir para marcar una hoja de ruta a seguir en función de los resultados obtenidos con dicho operacional.

No existen otros datos reales más que las demás navegaciones realizadas en dicha misión para comparar estos datos. Los datos mostrados como ejemplo del funcionamiento de la calculadora en el trabajo de Antonio Liarte muestran resultados francamente diferentes. Dichos resultados muestran los datos referentes a las pruebas de mar de la F-105 en su primer año, donde el buque realizó diversas pruebas y ejercicios, siendo estos datos poco claros para ser estudiados. La única finalidad fue servir como ejemplo.

Sin embargo, los datos de las navegaciones que han sido objeto de estudio muestran unos resultados mucho más lógicos. La dispersión con respecto a la media, olvidando la última navegación, no es amplia y eso contribuye a la afirmación de la posibilidad de integrar dicha calculadora a las unidades de la flota. Como se ha dicho repetidamente, este EEOI es diferente al EEDI, ya que, si existe diferencia entre los diseños de los tipos de buque, esta es aún mayor si se habla de diferencia de operaciones con los mismos.

Por lo tanto, estos resultados resultan de gran utilidad para la propia fragata. Si el comandante del buque, ayudado por el resto de su dotación, conociese de primera mano estos datos, podría comparar aquellas navegaciones en las que el índice es más elevado con las que es menor, pudiendo llevar las acciones necesarias para corregir estas diferencias. Es el propio buque, el lugar óptimo para poder actuar en consecuencia con dichos datos.

#### 4.1.2 Índice Total consumido / Distancia navegada

Este índice muestra los resultados del consumo total de combustible, ya sea el utilizado por los DDGG para abastecer de suministro eléctrico a todos los equipos del buque o el combustible utilizado por los MMPP para la propulsión.

El resultado medio obtenido a partir de la calculadora es de 106,2. Este resultado es completamente lógico, habiéndose consultado esta afirmación con oficiales de la Armada Española destinados en buques de esta clase, que afirman que el consumo de combustible por milla navegada ronda entre los 100 y los 110 litros.

Se puede observar en la Figura 4-2 que la dispersión con respecto a la media es notablemente superior a la del gráfico anterior. Esto se debe a las distintas necesidades operativas en cada una de las situaciones, destacando las distancias entre los puertos donde se hacía escala y las diferentes zonas de operaciones encomendadas al buque en cada uno de los períodos. Por necesidades de la misión, se pueden dar situaciones donde requiera una mayor velocidad, con el consecuente consumo de combustible. Intentar cambiar un aspecto como este en un buque de guerra no sería muy productivo.

Reseñar la relación con respecto al gráfico anterior, destacando también la última etapa de la misión, donde premió la llegada a puerto después de 5 meses que un consumo más equilibrado del combustible.

#### *4.1.3 Índice Consumido propulsión / Distancia navegada*

El tercero y último de los índices muestra la relación de la cantidad de combustible utilizada exclusivamente para la navegación y las millas navegadas. Guardando mucha relación con el índice anterior, deja claro la diferencia de consumo que existe entre el destinado a la propulsión y el destinado a todos los demás sistemas auxiliares del buque.

Según los resultados obtenidos, la media de consumo por milla fue de 82,13 litros. La mejor manera posible de actuar en consonancia con este resultado es la búsqueda de la velocidad óptima asociada al menor consumo para la mayor distancia posible. Una herramienta como esta puede llegar a ser de gran utilidad a bordo de las unidades de la Armada Española.

Como se ha comentado anteriormente, se puede encontrar un símil a este índice en el día a día de un conductor normal de un coche. Una de las indicaciones que ofrecen los coches es la cantidad de combustible consumido por cada 100 km recorridos. Entre estos dos índices, la relación es muy estrecha. En un coche, al igual que en un buque, existe un consumo determinado cuando el coche circula con normalidad, pero en aquellas situaciones en las que es necesaria una mayor velocidad, el consumo asciende.

#### *4.1.4 Correlación lineal entre la temperatura del agua del mar y el consumo energético del buque.*

Con el objetivo de realizar la comprobación de los resultados obtenidos en el artículo de referencia, se ha seleccionado la situación P.E. para realizar el cálculo de dicha correlación lineal, siendo el tiempo limitado de realización de este TFG el principal impedimento para la realización de la correlación de todas las variables.

Efectuados los cálculos para la comprobación de las correlaciones existentes entre el consumo energético de los DDGG en puerto en la situación de P.E. y la temperatura del agua del mar el resultado ha sido de  $r = 0,458$ , siendo la citada correlación moderada. Este resultado difiere en cierta medida del artículo de referencia, pero esta diferencia tiene lógica.

Esta diferencia se debe a principalmente a los sistemas objeto de estudio. Un sistema como es el HVAC tiene alta relación con la temperatura del mar, ya que utiliza esta para la refrigeración de los equipos. Por lo tanto, a mayor temperatura del agua del mar, un mayor consumo energético es necesario para reducir la temperatura del agua del mar lo necesario para una óptima refrigeración de los equipos.

Por otro lado, el consumo de la totalidad de los sistemas auxiliares, causantes del consumo energético de los DDGG, engloba muchos más sistemas que el HVAC. Esto conlleva una disminución de la correlación debido a los demás sistemas englobados, los cuales tienen menor influencia de la temperatura.

Un mayor estudio de cada uno de los sistemas englobados en los sistemas auxiliares, permitiría un mayor conocimiento de la correlación entre el conjunto de los diferentes sistemas auxiliares y la temperatura el agua del mar, actuando todos como un mismo conjunto o realizando el estudio de la correlación por separado, como en el artículo de referencia.

#### 4.1.5 Coste económico asociado

Según lo reseñado en el apartado 2.3.4, referente al combustible F-76 y su precio, se procede en este apartado a mostrar los resultados asociados al cálculo del coste del combustible utilizado a lo largo del período de misión.

Siendo 0,5729 euros de media el litro de F-76 en el período objeto de estudio:

Navegaciones	Combustible Total (l)	Coste (€)
Graña - Rota	56200	32197,0
Rota - Souda	148300	84961,1
Souda - Djibouti	164600	94299,3
Djibouti - Doha	241200	138183,5
Doha - Salalah	375900	215353,1
Salalah - Seychelles	193000	110569,7
Seychelles - Dubai	461200	264221,5
Dubai - Salalah	266000	152391,4
Salalah - Salalah	198600	113777,9
Salalah - Jeddah	179000	102549,1
Jeddah - Souda	106900	61243,0
Souda - Estambul	120400	68977,2
Estambul - Nápoles	178200	102090,8
Nápoles - Málaga	108500	62159,7
Málaga - Ferrol	111200	63706,5
Total	2909200	1666680,7

**Tabla 4-1 Resultado gasto económico asociado al combustible.**

## 4.2 Presentación gráfica de los resultados

En este apartado se exponen los diferentes gráficos con los resultados obtenidos a partir de la utilización de la calculadora y con los datos obtenidos de la Tabla 7-7 del Anexo I:

- Figura 4-1 Resultado EEOI modificado en las diferentes navegaciones.
- Figura 4-2 Resultado índice Total consumido / Distancia navegada en las diferentes navegaciones.
- Figura 4-3 Resultado índice Consumido propulsión / Distancia navegada en las diferentes navegaciones.



### EEOI modificado

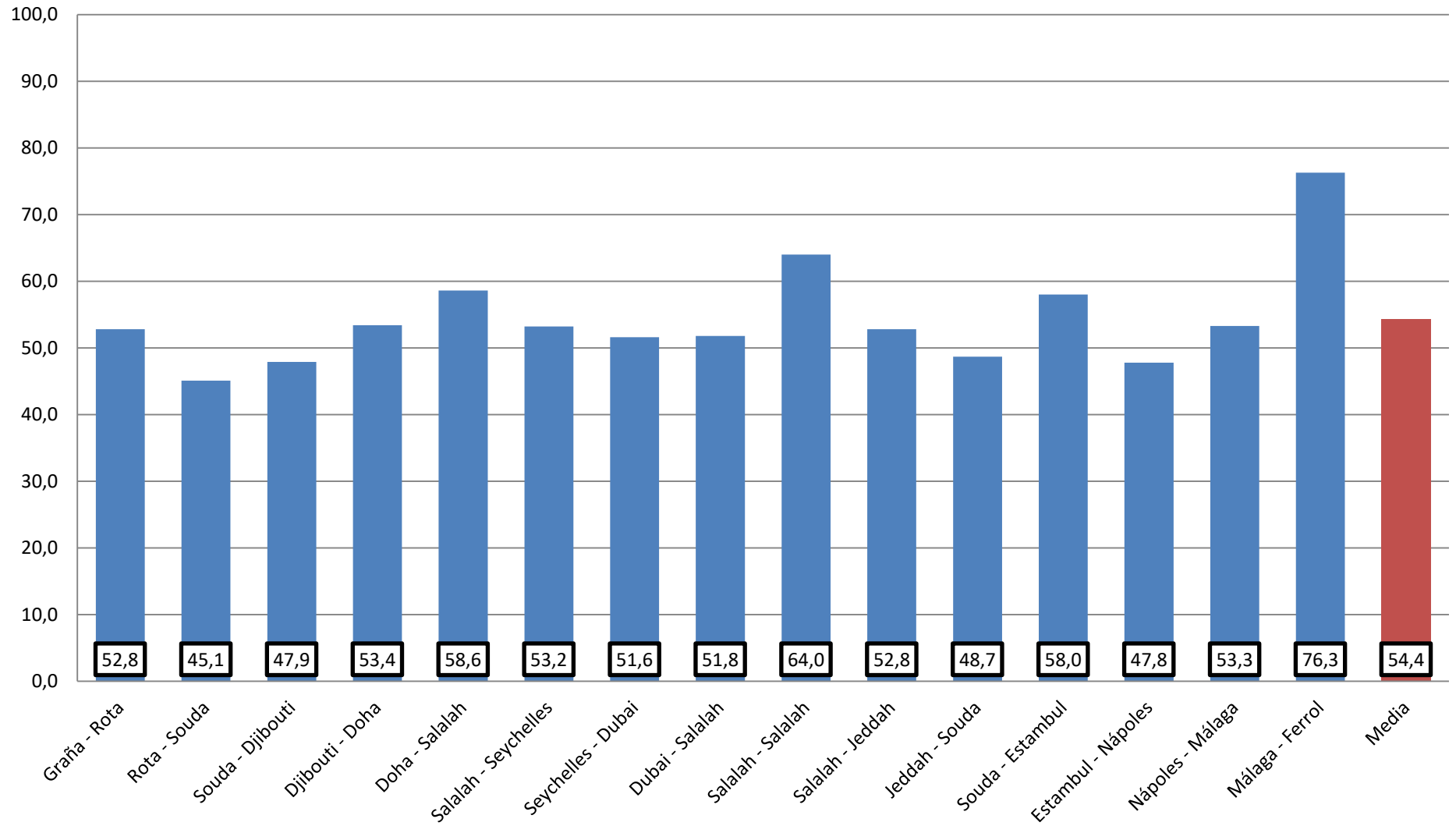


Figura 4-1 Resultado EEOI modificado en las diferentes navegaciones.

### Total consumido / Distancia navegada

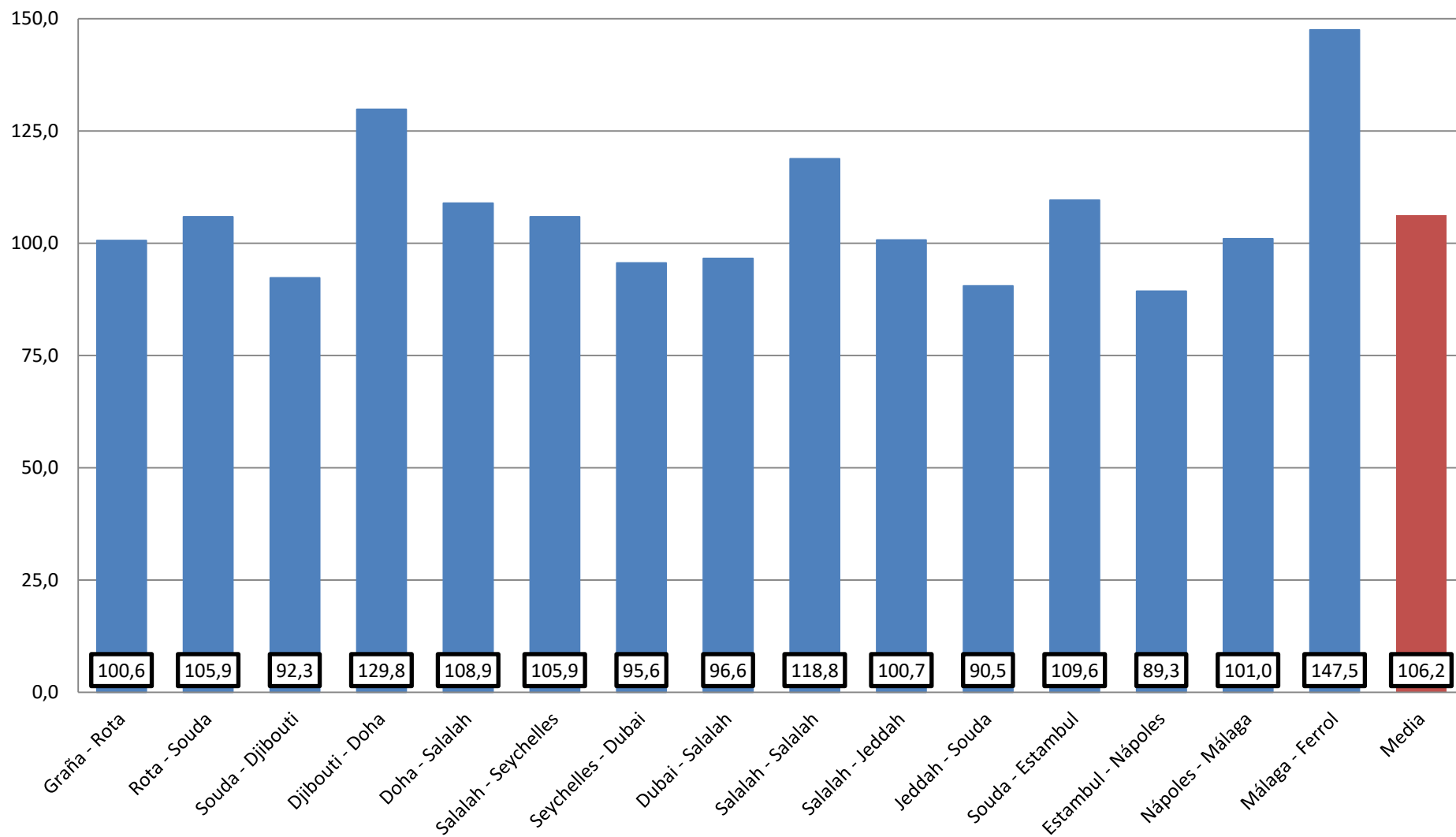


Figura 4-2 Resultado índice Total consumido / Distancia navegada en las diferentes navegaciones.

### Consumido propulsión / Distancia navegada

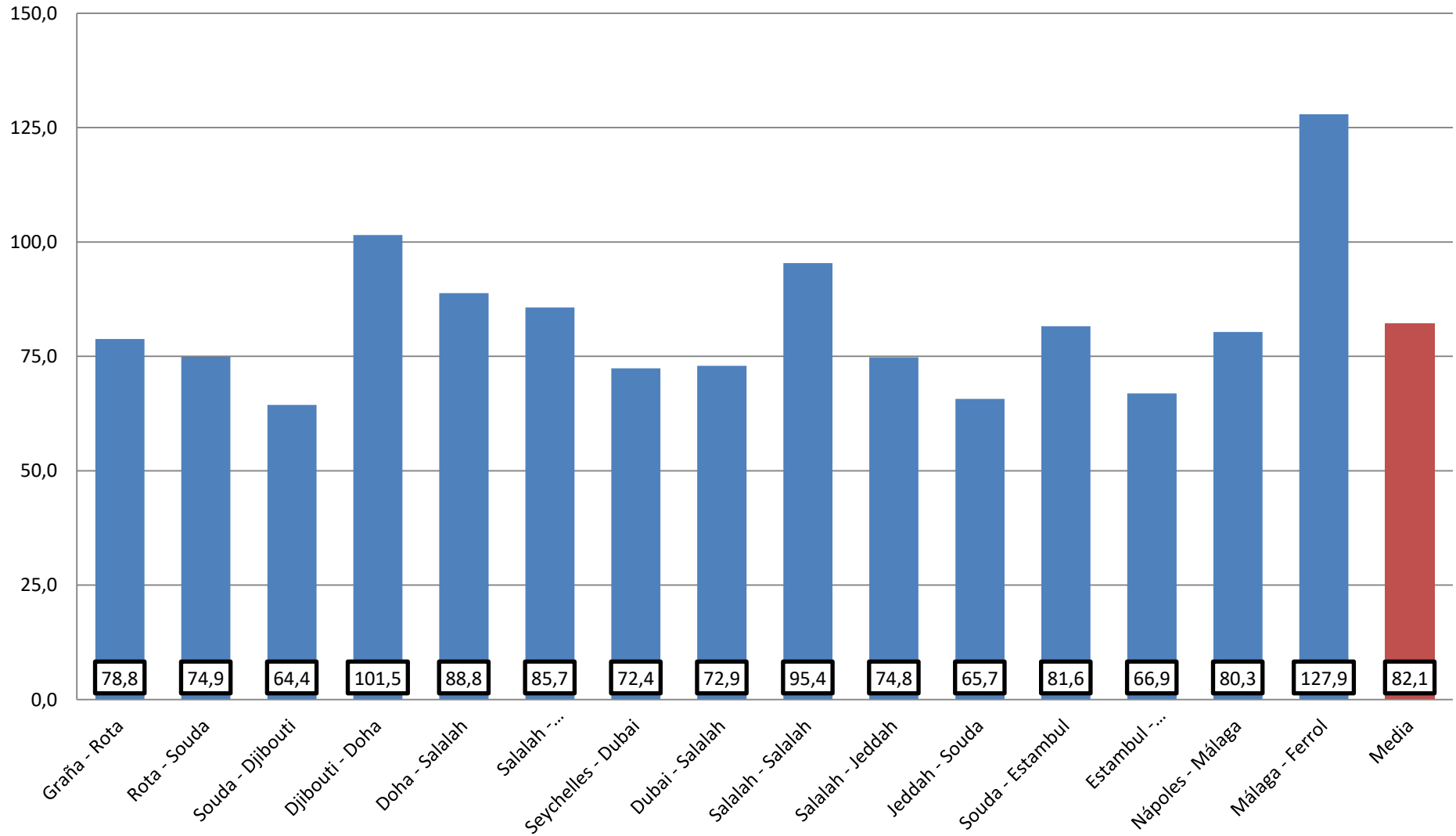


Figura 4-3 Resultado índice Consumido propulsión / Distancia navegada en las diferentes navegaciones.



## 5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

El estudio desarrollado de los datos de consumo de combustible tuvo como objetivo principal obtener unas conclusiones que facilitasen las posibilidades de reducción del consumo a bordo. En el presente apartado se exponen dichas conclusiones y presentan unas líneas futuras de trabajo en consonancia con la línea de investigación claramente marcada por el estudio de la EE en un buque de guerra.

### 5.1 Conclusiones

- La revisión bibliográfica demuestra que los estudios en eficiencia energética aplicados directamente a los buques de guerra son escasos, bien por ser elementos sensiblemente relacionados con la seguridad nacional de los países impulsores de estos proyectos o bien por el poco interés que tienen para los constructores por las restricciones que impone el cumplimiento de las exigentes misiones que tienen este tipo de buques. Si bien, se ve que algunos estudios en esta área apuntan a un nuevo horizonte que está implicando cada vez más como política corporativa la aplicación de políticas en EE como es el caso de la Armada española.
- Del estudio y análisis de los datos reales se contempla que las partidas presupuestarias necesarias para hacer funcionar este tipo de unidades en cualquiera de sus modos de funcionamiento necesitan de inversiones que están sujetas a la volubilidad del mercado de las energías no renovables, lo que hace necesario el avanzar en la aplicación del empleo de energías renovables no solo para los buques, sino también para sus instalaciones de apoyo.
- Con la aplicación de la calculadora del Indicador Operacional de la Eficiencia Energética (EEOI) para el buque objeto de estudio, se observa que el valor del EEOI de esta fragata se encuentra en valores similares a los estimados en trabajos anteriores. lo cual, valida esta herramienta en su uso para buques de guerra, así como las variaciones en los parámetros para acomodar este cálculo a los buques de la Armada.
- El análisis de correlación entre el consumo de combustible y las condiciones ambientales es fundamental y arroja valores moderados, pero que apuntan a la importancia de las variables medioambientales como es la temperatura del agua de mar en el consumo y por tanto, en la cantidad de emisiones de gases perjudiciales para el medioambiente.

## **5.2 Líneas futuras**

En consonancia con las diferentes conclusiones expuestas en el apartado anterior, las líneas futuras de investigación pasan por la implantación de un sistema de seguimiento de emisiones, al estilo del SVN que la UE hará obligatorio desde 2020 para todos los buques de su entorno, que permita conocer los niveles de contaminación y permita el establecimiento de bases de datos. El análisis de estos datos reflejaría la evolución del consumo y contaminación en el ciclo de vida de los buques.

Todos los análisis de consumos ya sean de la aplicación de las formulaciones dadas por la OMI o por otras instituciones, así como el profundo análisis de los distintos sistemas embarcados que permita establecer correlaciones entre consumos y variables de distinta índole, permitirá optimizar los sistemas y la búsqueda de fuentes de energía renovables que en algunos casos permitirá reducir y eliminar la producción de gases contaminantes.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] ONU, *Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, 1998.
- [2] OMI, *Convenio MARPOL 73/78. Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques*, 1973/1978.
- [3] M. G. Patterson, *What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues.*, Elsevier, 1996.
- [4] M. Póveda, *OLADE. Eficiencia energética, recurso no aprovechado.*
- [5] P. d. E. «Guía de gestión energética en puertos,» 2013.
- [6] E. Álvarez Pelegry y I. Ortiz Martínez, «Notas sobre la eficiencia energética en España,» 2015.
- [7] F. G. *Casos prácticos de eficiencia energética en España*, 2011.
- [8] FAS, *Memoria Responsabilidad Social*, 2010.
- [9] A. E. «Líneas Generales de la Armada 2007,» 2007. [En línea]. Available: [http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenos\\_medioambiente/prefLang\\_es/06\\_Divulgacion\\_Ambiental](http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenos_medioambiente/prefLang_es/06_Divulgacion_Ambiental).
- [10] CF (Ing) Nicolás Moreneo Alonso; CC (Ing) Francisco Javier Costell Berges, *El Cambio Climático y la Eficiencia Energética. El futuro de una flota verde: el caso español*, 2011.
- [11] R. L. Carson, *Silent Spring*, Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 1962.
- [12] ONU, *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano*, Estocolmo, 1972.
- [13] B. Ward y R. Dubois, *Only one Earth*, Norton, 1983.
- [14] D. H. Meadows, *The limits to growth*, Potomac Associates, 1972.
- [15] ONU, *Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*, 1987.
- [16] ONU, *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, 1992.

- [17] «Energía y sociedad,» [En línea]. Available: <http://www.energiaysociedad.es/>. [Último acceso: 12 Febrero 2018].
- [18] «IPCC,» [En línea]. Available: [http://www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.shtml](http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml). [Último acceso: 7 Febrero 2018].
- [19] ONU, «Informe de la Conferencia de las Partes número 13,» 2008.
- [20] ONU, «Informe de la Conferencia de las Partes número 15,» 2009.
- [21] ONU, «Acuerdo de París. Informe de la Conferencia de las Partes número 21,» 2015.
- [22] UE, «Una política energética para Europa,» 2007.
- [23] UE, «Directiva 2009/125/CE,» 2009.
- [24] UE, «Directiva 2010/30/UE,» 2010.
- [25] UE, «Directiva 2010/31/UE,» 2010.
- [26] UE, «Directiva 2004/8/CE,» 2004.
- [27] UE, «Directiva 2006/32/CE,» 2006.
- [28] UE, «Directiva 2012/27/UE,» 2012.
- [29] «ESEficiencia,» [En línea]. Available: <https://www.eseficiencia.es>. [Último acceso: 28 Enero 2018].
- [30] MINETAD, «Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020,» 2014.
- [31] «IDAE,» [En línea]. Available: <http://www.idae.es/>. [Último acceso: 21 Enero 2018].
- [32] CE, «Comunicación de la CE. Estrategia Europa 2020, una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador,» 2010.
- [33] MINETAD, «2º Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética de España,» 2011.
- [34] MINETAD, «Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020,» 2017.
- [35] J. Ruiz Canet, *PFC Mejora de la eficiencia energética de un buque de RO-PAX*, 2013.
- [36] «RightShip,» [En línea]. Available: <https://site.rightship.com/>. [Último acceso: 3 Febrero 2018].
- [37] C. E. p. A. L. y. e. Caribe, «Medidas para mejorar la eficiencia energética en el transporte marítimo,» 2013.
- [38] «OMI,» [En línea]. Available: <http://www.imo.org/es/About/Paginas/Default.aspx>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [39] OMI, «Emission Control Areas,» [En línea]. Available: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Emission-Control-Areas-\(ECAs\)-designated-under-regulation-13-of-MARPOL-Annex-VI-\(NOx-emission-control\).aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Emission-Control-Areas-(ECAs)-designated-under-regulation-13-of-MARPOL-Annex-VI-(NOx-emission-control).aspx). [Último acceso: 10 Febrero 2018].
- [40] OMI, «Informe del MEPC correspondiente a su 45º período de sesiones,» 2000.
- [41] L. Vacas Fons, «TFC Análisis de la nueva normativa OMI sobre EE (EEDI/SEEMP),»



2012.

- [42] OMI, «Resolución MEPC 203 (62),» 2011.
- [43] A. Liarte Pérez, «Traslación y aplicación de la normativa de la eficiencia energética en la marina mercante al ámbito militar,» 2017.
- [44] UE, «Estrategia de la UE para reducir las emisiones atmosféricas de los buques de navegación marítima,» 2002.
- [45] UE, «Reglamento (UE) 2015/757,» 2015.
- [46] M. R. Zamora Roselló, «Eficiencia energética y cambio climático: iniciativas en el sector marítimo,» 2017.
- [47] «Maerks,» [En línea]. Available: <https://www.maerskline.com/>. [Último acceso: 25 Febrero 2018].
- [48] M. M. González, V. D. Casás, F. L. Peña y D. Richard J, «Proyecto Peixe Verde. Mejoras energéticas para barcos de pesca,» 2007.
- [49] N. H. Doerry, T. J. McCoy y T. W. Martin, «Energy and the affordable future fleet,» 2008.
- [50] A. Chica Bertol, «Estudio sobre el método de propulsión mediante rotores Flettner,» 2012.
- [51] R. Villa Caro, «IV Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad. Estudio sobre la mejora de la eficiencia energética en buques de guerra mediante el uso de cometas de tracción,» 2016.
- [52] «Va de barcos,» [En línea]. Available: <https://vadebarcos.net>. [Último acceso: 24 Febrero 2018].
- [53] OMI, «Resolución A.893 (21) Directrices para la planificación del viaje,» 1999.
- [54] «Google,» [En línea]. Available: <https://www.google.es/>. [Último acceso: 2 Marzo 2018].
- [55] IDAE, «Combustibles y vehículos alternativos,» 2005.
- [56] «Energy Observer,» [En línea]. Available: <http://www.energy-observer.org/>. [Último acceso: 12 Febrero 2018].
- [57] ONU, *Convención de las Naciones Unidas para el derecho del mar en Montego Bay*, 1982.
- [58] «Armada Española,» [En línea]. Available: <http://www.armada.mde.es>. [Último acceso: 1 Marzo 2018].
- [59] P. J. C. Pena, E. A. Fariña, J. M. Torres y R. F. González, «Eficiencia energética en buques de guerra: un caso práctico. IV Congreso Nacional de i+d en Defensa y Seguridad,» 2016.
- [60] «FDRE - Fuerza Naval,» [En línea]. Available: <http://fdra-naval.blogspot.com.es/2017/01/buque-de-accion-maritima-espana.html>. [Último acceso: 24 Febrero 2018].
- [61] AENOR, *ISO 14001*.
- [62] CEPSA, «Ficha datos de seguridad F-76,» 2016.
- [63] «XE Currency Charts,» [En línea]. Available: <http://www.xe.com/currencycharts/?from=USD&to=EUR&view=10Y>. [Último acceso: 1 Marzo 2018].

2018].

- [64] «Green Fleet,» [En línea]. Available: <http://greenfleet.dodlive.mil/energy/great-green-fleet/>. [Último acceso: 15 Febrero 2018].
- [65] R. N. «Environmental protection guidelines (maritime) versión 2.1,» 2015.
- [66] D. d. D. d. G. d. Australia, *Defense Estate Energy Strategy 2014-2019*, 2013.
- [67] «Royal Australian Navy,» [En línea]. Available: <http://www.navy.gov.au/about/organisation/environment>. [Último acceso: 1 Marzo 2018].
- [68] R. C. N. *Defence Energy and Environmental Strategy*, 2017.
- [69] «Marina Militare Italiana, Flotta verde,» [En línea]. Available: <http://www.marina.difesa.it/cosa-facciamo/flotta-verde/Pagine/flotta-verde.aspx>. [Último acceso: 14 Marzo 2018].
- [70] «NOAA,» [En línea]. Available: <https://www.nnvl.noaa.gov/view/globaldata.html#FRAC>. [Último acceso: 25 Febrero 2018].

## 7 ANEXO I: TABLAS

El presente anexo tiene presenta las diferentes tablas que se han utilizado para la realización de las figuras incluidas en el presente Trabajo de Fin de Grado:

1. Relación de las situaciones operativas a lo largo de todo el período de estudio.

<b>Situaciones operativas</b>	<b>Días</b>
Puerto Apagado (P.A.)	202
Puerto Encendido (P.E.)	280
Navegación (N.)	126
Puerto Encendido y Navegación (P.E.N.)	61
Total	669

**Tabla 7-1 Relación de las situaciones operativas a lo largo de todo el período de estudio.**

2. Relación de las situaciones operativas en el período de la Calificación Operativa.

<b>Situaciones operativas</b>	<b>Días</b>
Puerto Apagado (P.A.)	5
Puerto Encendido (P.E.)	8
Navegación (N.)	6
Puerto Encendido y Navegación (P.E.N.)	12
Total	31

**Tabla 7-2 Relación de las situaciones operativas en el período de Calificación Operativa.**

3. Relación de las situaciones operativas en el período de misión.

<b>Situaciones operativas</b>	<b>Días</b>
Puerto Apagado (P.A.)	0
Puerto Encendido (P.E.)	34
Navegación (N.)	86
Puerto Encendido y Navegación (P.E.N.)	18
<b>Total</b>	<b>138</b>

**Tabla 7-3 Relación de las situaciones operativas en el período de misión.**

4. Relación de millas navegadas durante el período de misión.

<b>Millas navegadas</b>	
Graña - Rota	585
Rota - Souda	1842
Souda - Djibouti	1739
Djibouti - Doha	2414
Doha - Salalah	3719
Salalah - Seychelles	1940
Seychelles - Dubai	4308
Dubai - Salalah	2746
Salalah - Salalah	1755
Salalah - Jeddah	1644
Jeddah - Souda	1342
Souda - Estambul	1101
Estambul - Nápoles	1933
Nápoles - Málaga	1088
Málaga - Ferrol	780
<b>Total</b>	<b>28945</b>

**Tabla 7-4 Relación de millas navegadas en el período de misión.**

5. Relación de consumo de combustible total F-76 navegando a lo largo a lo largo de todo el período de misión.

<b>Navegaciones</b>	<b>Días</b>	<b>DDGG</b>	<b>MMPP</b>	<b>Total</b>	<b>Media DDGG</b>	<b>Media MMPP</b>	<b>Media total</b>
Graña - Rota	2	12300	43900	56200	6150	21950	28100
Rota - Souda	6	46900	101400	148300	7816,67	16900	24160,67
Souda - Djibouti	7	46100	118500	164600	6585,71	16928,57	23514,29
Djibouti - Doha	9	57200	184000	241200	6355,56	20444,44	26800
Doha - Salalah	13	85500	290400	375900	6576,92	22338,46	28915,38
Salalah - Seychelles	6	39200	153800	193000	6533,33	25633,33	32166,67
Seychelles - Dubai	14	97700	363500	461200	6978,57	25964,29	32942,86
Dubai - Salalah	9	64600	201400	266000	7177,78	22377,78	29555,56
Salalah - Salalah	7	46400	152200	198600	6628,57	21742,86	28371,43
Salalah - Jeddah	6	47800	131200	179000	7966,67	21866,67	29833,33
Jeddah - Souda	5	28900	78000	106900	5780	15600	21380
Souda - Estambul	5	31700	88700	120400	6340	17740	24080
Estambul - Nápoles	8	51400	126800	178200	6425	15850	22275
Nápoles - Málaga	4	22400	86100	108500	5600	51525	27125
Málaga - Ferrol	3	14900	96300	111200	4966,67	32100	37066,67
	104	693000	2216200	2909200	6663,46	21309,62	27973,08

**Tabla 7-5 Relación de consumo de combustible total F-76 navegando a lo largo de todo el período de misión.**

6. Relación de consumo de combustible total F-76 en puerto a lo largo de todo el período de misión.

<b>Puertos</b>	<b>Días</b>	<b>DDGG</b>	<b>MMPP</b>	<b>Total</b>	<b>Media DDGG</b>	<b>Temperaturas medias</b>
Graña	4	14400	0	14400	3600	8,4
Rota	1	3900	0	3900	3900	15,8
Souda	1	2300	0	2300	2300	17,2
Djibouti	5	20300	2000	22300	4060	26,8
Doha	6	22200	700	22900	3700	23,2
Salalah (I)	2	8700	0	8700	4350	27,7
Seychelles	7	28800	4600	33400	4114,29	30,4
Dubai	7	27800	0	27800	3971,43	29,5
Salalah (II)	2	9800	0	9800	4900	28,7
Salalah (III)	4	16200	0	16200	4050	28,7
Jeddah	1	3900	0	3900	3900	29,2
Souda	2	8800	0	8800	4400	22,7
Estambul	4	12200	0	12200	3050	22,5
Nápoles	3	11000	0	11000	3667,67	25
Málaga	4	14200	0	14200	3550	19,4
Ferrol	1	400	0	400	400	18,3
<b>Total</b>	<b>54</b>	<b>201900</b>	<b>7300</b>	<b>211200</b>	<b>3738,39</b>	<b>23,34</b>

Tabla 7-6 Relación de consumo de combustible total F-76 en puerto a lo largo de todo el período de misión.

7. Resumen resultados calculadora EEOI en las diferentes navegaciones.

<b>Navegaciones</b>	<b>Millas navegadas</b>	<b>Combustible Total (en litros)</b>	<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (en gramos)</b>	<b>EEOI modificado</b>	<b>Total consumido / Distancia navegada</b>	<b>Consumido propulsión / Distancia navegada</b>
Graña - Rota	585	56200	180402000	52,8	100,6	78,8
Rota - Souda	1842	148300	476043000	45,1	105,9	74,9
Souda - Djibouti	1739	164600	528366000	47,9	92,3	64,4
Djibouti - Doha	2414	241200	774252000	53,4	129,8	101,5
Doha - Salalah	3719	375900	230799000	58,6	108,9	88,8
Salalah - Seychelles	1940	193000	619530000	53,2	105,9	85,7
Seychelles - Dubai	4308	461200	584862000	51,6	95,6	72,4
Dubai - Salalah	2746	266000	853860000	51,8	96,6	72,9
Salalah - Salalah	1755	198600	242355000	64,0	118,8	95,4
Salalah - Jeddah	1644	179000	574590000	52,8	100,7	74,8
Jeddah - Souda	1342	106900	343149000	48,7	90,5	65,7
Souda - Estambul	1101	120400	386484000	58,0	109,6	81,6
Estambul - Nápoles	1933	178200	181686000	47,8	89,3	66,9
Nápoles - Málaga	1088	108500	348285000	53,3	101,0	80,3
Málaga - Ferrol	780	111200	356952000	76,3	147,5	127,9
<b>Total</b>	<b>28945</b>	<b>2909200</b>	<b>6681615000</b>	<b>54,35</b>	<b>106,2</b>	<b>82,13</b>

**Tabla 7-7 Resumen resultados calculadora EEOI en las diferentes navegaciones.**