



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*P-63 ARNOMENDI: análisis de mejoras aplicables a sistemas
energéticos embarcados*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Francisco Huertas Roldán

DIRECTORES: Miguel Ángel Álvarez Feijoo

Pedro Jesús Carrasco Pena

CURSO ACADÉMICO: 2021-2022

UniversidadeVigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*P-63 ARNOMENDI: análisis de mejoras aplicables a sistemas
energéticos embarcados*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

La evidente corroboración del impacto medioambiental de los combustibles fósiles, ha derivado en el estudio y mejora de la eficiencia energética de las plantas de propulsión. Los motores diésel marinos son uno de los sistemas más empleados en este cometido. Estos sistemas están sometidos a restricciones sobre emisiones recogidas en la normativa civil y militar.

El Patrullero de Altura “Arnomendi”, de uso conjunto de la Armada y de la Secretaría General de Pesca (SEGEPECA), tiene un sistema de propulsión consistente en un motor diésel de 3260 CV. Por sus labores de vigilancia y monitorización de la actividad pesquera, el buque necesita en muchas ocasiones internarse en zonas medioambientalmente protegidas. Por este motivo se plantea realizar un estudio sobre las mejoras que se pueden implementar sobre los sistemas embarcados.

Tras repasar la normativa que concierne a los buques y a las emisiones, se repasarán las opciones que más se utilizan en la actualidad para propulsar los barcos. Viendo sus diferencias, así como sus puntos fuertes y débiles. Con un análisis del régimen operacional habitual del barco es posible conocer el tipo de propulsión que mejor se ajusta a sus características.

También se expondrán otras modificaciones que, aunque de primeras tengan un origen más simplificado pueden terminar dando muy buenos resultados resultando ser la mejor opción aplicable.

PALABRAS CLAVE

Análisis, mejora de sistemas embarcados, normativa de aplicación, medioambiente y eficiencia energética.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el punto y final de un camino y al mismo tiempo es el inicio de otro. Es el final de un camino que comenzó mucho antes de ingresar en la Escuela Naval Militar. Si no fue fácil llegar hasta aquí tampoco lo han sido estos últimos años. Seguramente habría acabado llegando igual de haber realizado este camino solo, eso sí, con más penurias. Gracias a Dios no ha sido así.

De cada una de las personas que han influido en mi vida de todas las maneras he aprendido algo. De unos más y de otros menos, pero habéis sido vosotros los que habéis contribuido a que yo sea como soy y esté donde estoy. A todos vosotros gracias.

A los que seguí, invitaros a no marcharos, como dije al inicio de estas líneas también con este trabajo surge un nuevo comienzo. Sea como sea espero y rezo que aún quede mucho por conseguir. Familia y amigos, no hay tiempo de celebraciones, la siguiente carrera ya ha empezado.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y objetivos	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos del proyecto	1
1.3 Metodología	2
2 Estado del arte	3
2.1 Propulsión naval.....	3
2.1.1 Propulsión diésel.....	3
2.1.2 Propulsión diésel eléctrico	4
2.1.3 Propulsión por pila de combustible	4
2.1.4 Propulsión nuclear	5
2.1.5 Sistemas de propulsión combinada.....	6
2.2 Sistemas embarcados no relacionados con la propulsión	11
2.3 Normativa de emisiones.....	12
2.3.1 Convenio para prevenir la contaminación por los buques MARPOL 73/78	12
2.3.2 Energy Efficiency Design Index. (EEDI)	14
2.3.3 Ship Energy Efficiency Management Plan. (SEEMP)	15
2.3.4 Energy Efficiency Operational Indicator. (EEOI)	15
2.3.5 Gestión de Datos Sobre el Consumo de Combustible en Buques. (SRDCCB).....	16
2.3.6 Estándares de emisiones, NO _x	16
2.3.7 Normativa en puerto.	17
2.4 Zonas protegidas y reservas marinas en España	17
2.4.1 Reservas marinas de España	17
2.4.2 Zonas especialmente protegidas	17
2.4.3 Espacios naturales protegidos	18
3 Descripción de la plataforma.....	20
3.1 Descripción de la plataforma	20
3.2 Misión principal	21
3.3 Motor principal	22
3.4 Generador de cola	22
3.5 Generadores auxiliares	22
3.6 Generador de emergencia.....	23

3.7 Osmotizadores.....	23
3.8 Hélice de proa	24
3.9 Aire Acondicionado, ventilación y refrigeración.....	25
4 Análisis de las posibles actuaciones	27
4.1 Medios activos	28
4.1.1 Sustitución de motor	28
4.1.2 Yanmar 8EY26W	31
4.1.3 Wartsilä 8L26	32
4.1.4 Rolls Royce 12V 4000 M93	33
4.1.5 Mitsubishi S12U-MPTK.....	33
4.1.6 Comparación y evaluación de los motores	34
4.1.7 Propeller Boss Cap Fins (PBCF)	35
4.1.8 Empleo de energías renovables en equipos auxiliares.....	37
4.2 Medios pasivos.....	40
4.2.1 Emulsión del combustible.....	40
4.2.2 Cálculo de EEOI	44
5 Conclusiones y líneas futuras	47
5.1 Conclusiones	47
5.2 Líneas de mejora futuras	47
5.2.1 Diseño del bulbo	48
5.2.2 Sistema Integrado de Control de Plataforma (SICP)	48
5.2.3 Sistema de extinción por agua nebulizada.....	49
6 Bibliografía.....	50
Anexo I: Planos	53
Anexo II: Manuales de los motores.....	57
Anexo III: Fuel marino F-76	57
Anexo IV: Heilscher Ultrasonic	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Línea a seguir. Elaboración propia.	2
Figura 2-1 Esquema Motor Diésel [49].	4
Figura 2-2. Esquema propulsión diésel-eléctrica [7].	4
Figura 2-3. Sistema de propulsión de pilas de hidrógeno [54].	5
Figura 2-4. Esquema propulsión nuclear mediante agua presurizada [11].	5
Figura 2-5. Usos más frecuentes de la propulsión combinada [12].	6
Figura 2-6 Esquema Sistema COGAG [7].	7
Figura 2-7. Esquema sistema CODOG [7].	7
Figura 2-8. Esquema sistema CODAG [7].	8
Figura 2-9. Sistema COGOG [7].	8
Figura 2-10. Esquema sistema CODAD [7].	9
Figura 2-11. BAM "AUDAZ" [64].	10
Figura 2-12. Esquema sistema CODLAG [55].	11
Figura 2-13 MARPOL [56].	13
Figura 2-14. Predicción de los valores de EEDI en función del tonelaje en peso muerto [61].	14
Figura 2-15 Mapa Reservas Marinas [24].	17
Figura 2-16 Espacios Naturales Protegidos en España [58].	18
Figura 3-1. PA "Arnomendi" en el muelle de La Graña. Elaboración propia.	20
Figura 3-2 Plano planta y alzado.	21
Figura 3-3. Representación de la cámara de máquinas. Elaboración propia, (Anexo 1).	22
Figura 3-4. Diagrama funcionamiento planta de ósmosis [62]	23
Figura 3-5. Diagrama funcionamiento planta de ósmosis [62].	23
Figura 3-6. Diagrama funcionamiento planta de ósmosis [62]	23
Figura 3-7. Ubicación Generador de Emergencia. Elaboración propia.	23
Figura 3-8. Diagrama funcionamiento planta de ósmosis [62].	24
Figura 3-9. Representación hélice de proa.	24
Figura 4-1. Árbol de medidas. Elaboración propia.	27
Figura 4-2. Días navegados en los últimos 8 años. Elaboración propia.	28
Figura 4-3. Diagrama del régimen de operación en tanto por ciento (%). Elaboración propia.	29
Figura 4-4. Consumos en 15 días del Mak tipo 8M-25. Elaboración propia.	30
Figura 4-5. Motor Yanmar 8EY26W [33].	31
Figura 4-6. Dimensiones del motor 8EY26W.	31
Figura 4-7. Wartsilä 8L26W [34].	32
Figura 4-8. Dimensiones del motor 8L26W.	32
Figura 4-9. Rolls Royce 12V 4000 M93 [71].	33

Figura 4-10. Dimensiones del motor 12V 4000 M93.	33
Figura 4-11. Motor S12U-MPTK [72].	33
Figura 4-12. Dimensiones del motor S12U-MPTK.	34
Figura 4-13. Relación de consumos. Elaboración propia.	34
Figura 4-14. Hélice con dispositivo PBCF [36].	36
Figura 4-15. Relación de ahorro con PBCF. Elaboración propia.	37
Figura 4-16. Aerogenerador eléctrico de 3kW [68].	38
Figura 4-17. Espacio total. Elaboración propia (Anexo 1).	39
Figura 4-18. Espacio útil. Elaboración propia (Anexo 1).	39
Figura 4-19. Disposición de las placas. Elaboración propia (Anexo 1).	40
Figura 4-21. Emisiones en una combustión convencional [64].	41
Figura 4-22. Esquema combustión con emulsión [70].	41
Figura 4-23. Esquema de ventajas de la emulsión. Elaboración propia.	42
Figura 4-24. Equipo UIP2000hdt [73].	43
Figura 4-25. Relación de EEOI. Elaboración propia.	45
Figura 5-1. Diferencias entre un bulbo convencional (negro) y uno mejorado (rojo) [67].	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de emisiones.....	11
Tabla 2. Niveles de control de NO _x . Elaboración propia con datos de [20].....	16
Tabla 3. Matriz de decisiones para el motor. Elaboración propia.	30
Tabla 4. Tabla de decisión del motor. Elaboración propia.....	35
Tabla 5. Comparativa de la emulsión. Elaboración propia.	44

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

En este trabajo se busca exponer y analizar las posibles mejoras que se pueden implantar sobre los equipos y sistemas que hay embarcados. Por medio del estudio de la normativa y los tipos de propulsión se podrá llegar a unas alternativas más acertadas. Este estudio se va a realizar sobre el patrullero P-63 “Arnomendi” de la clase “Chilreu”. La clase y los cometidos del barco son claves para definir los equipos con los que cuente de cara a cumplir sus propósitos. Este buque forma parte de la Fuerza de Acción Marítima de la Armada y entre sus tareas se destacan:

1. Proteger los intereses marítimos nacionales y contribuir a que se conserve la paz y la seguridad de las aguas nacionales. Ejerciendo el control del espacio marítimo, efectuando operaciones de búsqueda y salvamento, proporcionando presencia naval en zonas distantes durante periodos prolongados y sirviendo de plataforma para operaciones especiales y para campañas científicas.
2. Como consecuencia directa de los acuerdos establecidos con la Secretaria General de Pesca tiene como misión fundamental la vigilancia, inspección y apoyo a la flota pesquera tanto en las pesquerías internacionales como en los caladeros nacionales.

Conocer cómo trabaja el barco será clave para estudiar una posible sustitución del motor. Existen también otras alternativas como la instalación de distintos dispositivos que permiten mejorar la eficiencia del buque. Se buscarán todas las mejoras que puedan significar una mayor eficiencia energética, para lograr la menor cantidad de emisiones contaminantes posibles

1.2 Objetivos del proyecto

El principal objetivo de este trabajo de fin de grado es realizar un análisis de posibles mejoras en los sistemas energéticos embarcados en el P-63 “Arnomendi” que permitan mejorar la eficiencia energética de este buque. Para conseguir dicho objetivo se han planteado unos objetivos secundarios:

1. Estudio bibliográfico que permita realizar un estado del arte actualizado.
2. Presentación de la plataforma con sus sistemas de mayor demanda energética y realización de una base de datos.
3. Cálculos de instalación, evaluación económica.
4. Estudio de las posibilidades de mejora.

5. Conclusiones.

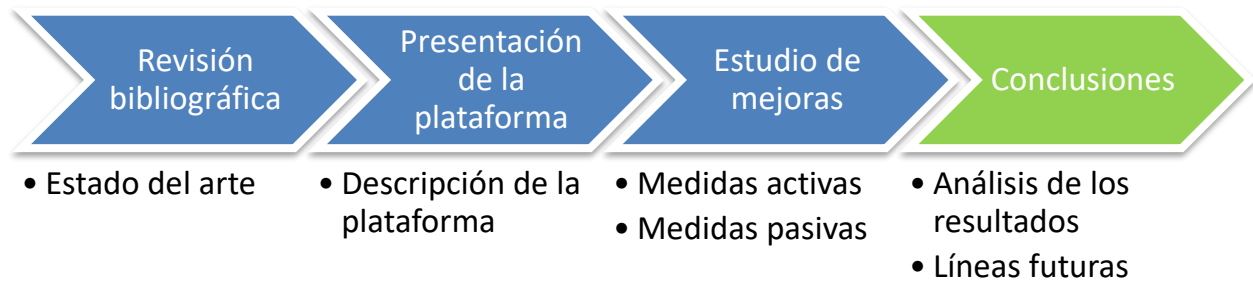


Figura 1-1. Línea a seguir. Elaboración propia.

1.3 Metodología

En este apartado se describe como se ha organizado y desarrollado el siguiente proyecto. Se ha dividido en cinco partes:

1. Introducción y objetivos. Expone el proyecto, la motivación y la estructura seguida.
2. Estado del arte. Aquí se expone la información recabada durante la investigación y previa a la redacción del trabajo. Se expone la información de los tipos de propulsión naval, los sistemas que dan soporte a los buques y la normativa que rige estos equipos y su uso en diferentes zonas.
3. Descripción de la plataforma. Como indica el título nos presenta la plataforma sobre la cual se ha realizado la investigación. Se describe su misión y los equipos y sistemas que lo componen.
4. Análisis de las posibles actuaciones. Se dividen en dos vías de actuación y se desarrollan las posibles medidas a llevar cabo.
5. Conclusiones y líneas futuras. Con ellas se cierra el TFG y son con las que se pretende obtener elementos de estudio futuro y fundamentos que permitan el desarrollo futuro de esta línea de estudio que se abre con el trabajo.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Propulsión naval

El transporte marítimo representa cerca del 90% de todo el comercio mundial de mercancías. Es el sistema de transporte más eficiente y rentable a nivel internacional y del mismo modo es uno de los más seguros. Permite enviar grandes cantidades de mercancías con un coste muy reducido. Este coste viene derivado del tipo propulsión que utilizan los grandes buques portacontenedores: motor diésel. La inmensa mayoría de los barcos trabajan con fuelóleos pesados, que al estar poco refinados tienen el inconveniente de presentar gran cantidad de sustancias contaminantes como pueden ser: cenizas y azufres que den lugar a óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxidos de carbono. Todo ello en un entorno cada vez más concienciado en el control de las emisiones. Son muchas las normativas vigentes referidas al control de las emisiones por parte de los barcos. Y cada vez son más las zonas restringidas a los barcos que no cumplan los estándares establecidos [1], [2].

A continuación, se expondrán los sistemas de propulsión más frecuentes en la flota mercante, pesquera y de guerra. Conociendo todas las opciones y sus correspondientes ventajas y desventajas se podrá plantear una solución u otra.

2.1.1 Propulsión diésel

La propulsión de los buques utilizando motores diésel es a día de hoy sin lugar a dudas la solución más extendida y generalizada [3]. Los motores diésel (Figura 2-1 Esquema Motor Diésel .

) son los más utilizados cuando se requieren grandes potencias. Los motores lentos trabajan hasta un máximo de 240 rpm, sin embargo, su régimen normal de trabajo ronda en torno a 90 rpm o menos. El hecho de que la salida del motor vaya a pocas revoluciones permite que este vaya directamente unido al eje de cola sin la necesidad de engranajes reductores, al no haber reductora la hélice giraría a las mismas revoluciones por minuto que el motor [3].

Una de las principales ventajas que aportan este tipo de motores es su fiabilidad. En contraposición con los motores de gasolina que tienen de sistemas de encendido (bujías, bobinas... etc.). Al trabajar en

regímenes de revoluciones menores que los motores de gasolina sufren mucho menor desgaste. Además del hecho de que el diésel es cerca de un 30% más eficiente que un motor de gasolina [3], [4], [5].

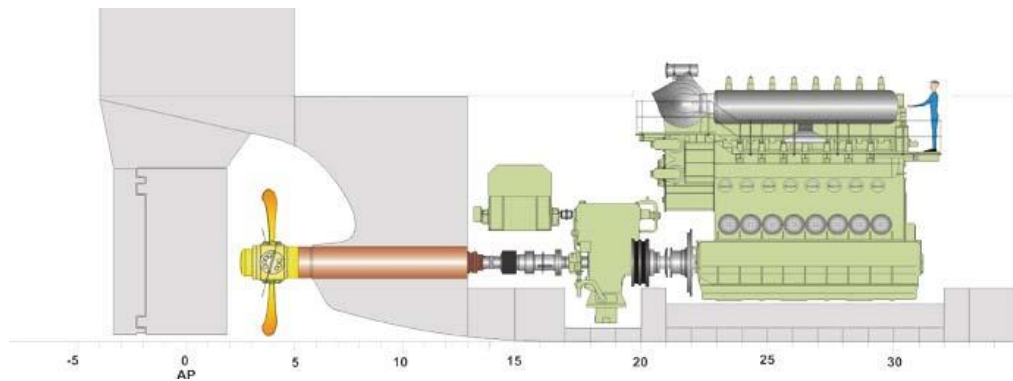


Figura 2-1 Esquema Motor Diésel [49].

2.1.2 Propulsión diésel eléctrico

La propulsión diésel-eléctrica consiste en el uso combinado de diésel generadores que provean de la energía eléctrica que necesitan los motores (Figura 2-2). Estos generadores deben abastecer del mismo modo el consumo eléctrico del resto de sistemas del buque. Con ellos se obtiene la alta eficiencia de los motores eléctricos y su rápida capacidad de respuesta. La propulsión eléctrica es ideal para trabajar a regímenes de velocidades bajas y medias [6].

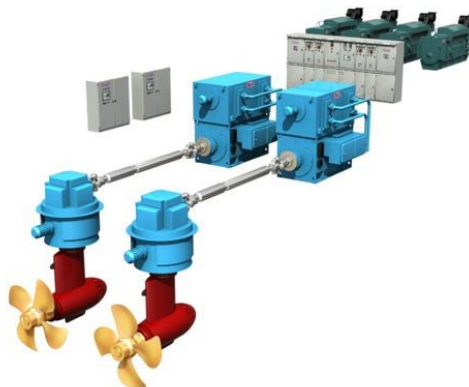


Figura 2-2. Esquema propulsión diésel-eléctrica [7].

2.1.3 Propulsión por pila de combustible

El sistema de propulsión mediante pila de combustible utiliza el hidrógeno como combustible principal. Este se comprime y almacena en el barco y se hace pasar a través de la pila. De este modo se genera electricidad en el interior de la pila sin la necesidad de hacer una combustión. Es un proceso totalmente libre de residuos y se ha convertido en una muy importante alternativa de propulsión naval. El hidrógeno en contraposición con otros combustibles ocupa un volumen mucho mayor tanto en estado líquido como gaseoso, por lo que necesita de mayores depósitos (ver Figura 2-3). Es este su mayor inconveniente hoy en día, la cantidad de espacio necesaria para los tanques y los compartimentos de las pilas y las baterías. Todos ellos reducen en gran medida la capacidad de carga del buque [7], [8], [9].

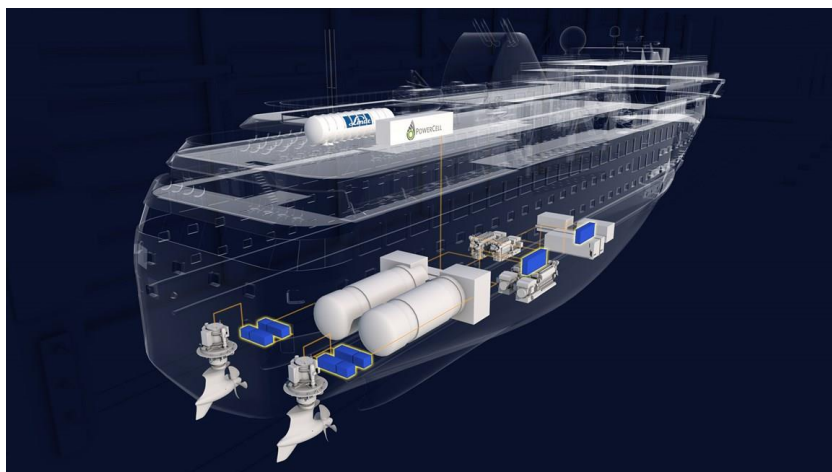


Figura 2-3. Sistema de propulsión de pilas de hidrógeno [54].

2.1.4 Propulsión nuclear

Este tipo de propulsión está ganando popularidad en la industria marítima. Los barcos con propulsión nuclear utilizan motores atómicos, tienen bajos costes de combustibles y una larga vida. Estos motores se basan en un proceso de fisión nuclear utilizado para calentar agua, el vapor generado se utiliza para generar electricidad por medio de turbinas (ver Figura 2-4). El sistema de producción de electricidad es el mismo que el utilizado en los reactores nucleares de las centrales eléctricas. Hoy en día la mayoría de los buques que utilizan este tipo de propulsión son buques de guerra, aunque también se ha utilizado en buques civiles o de uso gubernamental como rompehielos y en algunos portacontenedores.

La principal ventaja de la propulsión nuclear es que en un escenario con escasez de combustible la cantidad de energía que producen frente al poco combustible que consumen es inmensa. A su vez el reabastecimiento de un buque de propulsión nuclear puede ser mensual. En contraposición se tiene la catástrofe medioambiental que originaría un accidente de un buque de estas características [10], [11].

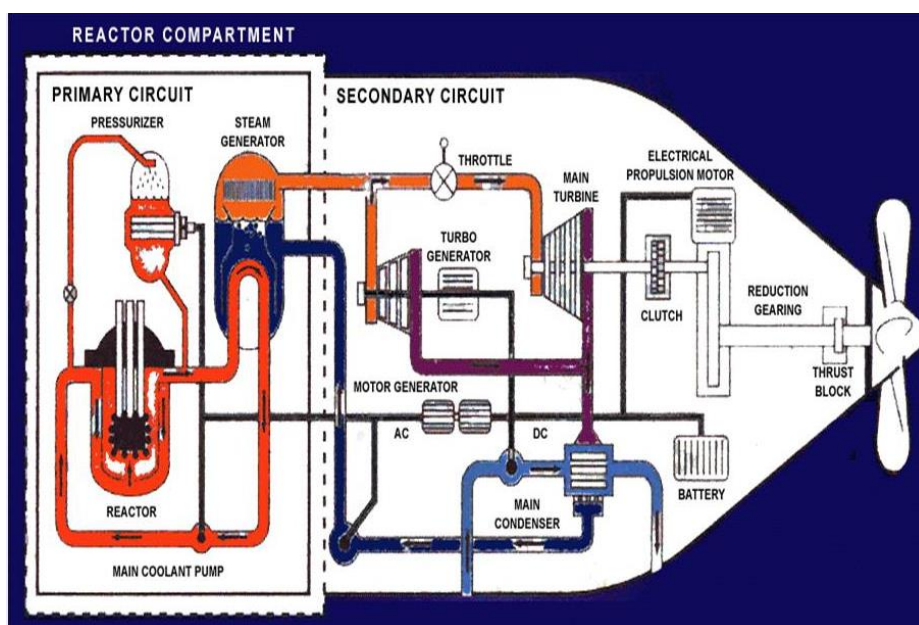


Figura 2-4. Esquema propulsión nuclear mediante agua presurizada [11].

2.1.5 Sistemas de propulsión combinada

Estos sistemas suelen estar presentes en plataformas que requieran de regímenes de uso muy diferentes. Velocidades de crucero y altos picos de velocidad de forma puntual o sostenida en un tiempo de reacción relativamente corto. Se pueden encontrar en la mayoría de los buques de guerra. Se desarrollarán a continuación los sistemas combinados que instalan principalmente en buques de guerra.

En la Figura 2-5, se puede observar qué sistemas de propulsión combinada son más utilizados en según qué plataforma.

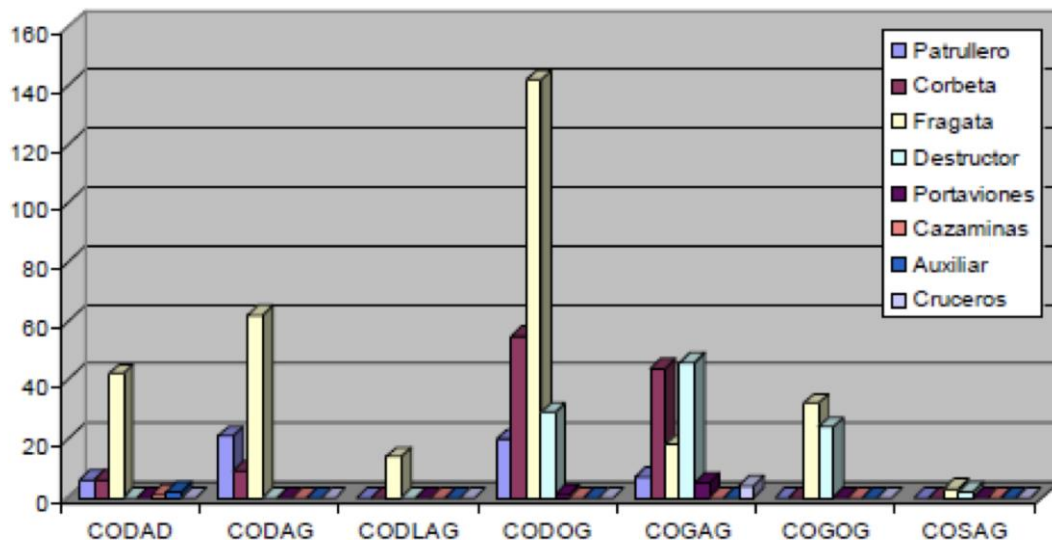


Figura 2-5. Usos más frecuentes de la propulsión combinada [12].

- Combinado gas y gas, COGAG

La combinación de turbinas de gas (COGAG, Figura 2-6) es un tipo de sistema de propulsión para buques que utiliza dos turbinas de gas conectadas a un único eje de hélice. Una caja de cambios y unos embragues permiten que cualquiera de las turbinas accione el eje o las dos combinadas.

El uso de una o dos turbinas de gas tiene la ventaja de poder disponer de dos ajustes de potencia diferentes. Dado que la eficiencia de una turbina de gas es mejor cerca de su nivel de potencia máxima, una pequeña turbina de gas funcionando a su máxima potencia es más eficiente en comparación con una turbina dos veces más potente que funciona a media potencia. La posibilidad de tener turbinas de distinto tamaño permite un tránsito más económico a velocidades de crucero.

En comparación con los sistemas combinados de gas y diésel (CODAG) o los sistemas combinados de gas y diésel (CODOG), los sistemas COGAG tienen una huella más pequeña, pero una eficiencia de combustible mucho menor a velocidad de crucero y, en el caso de los sistemas CODAG, también es algo menor para los tramos de alta velocidad [12], [8], [7].

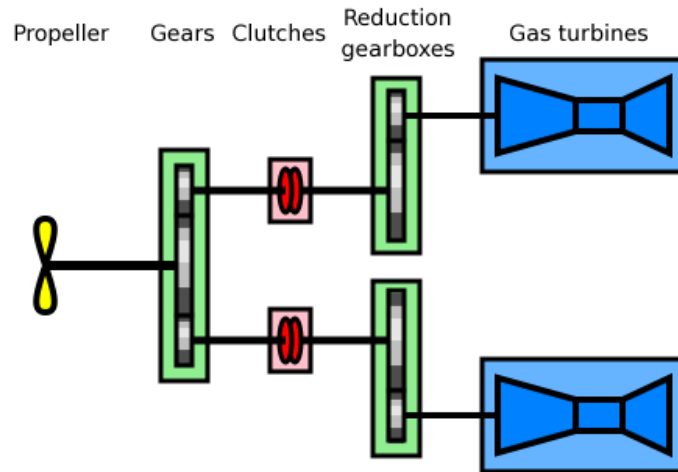


Figura 2-6 Esquema Sistema COGAG [7].

- Combinado diésel o gas, CODOG

El sistema de propulsión combinado de gas o diésel (CODOG, Figura 2-7) es un tipo de sistema de propulsión para buques que necesitan una velocidad máxima considerablemente mayor que su velocidad de crucero, especialmente los buques de guerra como las fragatas o corbetas modernas.

Por cada eje de la hélice hay un motor diésel para la velocidad de crucero y una turbina de gas con engranajes para los desplazamientos a alta velocidad. Ambos están conectados al eje con embragues; sólo un sistema impulsa el buque, en contraste con los sistemas CODAG que pueden utilizar la potencia combinada de ambos. La ventaja del CODOG es un engranaje más sencillo en comparación con el CODAG, pero necesita turbinas de gas más potentes o adicionales para alcanzar la misma potencia máxima. La desventaja del CODOG es que el consumo de combustible a alta velocidad es pobre en comparación con el CODAG [12], [13].

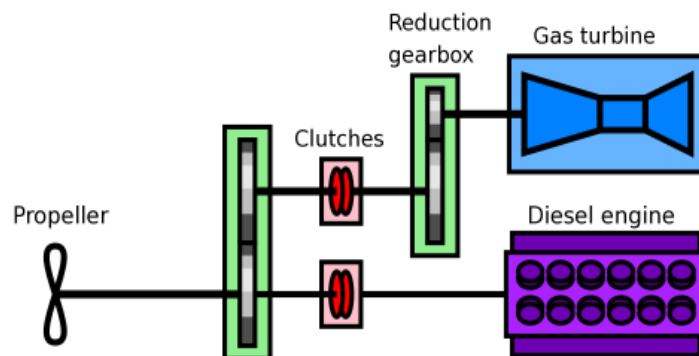


Figura 2-7. Esquema sistema CODOG [7].

- Combinado diésel y gas, CODAG

El sistema combinado de gas y diésel (CODAG) es un tipo de propulsión para los buques que necesitan una velocidad máxima considerablemente superior a la de crucero, especialmente los buques de guerra como las fragatas (Figura 2-8) o corbetas modernas.

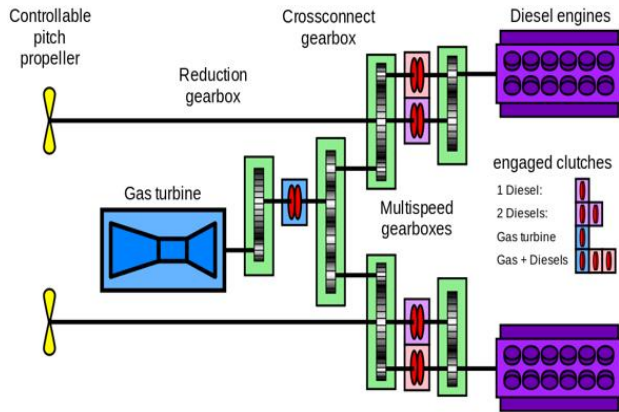


Figura 2-8. Esquema sistema CODAG [7].

Un sistema CODAG está formado por dos motores diésel para la navegación de crucero y de una turbina de gas que puede conectarse para los tránsitos de alta velocidad. En la mayoría de los casos, la diferencia de potencia entre los motores diésel solos y la potencia combinada de diésel y turbina es demasiado grande para que las hélices de paso controlable puedan limitar las rotaciones, de modo que el diésel no puede seguir funcionando sin cambiar las relaciones de sus transmisiones. Por ello, se necesitan cajas de cambios especiales de varias velocidades. Este sistema es el que montan las fragatas de la clase F-100 [7], [13].

- Combinado gas o gas, COGOG

El gas combinado o gas (COGOG, Figura 2-9) es un sistema de propulsión para buques que utiliza motores de turbina de gas. Se utiliza una turbina de alto rendimiento y baja potencia para las velocidades de crucero y una turbina de alta potencia para las operaciones de alta velocidad. Un embrague permite seleccionar cualquiera de las dos turbinas, pero no hay caja de cambios que permita el funcionamiento de ambas turbinas a la vez. Esto tiene la ventaja de no requerir cajas de cambios pesadas, caras y potencialmente poco fiables [13].

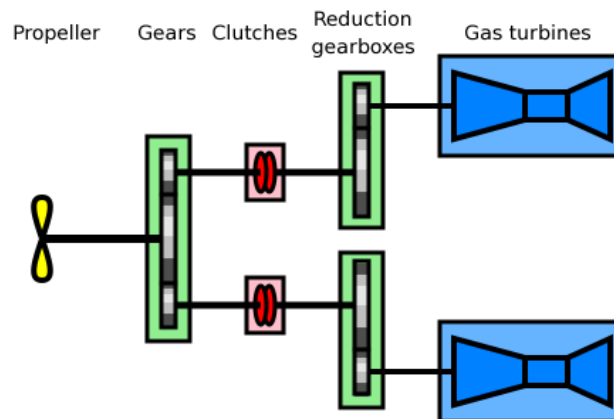


Figura 2-9. Sistema COGOG [7].

La razón por la que se utiliza una turbina más pequeña para la navegación de crucero es que una turbina pequeña funciona al 100% de su potencia es más eficiente en cuanto al combustible frente a una turbina que funcione al 50% de la potencia [8].

- Combinado diésel y diésel, CODAD

La combinación de motores diésel y diésel (CODAD, Figura 2-10) es un sistema de propulsión para buques que utiliza dos motores diésel para impulsar un único eje de hélice. Una caja de cambios y embragues permiten que cualesquiera de los motores o ambos juntos impulsen el eje. Dos ventajas respecto a la utilización de un solo motor diésel más grande con la misma potencia total son en primer lugar que los motores diésel tienen un consumo específico de combustible algo mejor con una potencia máxima del 75% al 85% que con una potencia de sólo el 50%, y en segundo lugar que hay una ventaja de peso y tamaño al utilizar dos motores de mayor velocidad en comparación con un solo motor de menor velocidad, incluso con el sistema de caja de cambios ligeramente más grande [7], [6], [5].

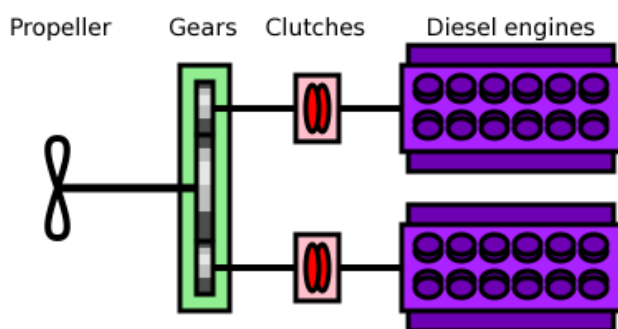


Figura 2-10. Esquema sistema CODAD [7].

- Combinado diésel o eléctrico, CODOE

El CODOE (Diésel o Eléctrico) es un sistema de propulsión naval en el que motores eléctricos y motores diésel actúan sobre un único árbol de hélice. El sistema de transmisión se encarga de conectar uno de los motores que actúe sobre el eje de la hélice, no pudiendo hacerlo de forma simultánea.

Se basa en el uso de un motor eléctrico alimentado por diésel generadores con el uso de motores diésel marinos convencionales. Los motores diésel de este tipo de plantas poseen potencia suficiente para cubrir la mayor parte del rango de velocidades requeridas. Instalar los motores eléctricos permite tener cámaras de máquinas más simples, con un consumo menor de combustible, menos peso en el sistema de propulsión y un sistema de reductoras más simple [6], [7].

Para navegaciones a baja velocidad es más eficiente el uso de los motores eléctricos. Este sistema es el que montan en la actualidad los Buques de Acción Marítima (BAM, Figura 2-11).



Figura 2-11. BAM "AUDAZ" [64].

- Combinado diésel-eléctrico y diésel, CODLAD

El CODLAD (Diésel-Eléctrico y Diésel Combinado) es un sistema de propulsión naval en el que un motor eléctrico y un motor diésel actúan sobre un mismo eje de hélice. El sistema de transmisión se encarga de combinar la acción simultánea o alterna de los motores que actúen sobre el eje de la hélice.

Se basa en el uso de motores eléctricos conectados directamente a los ejes (generalmente dos) de las hélices. Los motores eléctricos son alimentados por generadores diésel y para disponer de mayores velocidades, se introduce el motor diésel de mayor potencia que se desconecta del sistema de transmisión para volver a la velocidad de crucero.

Este sistema que utiliza los motores diésel tanto para la propulsión como para la producción de electricidad para los servicios de a bordo reduce considerablemente los costes, ya que disminuye el número de motores diésel para los distintos servicios del buque y los motores eléctricos necesitan menos mantenimiento. Además, como los motores eléctricos pueden trabajar más eficazmente en un mayor número de revoluciones, y al estar conectados directamente al eje de la hélice, los sistemas de transmisión para acoplar y desacoplar los sistemas diésel-eléctricos con los motores diésel suelen tener mayores velocidades [8].

- Combinado diésel-eléctrico y gas, CODLAG

El sistema combinado diésel-eléctrico y gas (CODLAG, Figura 2-12) emplea motores eléctricos que se conectan a los ejes de las hélices (normalmente 2). Los motores son alimentados por generadores diésel. Para velocidades más altas, una turbina de gas alimenta los ejes a través de una caja de cambios de conexión cruzada; para la velocidad de crucero, el tren de transmisión de la turbina se desacopla con embragues.

Esta disposición combina los motores diésel utilizados para la propulsión y para la generación de energía eléctrica, lo que reduce en gran medida el coste de servicio, ya que reduce el número de motores diésel y eléctricos diferentes, que requieren un mantenimiento considerablemente menor. Además, los motores eléctricos funcionan eficazmente en una amplia gama de revoluciones y pueden conectarse directamente al eje de la hélice, por lo que pueden utilizarse cajas de cambios más sencillas para combinar la salida mecánica de los sistemas de turbina y diésel-eléctrico [8].

Otra ventaja de la transmisión diésel-eléctrica es que, sin necesidad de una conexión mecánica, los generadores diésel pueden desacoplarse acústicamente del casco del buque, lo que los hace menos ruidosos. Esto se ha utilizado mucho en los submarinos militares, pero los buques navales de superficie, como los antisubmarinos, también se beneficiarían.

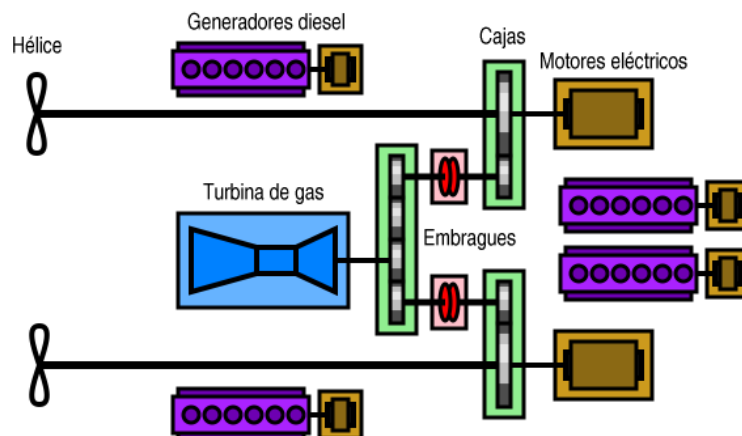


Figura 2-12. Esquema sistema CODLAG [55].

El uso combinado de distintos tipos de propulsión proporciona a los buques plantas mucho más eficientes al emplear cada tipo de propulsión en sus condiciones óptimas de trabajo. Reduce de igual modo el riesgo de averías al simplificar las cámaras de máquinas. Por último, permite un mayor uso de tecnologías eléctricas, lo que se traduce en una reducción de las emisiones. En la Tabla 1 se comparan las emisiones, consumos y prestaciones de los motores expuestos [14], [12], [13], [5], [8].

Tabla 1. Comparación de emisiones.

	Emisión de CO ₂	Emisión de NO _x	Emisión de SO _x	Consumo	Prestaciones
Diésel	Alta	Alta	Alta	Medio	Medias
Diésel-eléctrica	Media	Media	Media	Bajo	Altas
CODAG	Media	Media	Baja	Bajo	Altas
Nuclear	Nula	Nula	Nula	Bajo	Muy altas
Turbinas	Baja	Nula	Media	Medio	Altas

2.2 Sistemas embarcados no relacionados con la propulsión

En este apartado se comentarán los sistemas embarcados que por no estar relacionados con la propulsión no son menos importantes. De hecho, el correcto funcionamiento de estos sistemas llevará al buque a operar en condiciones óptimas de habitabilidad y con la toda la capacidad operativa que el resto de equipos le permita. Una caída de ellos puede dejar al buque completamente a merced del mar. Se hablará por tanto de aquellos sistemas de producción de energía eléctrica y de los sistemas auxiliares.

- Sistemas de generación de electricidad.

El sistema eléctrico en los buques es de vital importancia, sin esta instalación el buque no sería capaz de desempeñar en la mar todas sus acciones. Hasta el último de los sistemas mecánicos tiene una componente eléctrica o necesita de una: motor de arranque, precalentadores para el combustible, control de inyección, equipos de navegación, alumbrado, habitabilidad y un largo etc. Los buques tienen principalmente un equipo que suministra energía a todo.

- Sistemas auxiliares.

Los sistemas auxiliares en los barcos se refieren principalmente a los motores o generadores auxiliares, motores de 4 tiempos que generan energía eléctrica para consumo a bordo. Para mantener el suministro eléctrico y darle mayor flexibilidad a la plataforma facilitando mantenimientos o a razón de una mayor demanda del buque, suelen disponer de dos generadores diésel. Estos pueden trabajar en paralelo al principal o de forma independiente. A mayores para evitar un “black out”, una caída total del suministro eléctrico con la correspondiente pérdida e inoperatividad de multitud de equipos, los buques suelen tener un pequeño generador de emergencia. Este no es capaz de alimentar todo el barco, pero sí de dar soporte a aquellos equipos imprescindibles para garantizar una navegación segura. También se refiere a otros equipos que apoyan a otros como los compresores de aire, las separadoras de las sentinas o depuradoras [15]. Se incluyen de igual modo aquellos que mejoran la habitabilidad a bordo, como los sistemas de ventilación, aire acondicionado y calefacción.

2.3 Normativa de emisiones

No se puede hablar de motores y de sistemas de propulsión alternativos sin analizar el impacto que estos tienen o pueden tener sobre el medio ambiente. Para ello se crea la normativa referida a la cantidad de las emisiones de cada tipo que se pueden emitir en cada determinada zona.

Para hablar de las normativas de emisiones hay que remontarse a principios del siglo XX dónde con el avance de la revolución industrial, el auge de los automóviles, la demanda de hidrocarburos y de tráfico marítimo a nivel mundial comenzó a crecer considerablemente. El hecho de que en cerca de 20 años tuvieron lugar dos Guerras Mundiales terminó de potenciar tanto el transporte marítimo como la industria naval. El nacimiento de los U-boats, los grandes cruceros y destructores y la gran cantidad de convoyes de mercancías que fueron necesarios para abastecer a las tropas en Europa de municiones, ropa y comida significaron millones de toneladas de metal cruzando los mares. Todos estos buques eran propulsados por diésel marino [16], [17].

Las extracciones de petróleo en Oriente Medio y en los países del Golfo Pérsico influyen directamente en el tamaño y el número de los buques tanque. Todo esto desembocó en la Conferencia Diplomática que aprobó el denominado Convenio OILPOL 1954. De esta Conferencia nace la predecesora de la actual Organización Marítima Internacional (OMI). Esta decidió crear una nueva normativa que recogiera los conceptos de la OILPOL pero que tuviera un ámbito mayor de aplicación: El Convenio MARPOL 73. Dentro del Convenio se encuentran las medidas adoptadas para disminuir las emisiones, como son el EEDI, SEEMP, EEOI y el SRDCCB que se desarrollan a continuación [17].

A continuación, se desarrollarán las medidas, normativa y reglas que deben cumplir los barcos para tener un menor impacto medio ambiental.

2.3.1 Convenio para prevenir la contaminación por los buques MARPOL 73/78

El convenio MARPOL (Maritime Policy) se adoptó el 2 de noviembre de 1973 en la OMI. El Protocolo de 1978 se adoptó en respuesta a una serie de accidentes de petroleros en 1976-1977. Como el convenio MARPOL de 1973 aún no había entrado en vigor, el protocolo MARPOL de 1978 absorbió el Convenio matriz. El instrumento combinado entró en vigor el 2 de octubre de 1983. En 1997, se adoptó un protocolo para modificar el convenio y se añadió un nuevo (Anexo VI) que entró en vigor el 19 de mayo de 2005. El MARPOL se ha ido actualizando con enmiendas a lo largo de los años.

El Convenio incluye normas destinadas a prevenir y minimizar la contaminación de los buques (tanto la accidental como la derivada de las operaciones rutinarias) y actualmente incluye seis anexos técnicos. En la mayoría de los anexos se incluyen zonas especiales con controles estrictos de las descargas operativas. El conjunto de normas y limitaciones son de obligado cumplimiento para todo tipo de buques con las limitaciones con respecto al tonelaje, potencia de motor y año de construcción [18].



Figura 2-13 MARPOL [56].

Relación de los anexos que conforman el Convenio MARPOL.

1. Anexo 1: Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos.

Trata sobre la prevención de la contaminación producida por hidrocarburos a partir de medidas operativas y de vertidos accidentales; las modificaciones del Anexo I de 1992 obligan entre otras medidas a que los nuevos petroleros tuvieran doble casco e introdujeron un calendario de introducción para que los petroleros existentes se equiparan con doble casco, que fue revisado posteriormente en 2001 y 2003 [18].

2. Anexo 2: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel.

Detalla los criterios acerca del vertido y las medidas de control de la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel. Para ello se evaluaron unas 250 sustancias y se incluyeron en la lista anexa al convenio.

En cualquier caso, no se permite el vertido de residuos que contengan sustancias nocivas a menos de 12 millas de la tierra más cercana [18].

3. Anexo 3: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos.

Contiene los requisitos generales para la expedición de normas detalladas sobre embalaje, marcado, etiquetado, documentación, estiba, limitaciones de cantidad, excepciones y notificaciones.

A los efectos de este anexo, las "sustancias nocivas" son aquellas que se identifican como contaminantes marinos en el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (Código IMDG) o que cumplen los criterios del apéndice del anexo III [18].

4. Anexo 4: Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques.

Contiene requisitos para controlar la contaminación del mar debido al vertido de aguas residuales; se prohíbe por tanto la descarga de aguas residuales en el mar, excepto cuando el buque tenga en funcionamiento una planta de tratamiento de aguas residuales aprobada o cuando el buque descargue aguas residuales trituradas y desinfectadas utilizando un sistema aprobado a una distancia de más de tres

millas náuticas de la tierra más cercana. Las aguas residuales que no estén trituradas o desinfectadas deben descargarse a una distancia de más de 12 millas náuticas de la tierra más cercana [18].

5. Anexo 5: Reglas para prevenir la contaminación por las basuras de los buques.

Trata de los diferentes tipos de basura y especifica las distancias de tierra y la forma en que pueden eliminarse. La característica más importante de este anexo es la prohibición total impuesta a la eliminación en el mar de todas las formas de plástico [18].

6. Anexo 6: Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques.

Establece los límites a las emisiones de óxido de azufre y óxido de nitrógeno de los tubos de escape de los buques y prohíbe las emisiones deliberadas de sustancias que destruyan la capa de ozono. Las zonas de control de emisiones asignadas establecen normas más estrictas para el SO_x, el NO_x y las partículas. Un capítulo adoptado en 2011 cubre las medidas obligatorias de eficiencia energética técnica y operativa destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los buques [18].

2.3.2 Energy Efficiency Design Index. (EEDI)

El Índice de diseño de eficiencia energética (EEDI) es el valor de dióxido de carbono por milla de capacidad del buque expresado en gramos, cuanto menor sea el valor más eficiente será el buque. En el año 2011 pasó a ser obligatorio para los buques de nueva construcción. Es la medida más importante llevada a cabo, su objetivo es la implantación de sistemas y maquinaria más eficientes. Cada nuevo proyecto de construcción debe adecuarse al nivel de referencia para ese tipo de buque, el nivel de referencia irá ajustándose cada cinco años. Una vez hayan alcanzado el nivel de referencia que se les exija los proyectistas son libres de elegir las soluciones que crean más convenientes para su buque.

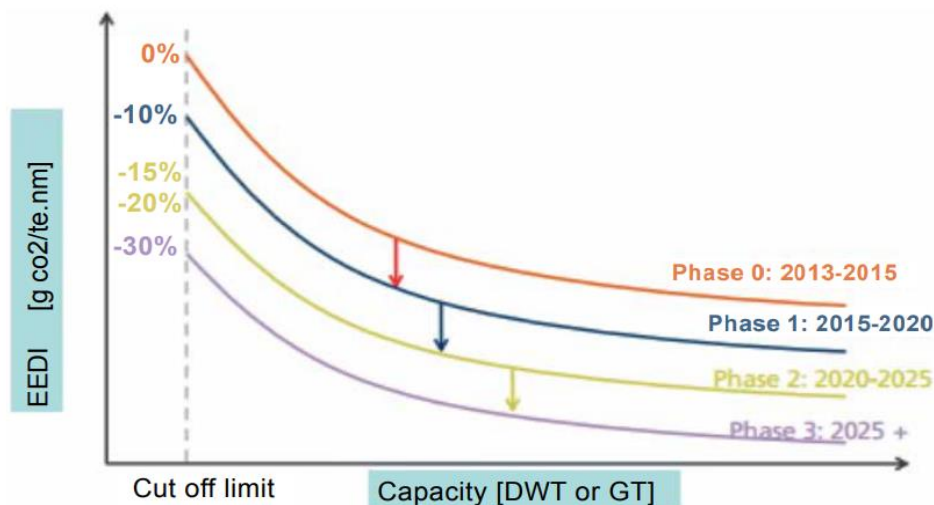


Figura 2-14. Predicción de los valores de EEDI en función del tonelaje en peso muerto [61].

Como se puede observar en la Figura 2-14, en la primera fase se estableció un valor de reducción de dióxido de carbono del 10%, cada cinco años irá ajustándose al ritmo de los avances tecnológicos en lo referido a medidas de eficiencia y reducción. Para el año 2025 está prevista una reducción del 30%. Tras el acuerdo aprobado en 2014, esta normativa no sólo se aplicará a los grandes petroleros, graneleros y demás buques de carga de materias primas, alimentos y productos, sino que se aplicará del mismo modo a los buques de transporte de carga rodada y de pasaje. De esta manera estarían bajo la normativa todos los tipos de buques responsables de cerca del 85% de las emisiones de dióxido de carbono ocasionadas por el transporte marítimo [19].

Para el cálculo del EEDI hay que seguir la siguiente fórmula:

$$EEDI = \frac{EMP + EMA + TEEA - TEEP}{VTR}$$

Dónde los elementos son:

EEDI	Índice de Eficiencia Energética de Diseño
EMP	Emisiones procedentes del Motor Principal
TEEA	Tecnologías implementadas para la mejora de la Eficiencia Energética en generación eléctrica de Auxiliares
TEEP	Tecnologías implementadas para mejora de la Eficiencia Energética en la Propulsión
VTR	Valor del Trabajo Realizado

Esta fórmula no es aplicable a buques con plantas propulsoras diésel-eléctricas, turbinas de gas o con plantas híbridas [20].

2.3.3 Ship Energy Efficiency Management Plan. (SEEMP)

El plan de gestión de la eficiencia energética establece un mecanismo mediante el cual se puede mejorar la eficiencia energética de un buque de una forma que sea rentable. La posesión del SEEMP insta a los buques a ir mejorando progresivamente los equipos del mismo incorporando nuevas prácticas y tecnologías para optimizar el rendimiento. La finalización del plan garantizará la obtención del Certificado Internacional de Eficiencia Energética, complementando al Certificado Internacional de Prevención Atmosférica de la Comisión Atmosférica. El plan de mejora generaliza el ciclo de mejora basándose en cuatro fases [19], [21].

- Planificación: el armador debe marcar un objetivo de consumo energético, qué medidas va a tomar para mejorar la Eficiencia Energética (EE) y cuál será la mejora prevista.
- Implantación: puesta en marcha de las medidas, indicando personal responsable de las mismas.
- Supervisión: control cuantitativo de las emisiones utilizando como indica el EEOI.
- Autoevaluación y mejora: es fundamental la evaluación de las medidas tomadas

2.3.4 Energy Efficiency Operational Indicator. (EEOI)

El indicador operacional de la eficiencia energética (EEOI) es una herramienta de carácter voluntario que permite a los operadores medir la eficiencia del combustible de un buque en funcionamiento y medir el efecto de cualquier cambio en la operación, por ejemplo, una mejor planificación del régimen de trabajo del motor, una limpieza más frecuente de la hélice, o la introducción de medidas técnicas como sistemas de recuperación de calor residual o una nueva hélice [19].

Para calcular el EEOI se sigue la siguiente fórmula:

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

Donde:

j:	Tipo de combustible utilizado.
FC_j :	Masa de combustible j consumido en el trayecto.
C_{Fj} :	Factor de conversión de la masa de combustible j en masa de CO ₂ .
m_{carga} :	Carga que transporta en t.
D:	Distancia recorrida.

A diferencia de los otros índices este no es de obligatoria aplicación. Al depender directamente de muchos parámetros específicos de cada tipo de buque es muy complicado hacer una comparación [20].

2.3.5 Gestión de Datos Sobre el Consumo de Combustible en Buques. (SRDCCB)

En 2016 se decide la implantación de un sistema de registro y notificación del consumo de combustible. Esta normativa aplica a los buques con un arqueo bruto igual o superior a 5000 toneladas, los cuales a partir del 1 de enero de 2019 deberán incluir en su plan de gestión de la eficiencia energética (SEEMP) una descripción del método para la recopilación de los datos de consumo y su notificación. Estos datos de consumos serán notificados al Estado de abanderamiento después del final de cada año y el Estado de abanderamiento deberá expedir una declaración de cumplimiento del buque. Posteriormente los datos de los Estados se recopilan en una base de datos de la OMI [22].

Es una normativa en desarrollo que contiene:

1. Directrices para los procedimientos de verificación de datos de la Administración.
2. Directrices para la elaboración y la gestión de la base de datos de la IMO sobre el consumo de fuel-oil de los buques.
3. Circulares MEPC para abordar el caso de los buques de Estados que no sean Partes y alimenten dicha base de datos.

2.3.6 Estándares de emisiones, NO_x

Los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) son sustancias ampliamente conocidas que generan gran problema medioambiental y de salud. Del mismo modo que son perjudiciales para el ser humano al unirse con el vapor de agua presente la atmósfera reacciona dando lugar a la formación de ácido nítrico (HNO_3). El ácido nítrico es el causante de la lluvia ácida que al caer altera los ecosistemas y corroe materiales. El NO reacciona con el ozono creando NO_2 y destruye de este modo la capa de Ozono.

Para regular estas emisiones únicamente se han establecido tres niveles, denominados “Tier”. Estos niveles agrupan a los barcos teniendo en cuenta el año de construcción y establecen unos niveles de emisiones (ver tabla Tabla 2) en función de las revoluciones del motor.

Tabla 2. Niveles de control de NO_x . Elaboración propia con datos de [20].

Tier I	Construidos hasta 01/01/2011
17 g/kWh	$N < 130$ rpm
$45 \times N - 0,2$ g/kWh	$130 < N < 2000$ rpm
9,8 g/kWh	$N > 2000$ rpm
Tier II	Construidos a partir de 01/01/2011
14,4 g/kWh	$N < 130$ rpm
$44 \times N - 0,23$ g/kWh	$130 < N < 2000$ rpm
7,7 g/kWh	$N > 2000$ rpm
Tier III	Construidos a partir de 01/01/2016
3,4 g/kWh	$N < 130$ rpm
$9 \times N - 0,2$ g/kWh	$130 < N < 2000$ rpm
2 g/kWh	$N > 2000$ rpm

2.3.7 Normativa en puerto.

Cada puerto establece en sus requisitos para el uso de sus instalaciones unos valores máximos permitidos. Los buques no podrán utilizar atracados o fondeados combustibles de uso marino con un alto contenido en azufre; por ejemplo, nunca mayor al 0,1% en masa en el Puerto de La Coruña. Se les deja a las tripulaciones el tiempo suficiente para que efectúen el cambio de combustible tan rápido como sea posible. Siendo el capitán del buque el responsable de que se cumplan las obligaciones reflejadas en el Anexo VI del Convenio MARPOL. Del mismo tiempo debe de poseer el Certificado Internacional de prevención de la contaminación atmosférica actualizado y en regla disponible para las autoridades portuarias si estas así lo requieran [23].

2.4 Zonas protegidas y reservas marinas en España

Tras repasar la normativa sobre las emisiones y ver las medidas acordadas para que las actividades de los buques tengan el menor impacto posible en el medio ambiente. Existen adaptaciones especiales a las normas, en la mayoría de los casos para hacerlas aún más restrictivas. Estas medidas se han adoptado en zonas que tienen un especial interés desde su punto de vista económico, en zonas de gran afluencia pesquera donde prima el poder explotar ese recurso sobre la libre navegación de cualquier barco. En otras se han establecido para proteger el ecosistema marino por su riqueza natural.

2.4.1 Reservas marinas de España

Las Reservas Marinas constituyen una medida preventiva para evitar la explotación descontrolada y el expolio de los recursos naturales de una determinada zona. En éstas áreas delimitadas (ver Figura 2-15) de los caladeros nacionales se establecen una serie de medidas específicas cuyo único objetivo es permitir la mejora de las condiciones de reproducción de las especies y la supervivencia hasta la edad adulta de las especies [24].



Figura 2-15 Mapa Reservas Marinas [24].

En lo que concierne a la navegación en estas áreas se han establecido limitaciones de fondeo y limitaciones a la velocidad en la navegación con el objetivo de proteger los fondos de las reservas marinas, evitar el exceso de ruido que generan los barcos navegando a alta velocidad y de actuaciones que puedan dar lugar a incursiones de pesca furtiva [25].

2.4.2 Zonas especialmente protegidas

El Convenio de Barcelona fue adoptado para la protección del medio marino y la región costera del Mediterráneo en 1976, dentro del plan de acción para el Mediterráneo, encuadrado dentro del programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente.

El protocolo sobre zonas especialmente protegidas y diversidad biológica en el mediterráneo entra en vigor en 1999, en el que se establecen las Zonas Especialmente Protegidas de Importancia para el Mediterráneo (ZEPIM). Éstas son zonas que cuya importancia para la conservación reside en que albergan ecosistemas específicos de la zona mediterránea o son el hábitat de especies en peligro [26].

2.4.3 Espacios naturales protegidos

La Ley 42/2007 del patrimonio natural y la biodiversidad, otorga la consideración de espacios naturales protegidos a *“aquellos espacios del territorio nacional, incluidas las aguas continentales y las aguas marítimas bajo soberanía o jurisdicción nacional, incluidas la zona económica exclusiva y la plataforma continental, que cumplan al menos uno de los requisitos siguientes y sean declarados como tales”*: [26]

- Los espacios en los que haya sistemas o elementos naturales que sean representativos, singulares, frágiles, amenazados o de especial interés ecológico, científico, paisajístico, geológico o educativo.
- Aquellos espacios que estén especialmente dedicados a la protección y el mantenimiento de la diversidad biológica, así como de la geo diversidad y de los recursos naturales y culturales asociados.

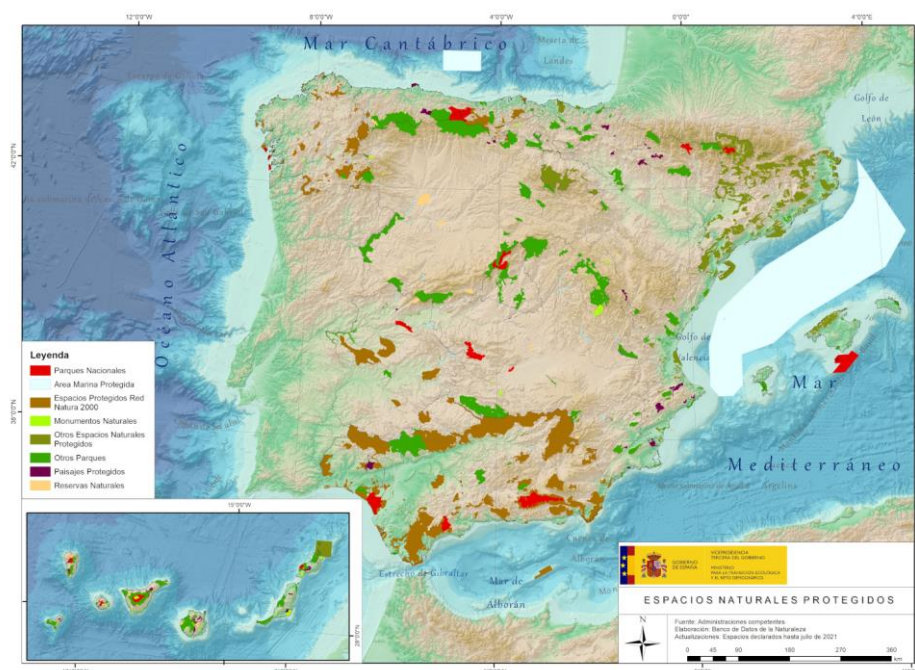


Figura 2-16 Espacios Naturales Protegidos en España [58].

Se establece una clasificación en cinco categorías dependiendo de los bienes a proteger y de los objetivos a cumplir, se regulan según la Ley 42/2007. Pese a todo cada Comunidad Autónoma ha desarrollado sus propios objetivos y a día de hoy existen cerca de cuarenta denominaciones diferentes a la hora de designar los espacios protegidos naturales. Estos espacios protegidos están reflejados en la Figura 2-16 [27].

3 DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA

El Patrullero de Altura P-63 “Arnomendi” ,Figura 3-1, pertenece a la clase “Chilreu”, siendo el tercero de la misma. Fue construido y botado en la Ría de Vigo en enero del año 2000, y a finales de ese año entraba en servicio oficialmente. La clase a la que pertenece nace de la entrega del pesquero “Pescaloso” a la Armada que entró en servicio como el “Chilreu”. El “Arnomendi” toma su nombre de un monte guipuzcoano ubicado en la franja costera. A modo de curiosidad, es el único buque de su clase que no tiene nombre de isla.



Figura 3-1. PA "Arnomendi" en el muelle de La Graña. Elaboración propia.

Tuvo su primera base en Canarias, en el arsenal militar de Las Palmas, de ahí cambió a Cartagena y desde el año 2016 tiene su base en la Escuela de Especialidades de la Estación Naval de La Graña, Ferrol, La Coruña [28].

En este apartado se verá una breve descripción del buque, su misión principal y su equipos y sistemas que mayor de demanda energética tienen.

3.1 Descripción de la plataforma

El patrullero “Arnomendi” es un buque de 66,5 metros de eslora, con una manga de 11 metros y un calado medio de 4,4 metros. Tiene un desplazamiento de 1928 t. Estas dimensiones junto con el diseño

de su casco (Figura 3-2) le confieren al buque unas dotes muy marineras. Su dotación la forman 38 personas, pudiendo esta aumentarse por necesidad con respecto a la misión que desempeñe [28].

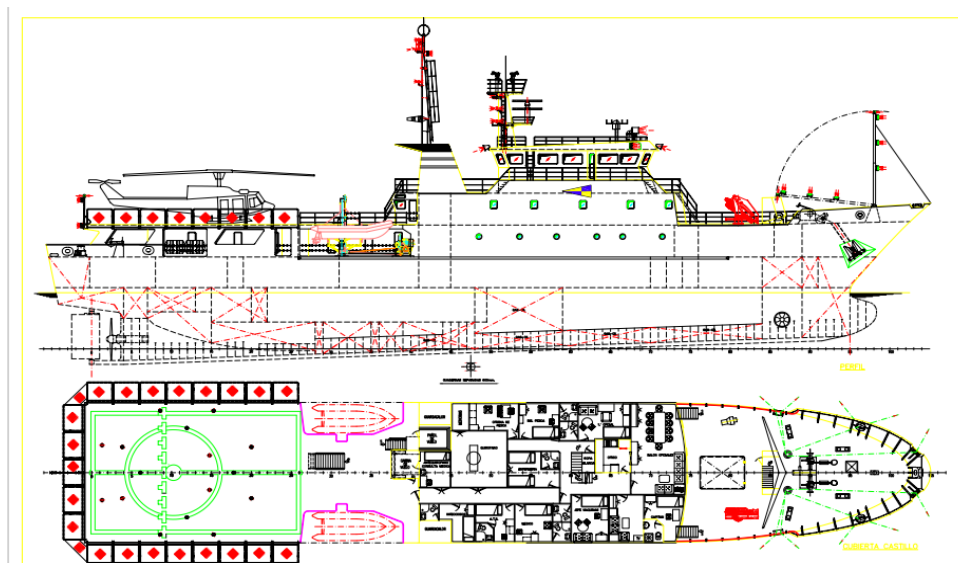


Figura 3-2 Plano planta y alzado, (Anexo 1).

El buque cuenta con dos cubiertas corridas de proa a popa, la cámara de máquinas está situada a popa del mismo. Para la propulsión cuenta con un solo motor diésel que a través de un engranaje reductor trabaja con una hélice de palas orientables. El motor es un motor diésel “Mak 8M 25”, con 8 cilindros en línea que generan una potencia de 3260 CV. En la proa consta de una hélice transversal propulsada por un motor eléctrico. Para satisfacer la alta demanda de energía eléctrica que necesitan sus equipos cuenta con un generador principal acoplado al eje de la hélice, con dos diésel generadores auxiliares y con un generador de emergencia [28], [29].

3.2 Misión principal

El patrullero “Arnomendi” está encuadrado dentro de la Fuerza de Acción Marítima, los buques que pertenecen a ésta tienen como objetivo la protección y defensa de los intereses nacionales y a contribuir a preservar la paz, la seguridad y el bienestar de los ciudadanos en el mar. El “Arnomendi” como consecuencia de los acuerdos establecidos por el Ministerio de Defensa con la Secretaria General de Pesca Marítima tiene como misión fundamental la vigilancia, inspección y presta de apoyo a la flota pesquera tanto en caladero nacional como en pesquerías internacionales [29].

De forma complementaria a las ya mencionadas también realiza:

- Ejercer el control del espacio marítimo.
- Efectuar operaciones de búsqueda y salvamento.
- Presencia naval en zonas distantes y durante periodos prolongados.
- Servir de plataforma para operaciones especiales.
- Servir de plataforma para campañas científicas.

Para poder complementarlas cuenta con una cubierta de vuelo, una hélice de proa que le aporta mayor movilidad, dos embarcaciones de apoyo, hospital y servicios médicos, un gancho para remolque, equipos de buceo, un halador y virador de redes y una grúa pescante. En la Figura 3-2, del plano del barco se pueden ver algunos de los elementos citados anteriormente [29].

Entre sus principales operaciones y ejercicios en los que ha participado se encuentran campañas en los caladeros nacionales de Cádiz, Canarias, del Mar Cantábrico dando apoyo a la flota bonitera o en el

Mediterráneo con la flota del atún rojo. A nivel internacional ha estado en Terranova con NAFO (North-West Atlantic Fisheries Organization) y en Islandia con NEAFC (North-East Atlantic Fisheries Commission) [28].

3.3 Motor principal

El motor que propulsa al “Arnomendi” es un motor “MAK tipo 8M-25”. Mak es un fabricante de motores diésel alemán que desde 1997 está integrado en el grupo norteamericano “Caterpillar”. La serie de motores M 25 son motores de media velocidad de cuatro tiempos, sobrealimentados por medio de un turbocompresor. Esto le permite desarrollar 3260 CV. Cuentan con cilindros de carrera larga, donde cada culata es independiente, de modo que permite el mantenimiento de los cilindros sin necesidad de abrir todo el bloque del motor. En la culata se ubica una válvula de arranque mediante aire comprimido.

El rendimiento que se alcanza con estos motores ronda el 46%, un valor bastante alto para un motor de estas características [30], [31].

El motor principal es capaz de generar una potencia máxima de 2640,00 kW (3260 CV), que en las pruebas de mar se tradujo en 16 kn. Trabaja con el combustible F-76. El combustible marino F-76 (OTAN) de uso exclusivamente militar, es equivalente a un gasoil marino con bajo índice de sulfuro de uso comercial (Very Low Sulphur Fuel Oil, VLSFO).

3.4 Generador de cola

El generador principal (remarcado sobre la Figura 3-3. Representación de la cámara de máquinas.), llamado “de cola” está acoplado al motor principal mediante una reductora. Se encarga de dar todo el suministro eléctrico necesario al barco, para ello dispone de un alternador modelo “LSA M 49.1M5 C6/4” que genera 432 kW de potencia [31]. EL mayor inconveniente de este sistema es que el eje es el rotor para la generación de la energía. Esto hace que a partir de un cierto número de revoluciones (750 rpm) el generador deja de producir energía. Su mayor ventaja por otro lado es que al ser el rotor el eje no precisa de combustible para funcionar, funciona en sincronía con el motor.

3.5 Generadores auxiliares

El buque posee dos generadores auxiliares (ver Figura 3-3. Representación de la cámara de máquinas.), estos funcionan con un motor diésel “VOLVO-PENTA TAMD 162D” y con un alternador “LEROY-SOMER LSA47” que genera 350 kW con una tensión de salida de 380 V. El objetivo de estos

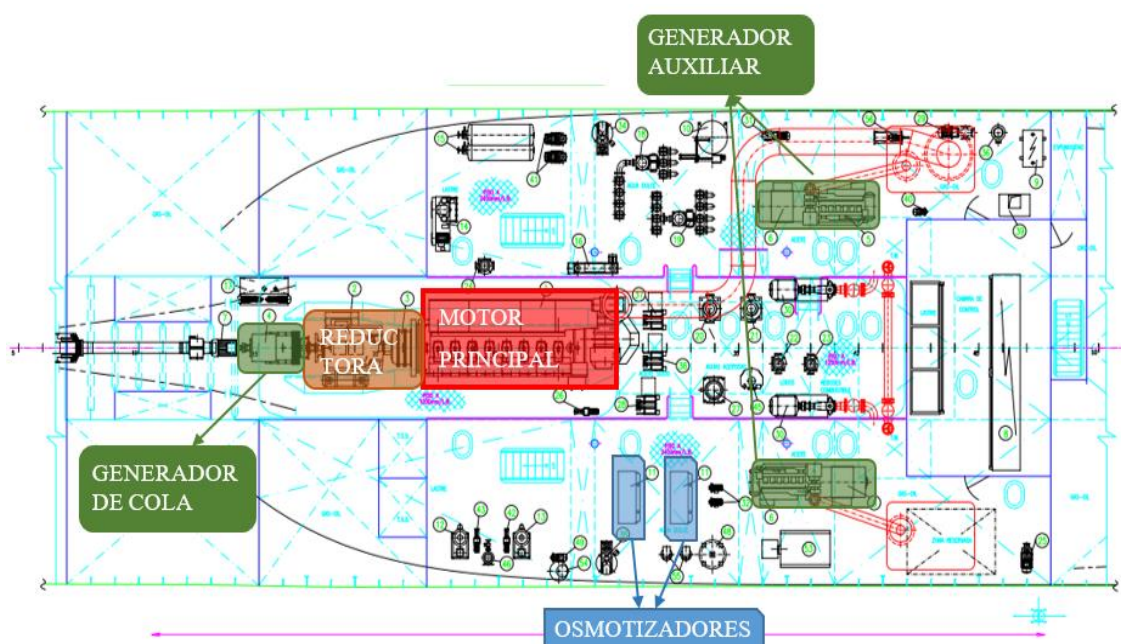


Figura 3-3. Representación de la cámara de máquinas. Elaboración propia, (Anexo 1).

equipos es el de suministrar la energía requerida por los equipos, sistemas y servicios del barco garantizando su máxima operatividad [31]. Pueden trabajar de forma simultánea con el generador de cola o totalmente independiente.

3.6 Generador de emergencia

El generador de emergencia, ubicado en la cubierta principal (Figura 3-7. Ubicación Generador de Emergencia.), tiene doble función; en primer lugar, alimentar a los equipos que están conectados al cuadro de emergencia por tener estos una función de extrema necesidad para el correcto funcionamiento del barco. Son aquellos necesarios para que en caso de que suceda un apagón total del barco, este pueda navegar en las condiciones más seguras. En segundo lugar, funciona como alternador cuando se conecta el barco a tierra [31].

Para su funcionamiento consta de un motor diésel “WASCOT” de 150 CV y con un alternador de “LEROY SOMER” modelo “LSA M46 1 M3 C6/4”. Genera unos 96 kW y entrega una tensión de salida de 400 V [31].

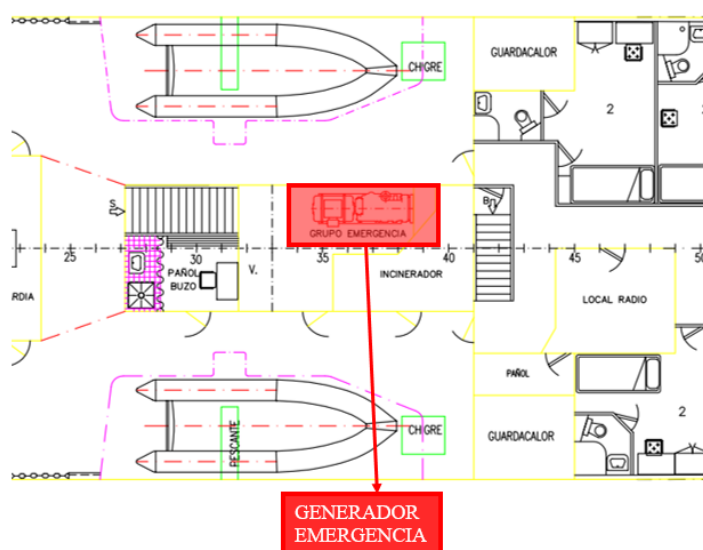


Figura 3-7. Ubicación Generador de Emergencia. Elaboración propia, (Anexo 1)

3.7 Osmotizadores

Son unos de los equipos más importantes que hay en un buque. Permiten que el agua potable de consumo se genere a bordo a partir del agua del mar en vez de tener que almacenarla desde puerto, lo que desde el punto de vista logístico haría muy complicadas las navegaciones. La obtención de agua potable se lleva a cabo mediante un proceso de osmosis inversa, posteriormente se le da al agua el

tratamiento biológico-sanitario necesario para convertir esa agua dulce en agua apta para el consumo humano.

Desalination plant

Seawater filtration to protect the reverse osmosis system

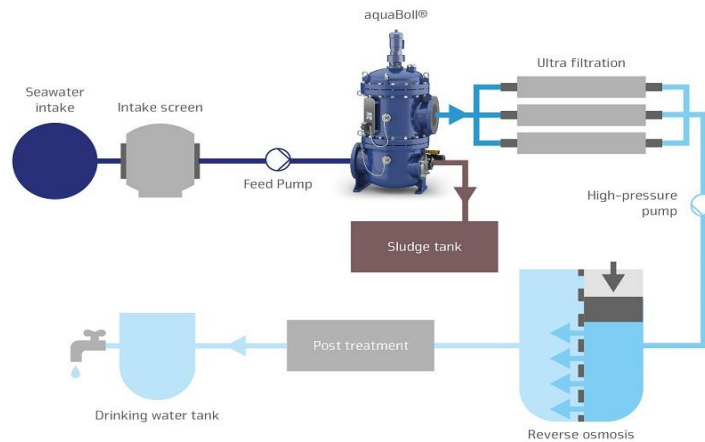


Figura 3-8. Diagrama funcionamiento planta de ósmosis [62].

Como se puede observar en la Figura 3-8, un osmotizador se compone de una serie de filtros que limpian el agua al hacerla pasar desde filtros desde 100 micras los primeros hasta filtros de 50 y 5 micras los más finos. Ambos equipos son de marca “AQUAMAR ELECTRIC Mod.: AQE-6” y proporcionan un caudal de 200 l/h. Dos motores eléctricos “ABB tipo KX2 IMB3/B14” dan potencia a las bombas de alta “SPECK-KOLDEN PUMPEN FABRIK” y a las de baja que permiten que el proceso de ósmosis tenga lugar en sentido contrario [31].

3.8 Hélice de proa

Las hélices de proa o también llamadas hélices de maniobra nacieron para dotar a los buques de una mayor maniobrabilidad navegando a bajas velocidades. Son un elemento ideal para realizar de una forma más segura las atracadas y desatracadas de puerto ya que permiten desplazar el barco de forma prácticamente perpendicular a la línea de crujía. En caso de fallo de un fallo en el servo timón son una solución para seguir manteniendo el gobierno del buque [32].

Se pueden encontrar dos maneras diferentes para instalar estos sistemas. Con una disposición horizontal de la hélice y del motor eléctrico y con una disposición vertical (Figura 3-9). En este caso se encuentra una disposición vertical con una hélice de paso variable de cuatro palas, accionada con un motor eléctrico “LEROY SOMER” que genera una potencia equivalente a 420 CV [31].

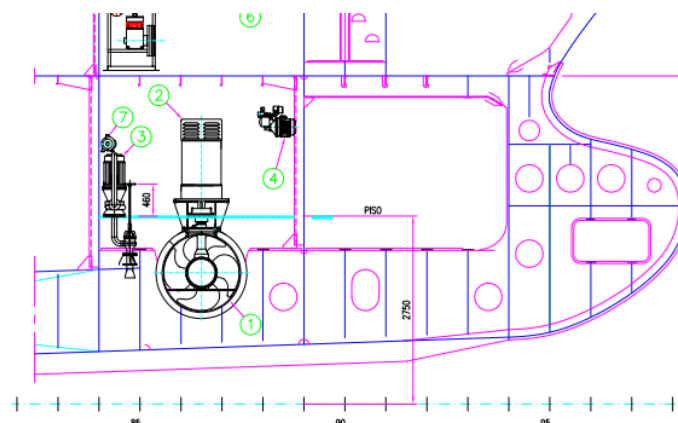


Figura 3-9. Representación hélice de proa. (Anexo 1).

3.9 Aire Acondicionado, ventilación y refrigeración

El buque cuenta con un sistema de ventilación, calefacción y aire acondicionado con el objeto del tratamiento del aire en los distintos locales del buque, a fin de regular simultáneamente su temperatura, humedad, pureza y movimiento, hasta conseguir las condiciones óptimas de confort y seguridad requeridas para las personas y equipos que los ocupan.

Está formado por dos compresores que son movidos por dos motores eléctricos, y que mediante un proceso de compresión de un gas (gas 404 A) y luego enfriamiento en el condensador de gas; se pasa por el evaporador para que se expanda y robe calor y refrigere el “fan coil” ubicado en el mismo compartimento que los compresores. Este hace circular una corriente de aire que se distribuye a través de los conductos de ventilación por todo el buque, exceptuando los locales que tienen ventilación o extracción propia. Como puede ser en la lavandería o en el pañol del buzo.

El tratamiento del aire está desglosado en:

- Enfriar y deshumidificar el aire en verano.
- Calentar el aire durante el invierno.
- Filtrar, circular y renovar el aire durante cualquier época del año.

Para todo ello se requiere de los siguientes elementos:

- Planta frigorífica para el suministro de agua refrigerada.
- Unidades acondicionadoras para el enfriamiento del aire en verano.
- Fan-coil para enfriamiento del aire en los locales con elevada carga interior.
- Unidades calefactoras para el calentamiento del aire en invierno.
- Unidades de ventilación para impulsar o extraer el aire.
- Automatismo de seguridad y control de los elementos antes citados.

Al objeto de que se puedan originar daños por la eventual condensación se evita el paso de conductos sobre:

- Equipos electrónicos y ordenadores.
- Generadores.
- Cajas terminales de generadores.
- Terminales de transformadores.
- Pupitre de control.
- Cuadro de alimentación de distribución de potencia.

El sistema tiene una ligera presión positiva y suministra aire caliente en invierno y aire frío en verano. Aproximadamente el 50% del volumen del aire es recirculado. La instalación está proyectada para cumplir con las exigencias siguientes:

- Invierno
 - Temperatura exterior: -15 °C.
 - Temperatura interior: +20 °C y en torno a 50 % de humedad relativa.
- Verano
 - Temperatura exterior: +35 °C y aproximadamente 70 % de humedad relativa.
 - Temperatura interior: +27 °C y aproximadamente 50 % de humedad relativa.

La instalación está constituida por los siguientes elementos:

- Una central de tratamiento del aire con baterías de calentamiento y enfriamiento del aire.
- Electro-ventilador.
- Conductos para la distribución del aire.

- Alternadores de sonido.
- Rejillas.
- Difusores.
- Un conjunto de automatismos para el control de la instalación.

Para el enfriamiento del aire consta de dos electro-compresores frigoríficos de R-404 A con condensador, intercambiador de calor, etc., cada uno de ellos con capacidad para el 75 % de las necesidades de la planta.

El enfriamiento de aire se efectúa por expansión directa de R-404 A en la batería de enfriamiento. El calentamiento de aire por el contrario se efectúa mediante baterías de agua caliente para lo que se dispone de una caldereta de mecheros.

4 ANÁLISIS DE LAS POSIBLES ACTUACIONES

Tras repasar los principales equipos y sistemas del buque se puede optar por dos caminos diferentes para optimizar la planta propulsora y con ello reducir las emisiones contaminantes. En este apartado se presentarán siguiendo el árbol (Figura 4-1) donde se pueden ver diferenciadas las medidas a tomar entre activas y pasivas.

Las medidas denominadas como activas son aquellas que conllevan un cambio significativo en los

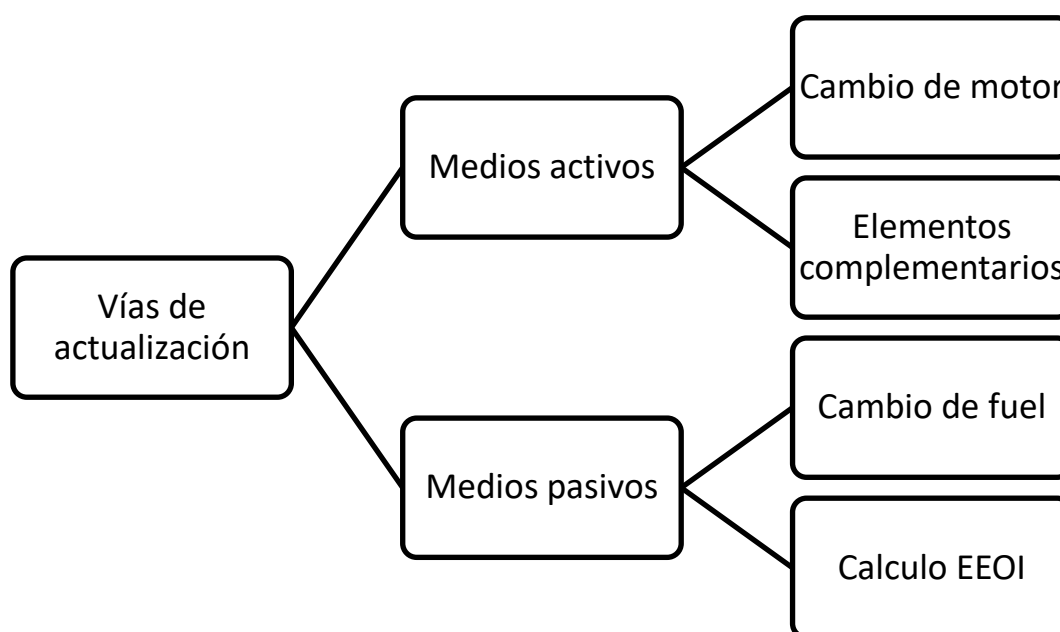


Figura 4-1. Árbol de medidas. Elaboración propia.

equipos y sistemas o en la propia plataforma; las pasivas en cambio, aquellas enfocadas a optimizar el uso de los sistemas que posee el buque. Se buscará con las siguientes medidas conseguir un ahorro de combustible. Algunas de las medidas no conllevarán directamente una mejora de las emisiones. Sin embargo, el ahorro de combustible significará un menor número de agentes contaminantes emitidos, ya que a menor combustible quemado menor será el número de emisiones que se producirán por cada navegación que realice el buque.

Dentro de los cambios de motor se escogieran aquellas propuestas que son viables de realizar, tanto a nivel económico como a nivel operativo. En los elementos complementarios se encuadran pequeñas modificaciones por adhesión de componentes que trabajando en conjunto con los equipos que se tienen pueden reportar un aumento de la eficiencia. Por último, en los sistemas alternativos se reflejará en función del estado de los equipos actuales del buque una modernización de los mismos si así fuera necesaria o si su sustitución por uno nuevo significara un aumento considerable en la eficiencia o una disminución del consumo.

En cuanto a medios pasivos se refiere se han diferenciado dos vías de actuación. Por un lado, un cambio de combustible o un cambio en el mismo. La propia sustitución del motor puede conllevar un cambio de combustible. Mediante algunos equipos es posible modificar el combustible actual para aumentar su rendimiento sin tener que realizar grandes sustituciones en el motor actual. Por último respecto a la forma de trabajo el margen está más limitado. El régimen óptimo de trabajo de un motor de esas características puede distar mucho de las necesidades operativas del buque.

4.1 Medios activos

Se han estudiado en este apartado diversas vías sobre mejoras y modificaciones para optimizar los sistemas de propulsión naval. Algunas de estas medidas serán una sustitución prácticamente total de la planta ya existente, otras complementarán dicha planta.

4.1.1 Sustitución de motor

De cara a estudiar las posibilidades para sustituir el motor principal se realizará un estudio de los días de que navega el barco. Del modo en que lo hace y finalmente cuanto combustible consume para realizar su tarea.

Una vez conocidas la misión y cometidos principales para los cuales es designado este barco, se puede realizar una estimación anual de las horas en cada régimen de operación. El conteo de los días que el buque ha estado navegando se realiza con el registro del año 2021. En dicho año el buque estuvo navegando un total de 128 días. Como se puede observar en la Figura 4-2, la media de los últimos ocho años (109 días) está algo por debajo de los días navegados de 2021.

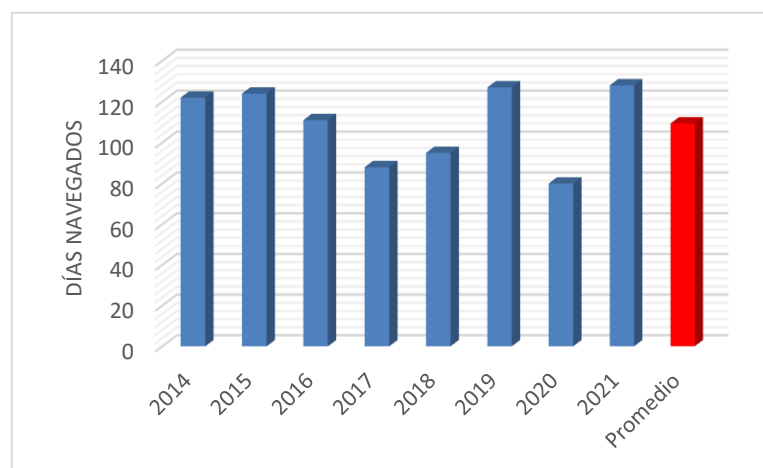


Figura 4-2. Días navegados en los últimos 8 años. Elaboración propia.

Una vez se conocen los días que el buque ha estado en la mar se procede a representar el tiempo que el buque ha estado realizando cada operación (Figura 4-3). Se han agrupado en cuatro grupos, atendiendo al régimen de trabajo en el que está el motor en cada uno de ellos.

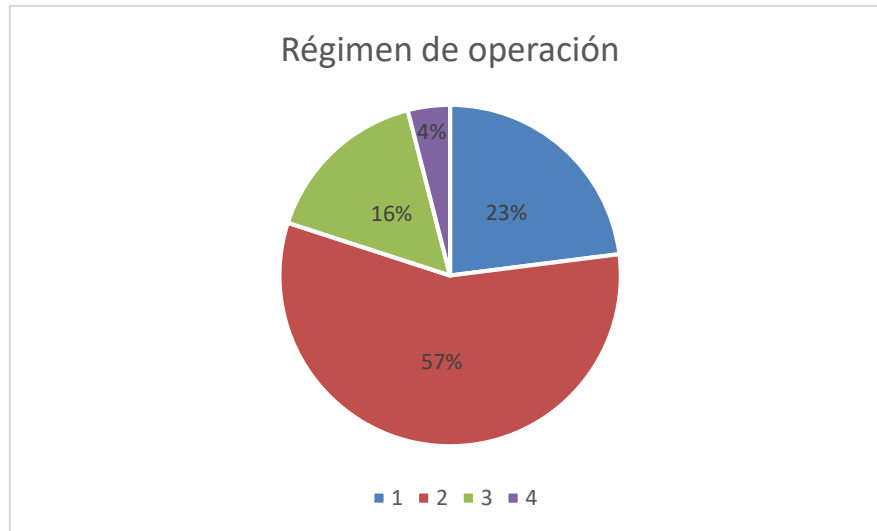


Figura 4-3. Diagrama del régimen de operación en tanto por ciento (%). Elaboración propia.

1. Maniobra: en este grupo se tienen en cuenta las maniobras durante las cuales el motor trabaja al mínimo de potencia. Aquellas operaciones en las que el buque da un avance de hasta 4 kn. Entradas y salidas de puerto y operaciones de izado y arriado de embarcaciones.
2. Apoyo a flota pesquera: velocidad de entre 4-7 kn.
3. Patrulla: este grupo encuadra aquellas operaciones que necesiten de un régimen de máquinas que de entre 8-12 kn. Aquí se encuadran los tránsitos y las operaciones de vigilancia y patrulla costera.
4. Sprint: Situaciones donde se requiera de toda la potencia del motor, como acudir a una emergencia o alejarse de un temporal. Velocidades mayores a 12 kn.

A la vista de la gráfica se puede observar que el barco no necesita grandes picos de velocidad. Dada la baja velocidad del régimen predominante en el tiempo un motor que a baja velocidad consuma poco combustible sería a priori la mejor opción. En el apartado 2.1 se mostraron los principales sistemas de propulsión naval que más se utilizan hoy en día. Sabiendo esto y las características que más se pueden adecuar al buque se hará un análisis de las ventajas y desventajas que presentan las distintas alternativas al motor naval diésel que ya posee el buque.

Se han establecido en la Tabla 1 los siguientes parámetros para hacer la comparación. Los niveles de emisiones por ser el fin al que se pretende llegar; el consumo de combustible ya que indirectamente está relacionado con las emisiones: a mayor consumo mayor cantidad de contaminantes emitidos. Y por último las prestaciones de la planta ya que un motor desproporcionado para las dimensiones y propósitos del buque terminaría siendo contraproducente provocando un mayor consumo de fuel.

Una vez comparadas entre sí las distintas opciones y para hacer una elección objetiva del tipo de motor que se elegiría se enfrentarán los tipos de motores a una matriz de decisión, (Tabla 3). Esta se va a elaborar teniendo en cuenta los resultados plasmados en la Figura 4-3. Se escogen los siguientes parámetros ponderados de 0 a 3:

- Emisiones - 3
- Consumo - 2
- Prestaciones - 2
- Precio – 3

Tabla 3. Matriz de decisiones para el motor. Elaboración propia.

	Emisiones	Consumo	Prestaciones	Precio	Total
Peso	3	2	2	3	
Diésel	1x3=3	3x2=6	3x2=6	3x3=9	24
Diésel-eléctrica	2x3=6	3x2=6	3x2=6	1x3=3	21
CODAG	2x3=6	2x2=4	1x2=2	2x3=6	18
Nuclear	3x3=9	3x2=6	0x2=0	0x3=0	15
Turbinas	2x3=6	2x2=4	1x2=2	1x3=3	15

Según la matriz de decisiones, el resultado indica que la propulsión más adecuada para la plataforma es un motor diésel. Para ello, se ha comparado el motor diésel actual con cuatro posibles alternativas:

4.1.2 Motor “YANMAR 8EY26W”

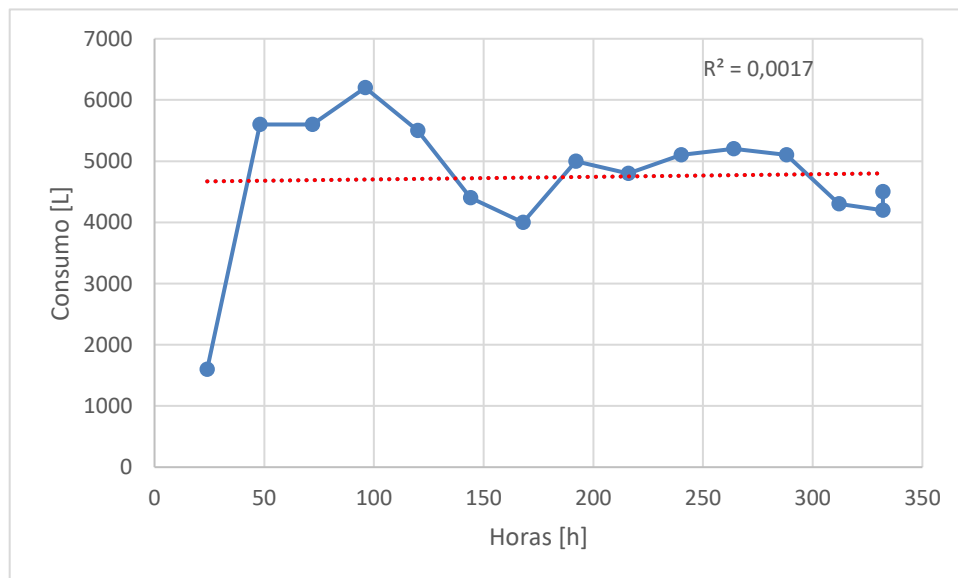
4.1.3 Motor Wartsilä 8L26”

4.1.4 Motor Rolls Royce 12V 4000 M93

4.1.5 Motor Mitsubishi S12U-MPTK

Para comparar los motores con el actual se atenderá a parámetros como el consumo y el valor del EEOI. En primer lugar, se calculará el consumo del motor actual y su EEOI. Seguidamente, se presentarán las características principales de los motores y se procede a realizar un estudio del consumo de cada uno de ellos para compararlo con el consumo del motor actual. Calculado el consumo y el EEOI, se puede valorar cuanto se tardaría en amortizar la inversión y si está realmente presentara una mejora.

- Consumo del motor MAK tipo 8M-25, Figura 4-4.

**Figura 4-4. Consumos en 15 días del Mak tipo 8M-25. Elaboración propia.**

Se observa de la gráfica que el consumo medio del barco es de 4740 L al día con un error $R^2 = 0,0012$.

Multiplicando por la densidad $d = 0,876 \text{ kg/L}$ se obtiene un consumo medio de: 373,01 kg/h

4.1.2 Yanmar 8EY26W

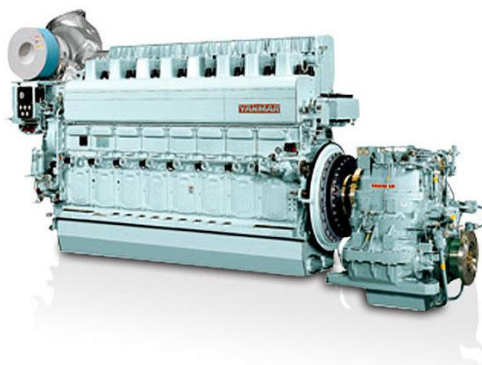


Figura 4-5. Motor Yanmar 8EY26W [33].

El motor “8EY26W” (Figura 4-5) se encuentra dentro de la gama de motores de media velocidad de propulsión del fabricante japonés. Es un motor de 8 cilindros, 4 tiempos, de inyección “common rail” con un turbo compresor de alta presión que desarrolla una potencia máxima de 2560 kW.

Adopta un sistema de reducción catalítica selectiva de los gases de escape en cumplimiento de la nueva normativa medioambiental. Para ello inyecta una solución de urea segura en los gases de escape. De este modo, el amoníaco generado reacciona con los NO_x a través de un catalizador, lo que da lugar a nitrógeno no tóxico y agua que se vierte al aire libre.

El orificio de admisión de aire optimizado genera un remolino adecuado en la cámara de combustión, así como un aplastamiento en la carrera de compresión. Esto favorece la mezcla de combustible y aire, mejorando la eficiencia de la combustión [33]. Según el fabricante tiene un consumo de 383 kg/h. En la Figura 4-6, se reflejan las dimensiones del motor (Anexo 2).

Engine Model	Marine Gear	A	A'	A''	B	C	D	E	F	G	Total Dry Weight with Marine Gear
8EY26W (2060kW) (2210kW)	YX-3500M	6912	5022	1890	2085	3257	842	1427	777	1900	33428
	YX-3500MC	7481	5022	2459	2085	3257	842	730	80	1900	33128
8EY26W (2360kW) (2560kW)	YX-3500M	6925	5022	1903	2085	3257	842	1427	777	1900	33485
	YX-3500MC	7494	5022	2472	2085	3257	842	730	80	1900	33185

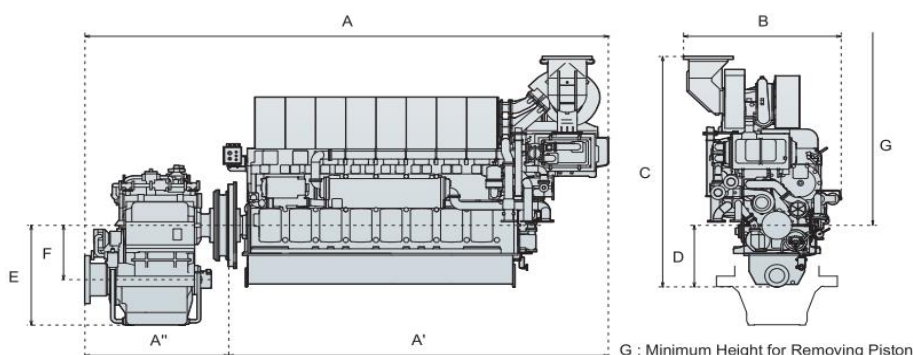


Figura 4-6. Dimensiones del motor 8EY26W.

4.1.3 Wartsilä 8L26



Figura 4-7. Wartsilä 8L26W [34].

Esta opción (Figura 4-7. Wartsilä 8L26W .) es un motor diésel de 4 tiempos, no reversible, turboalimentado, con intercooler con inyección directa de combustible. Esta versión con 8 cilindros en línea desarrolla 2720 kW. Tiene instalado un sistema de seguridad de control automático de la carga para proteger el motor de la sobrecarga. El control de carga reduce el paso de la hélice automáticamente, cuando se supera una curva pre programada. La alta presión de inyección y la relación entre el diámetro y la carrera garantizan una baja emisión de NO_x y un bajo consumo de fuel-oil, en régimen óptimo de 294 kg/h. En la Figura 4-8 se encuentran las dimensiones del motor (Anexo 2).

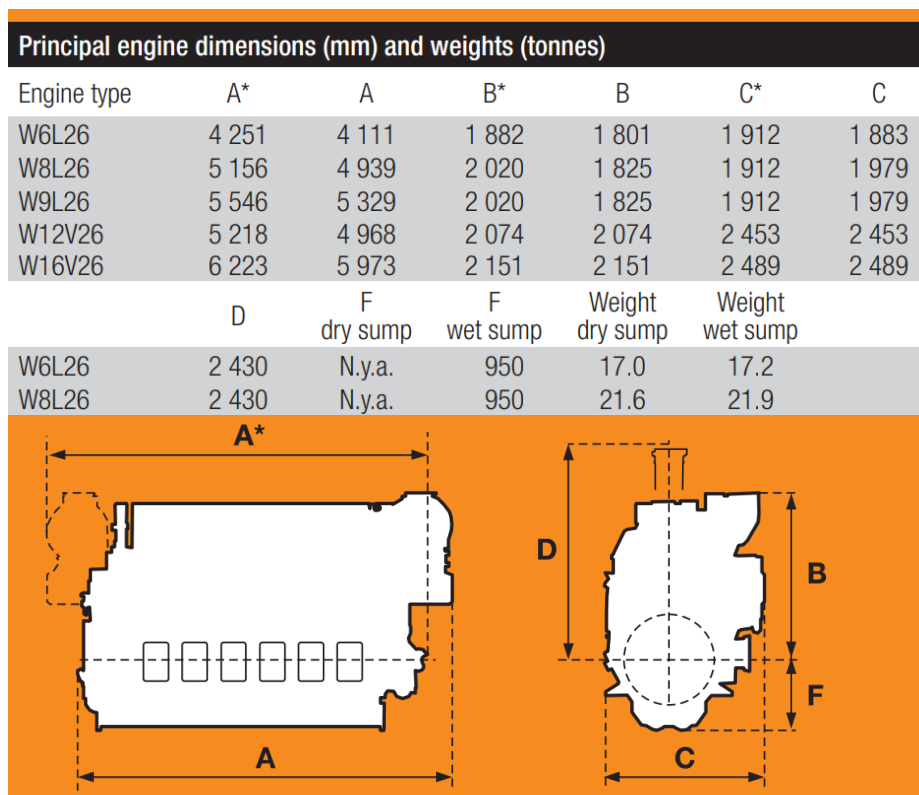


Figura 4-8. Dimensiones del motor 8L26W.

4.1.4 Rolls Royce 12V 4000 M93

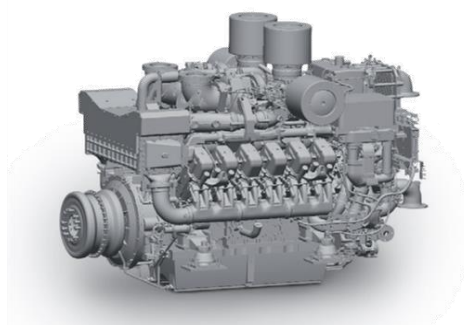


Figura 4-9. Rolls Royce 12V 4000 M93 [71].

El motor “Rolls Royce 12V 4000 M93” (Figura 4-9) es un motor de 12 cilindros dispuestos en V. Genera una potencia de 2340 kW. Cuenta con bomba de suministro de combustible, sistema de inyección de combustible common rail con inyección electrónica de combustible y sistema de desconexión de cilindros. Para la refrigeración instala un intercambiador de calor por placas. Tiene dos turbocompresores refrigerados con agua. Según fabricante tiene un consumo que se encuentra en los 505 kg/h. En la Figura 4-10 aparecen las dimensiones del mismo (Anexo 2).

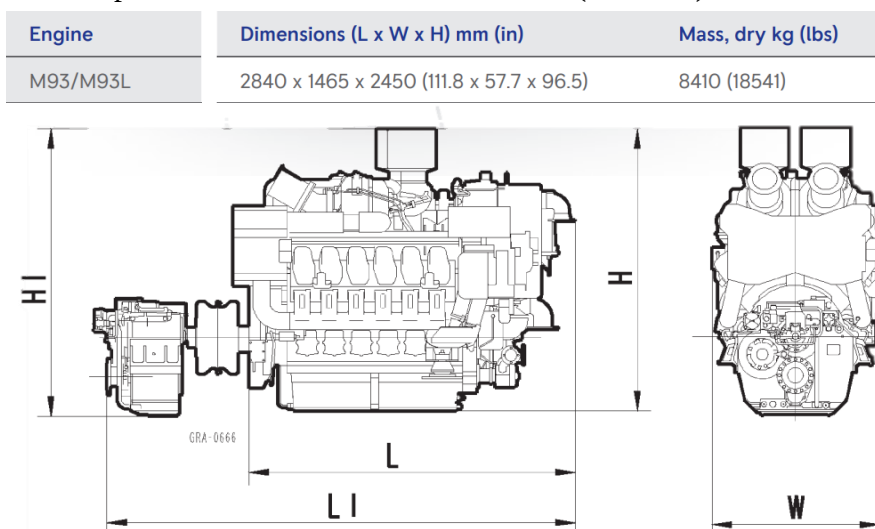


Figura 4-10. Dimensiones del motor 12V 4000 M93.

4.1.5 Mitsubishi S12U-MPTK

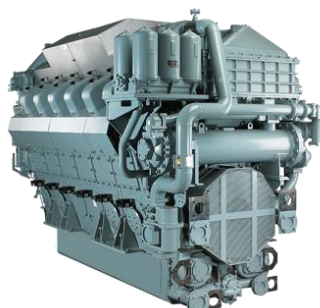


Figura 4-11. Motor S12U-MPTK [72].

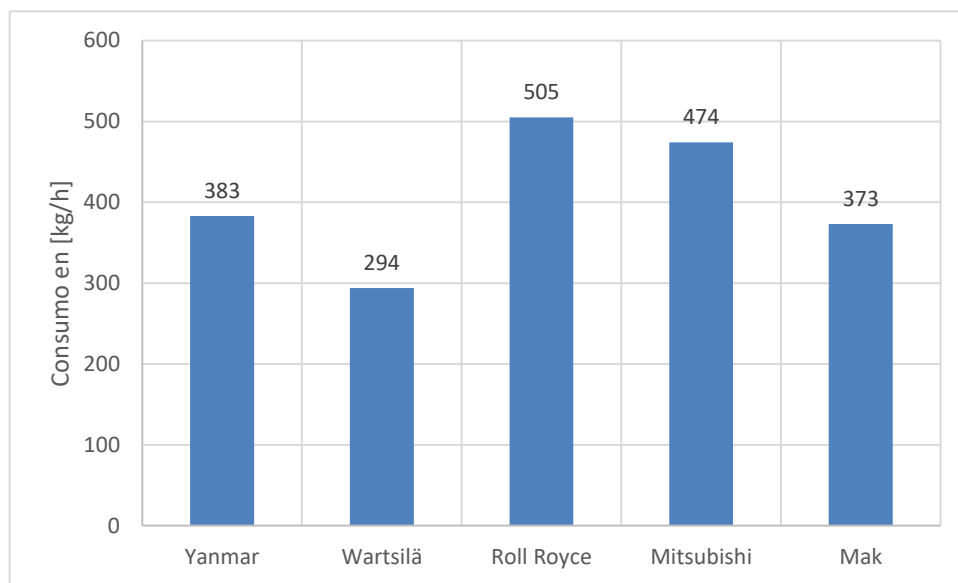
El motor S12U-MPTK (ver Figura 4-11) tiene 12 cilindros dispuestos en V con un ángulo de 60°. Es un motor de 4 tiempos de inyección directa, turboalimentado y refrigerado por agua. Trabajando a máxima potencia entrega unos 2205 kW. Su estilo compacto hace que el motor sea fácil de montar y mantener. Posee una estructura robusta y rígida y un bajo índice de consumo de combustible, de unos 474 kg/h según datos del fabricante. Sus dimensiones se reflejan en la Figura 4-12, (Anexo 2).

Engine dimensions & dry weight

L (mm)	: 3562
W (mm)	: 1910
H (mm)	: 2374
Dry weight (kg)	: 15500

Figura 4-12. Dimensiones del motor S12U-MPTK.**4.1.6 Comparación y evaluación de los motores**

Tras repasar las opciones del mercado, se procede a resumir y comparar los parámetros diferenciadores para poder elegir la mejor opción. Se ha calculado el consumo estimado del motor principal del buque (ver Figura 4-13) con datos de consumo de una navegación de quince días. Se suman los litros de combustible Fuel F-76 de cada día, se contabilizan del mismo modo las horas de funcionamiento a lo largo de los quince días y se obtienen los siguientes datos:

**Figura 4-13. Relación de consumos. Elaboración propia.**

Para la elección del motor se ha elaborado la tabla Tabla 4 donde se comparan los motores disponibles con el actual. Se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- **Consumo:** La principal ventaja que puede aportar es económica, pero lleva de la mano ventaja a nivel medioambiental ya que al consumir menos combustible se emiten menos sustancias contaminantes.
- **Emisiones:** La Armada pese a estar exenta de cumplir la normativa relacionada con las emisiones quiere aplicar todas las medidas posibles por emitir la mínima cantidad de sustancias contaminantes.
- **Dimensiones:** este factor es determinante y puede llegar a ser excluyente. Un motor que no quepa físicamente en el espacio de la cámara para el mismo no será una opción viable. La cámara tiene un espacio disponible de 6235 x 4730 x mm (largo, ancho).
- **Peso:** el peso del motor influye en otros factores. Un buque menos pesado requiere de menos combustible para propulsarse y por tanto indirectamente también se reducirían las emisiones contaminantes.
- **Regulación de la inyección:** Existen dos maneras de regular la inyección del combustible. Regulación mecánica y electrónica. La regulación mecánica evita en ambientes húmedos que los circuitos electrónicos puedan corroerse. Del mismo modo la regulación mecánica suele dar periodos de vida más largos en los motores.

El coste de los motores sería otro factor importante a considerar. No se han recibido ni por parte de los proveedores ni de los fabricantes los costes de adquisición e instalación, por lo que no se incluye en esta tabla.

Se utilizarán tres colores (verde, amarillo y rojo) respectivamente para resaltar los puntos fuertes y débiles de cada uno.

Tabla 4. Tabla de decisión del motor. Elaboración propia.

	Consumo	Emisiones CO ₂	Dimensiones	Peso	Regulación
Yanmar 8EY26W	383 kg/h	1.228 kg/h	6912 x 2085 mm	33 t	Electrónica
Wartsilä 8L26	294 kg/h	943 kg/h	8167 x 2300 mm	43 t	Electrónica
RR 12V 4000 M93	505 kg/h	1.623 kg/h	2840 x 1465 mm	9 t	Electrónica
Mitsubishi S12U-MPTK	474 kg/h	1.522 kg/h	3562 x 1910 mm	16 t	Electrónica
Mak 8M-25	373 kg/h	1197 kg/h	5951 x 2315 mm	30 t	Mecánica

Observando la tabla se decide no cambiar el motor y mantener el Mak tipo 8M-25 que ya está instalado a bordo.

- En relación al consumo se puede ver que la mejor opción sería el motor “Wartsilä”. Seguidamente estarían el motor actual y el motor “Yanmar” con muy poca diferencia entre ambos. Dada la escasa diferencia existente entre el actual y el “Yanmar” se elegiría el actual por el coste de inversión.
- Las emisiones son de elevado valor en todas las opciones de motorización. El motor actual sería el segundo que menos cantidad de CO₂ emitiría.
- En cuanto a las dimensiones se puede observar que el motor “Wartsilä” supera las dimensiones del espacio del motor en la cámara de máquinas. Para poder instalar este motor habría que reformar a mayores la cámara de máquinas. El resto de opciones no tendrían problema.
- El barco tiene un desplazamiento de unas 2000 t, el peso del motor representa solo el 1 % del desplazamiento total por lo que no es muy significativo.
- Con respecto a la regulación de la inyección; pese a tener la cámara de máquinas una ventilación y equipos que regulan la humedad se considera la regulación electrónica como un punto negativo. Los componentes electrónicos tienen mayor riesgo de fallo frente a la regulación mecánica. Esta última alarga la vida del motor y en caso de que el sistema de ventilación caiga no presentaría problemas frente a la corrosión.

4.1.7 Propeller Boss Cap Fins (PBCF)

Como elemento complementario se encuentra el PBCF. Mediante la adhesión de un dispositivo en la posición final del eje de transmisión se consigue una reducción del consumo de combustible al aprovechar mejor el flujo de agua que mueve la hélice [35].

Las aletas de la tapa de la hélice (PBCF) son un dispositivo de ahorro de energía que mejora la eficiencia de la hélice, requiriendo así menos potencia para propulsar el buque hacia adelante a una determinada velocidad. Se instala en la parte final del eje (Figura 4-14. Hélice con dispositivo PBCF.). La función principal del PBCF es mejorar las características de rendimiento de la hélice, mediante, entre otras cosas, la minimización del vórtice del cubo y la cavitación resultante del timón [35]. Al romper el vórtex generado en la parte posterior del capavete (cono que cierra el eje por detrás de la hélice) aumenta la eficiencia de la hélice contribuyendo así a ahorrar entre un 3% y un 5% de combustible. Esa mejor eficiencia energética se traduce en la reducción de gases de efecto invernadero y del impacto medioambiental de la nave [37].



Figura 4-14. Hélice con dispositivo PBCF [36].

Uno de los mayores fabricantes y distribuidores de este dispositivo es la compañía “MOL Techno-Trade”, los cuales fueron certificados en el año 2021 como el mejor dispositivo de ahorro de energía en barcos. ¿Cómo se refleja esa eficiencia en el buque? El consumo medio de combustible durante un año se ha estimado en 457 t/año. Según el precio del combustible, fijado en 295 € por t, el coste anual del combustible aproximadamente es de 134.900 €/año.

El precio de este dispositivo varía dependiendo del diseño del mismo, el diseño del PBCF está relacionado con el diseño del casco. Para obtener un valor concreto habría que realizar un estudio completo de la hidrodinámica del casco. Su coste de adquisición estaría entre 25.000 € y 40.000 €. Se procede a calcular el impacto económico que tendría instalar este dispositivo. El ahorro de combustible está estimado por el fabricante entre un 3-5 %. Todo ello reflejado en la Figura 4-15.

- Con el ahorro de combustible max: $457 \times (1-0,05) = 434$ t/año
- Con el ahorro de combustible min: $457 \times (1-0,03) = 443$ t/año

Se utiliza el mismo precio del combustible.

- Precio € max: $434 \times 295 = 128.030$ €/año
- Precio € min: $443 \times 295 = 130.685$ €/año

Cálculo del ahorro económico.

- Ahorro max: $134.900 \text{ €/año} - 128.030 \text{ €/año} = 6870 \text{ €/año}$
- Ahorro min: $134.900 \text{ €/año} - 130.685 \text{ €/año} = 4215 \text{ €/año}$

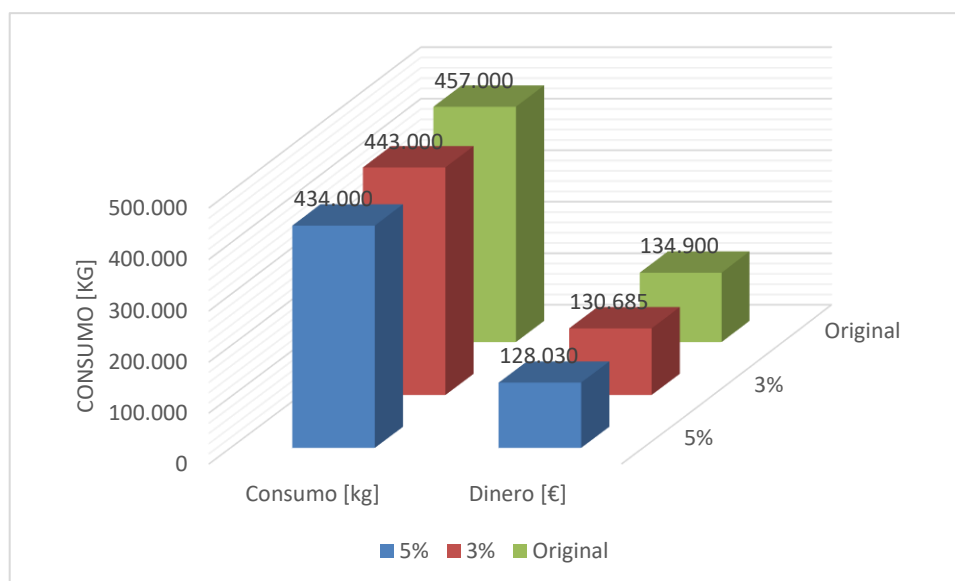


Figura 4-15. Relación de ahorro con PBCF. Elaboración propia.

La instalación de este dispositivo puede implementar el ciclo de vida del barco. Las obras de media vida del barco están programadas para 2023. Teniendo en cuenta el rango de precios del PBCF y el ahorro máximo y mínimo la inversión se amortizará entre 4 y 10 años. Con un ciclo de vida inicial de 23 años y un tiempo máximo de amortización de 10 años se concluye que resultaría rentable la inversión.

4.1.8 Empleo de energías renovables en equipos auxiliares

Dentro de los sistemas alternativos se puede encuadrar el empleo de energías renovables. Estas se podrían utilizar para el alumbrado de espacios de medianas proporciones o el suministro eléctrico de equipos en el puente podría abastecerse mediante el uso de energías renovables como la energía solar o la energía eólica. En este apartado se expondrán las posibilidades que habría con cada una de las citadas fuentes de energía, cuánto costaría hacer dicha instalación y si sería suficiente para satisfacer las necesidades que se han establecido como objetivo.

Al estar en un barco se dispone prácticamente en todo momento tanto de viento como de horas de sol. Por lo que a priori, no debería ser esto un problema. El mayor inconveniente vendrá con el espacio útil que habría en el buque para poder ubicar estas instalaciones. A primera vista, la única zona del barco dónde hay un espacio sin utilizar y por donde no hay tránsito regular de personal es el techo del puente. A este se puede acceder por ambas bandas (denominación náutica de los lados del barco) mediante una escalera de acceso vertical. En primer lugar, se expondrán las opciones relacionadas con la energía eólica y a continuación aquellas que necesiten de la luz solar para funcionar, la energía fotovoltaica.

- Energía eólica

Una instalación de energía eólica podría utilizarse para el suministro eléctrico de equipos y sistemas de navegación. Para ello se recurre al uso de aerogeneradores como los que se montan en las embarcaciones de recreo para suministrar de electricidad a cocinas, alumbrado general y equipos de navegación.

El concepto es el mismo que el de los grandes aerogeneradores que instalan las eléctricas en las zonas de mucho viento. Estos aerogeneradores están formados por un molino con una serie de aspas que transforman la energía cinética del viento en energía de rotación. El rotor movido por el viento está dentro de un alternador donde la energía mecánica de la rotación se transforma en energía eléctrica. Este dispositivo se recomienda que se sitúen a una altura considerable y en una zona donde tenga viento de forma sostenida. La cubierta del techo de puente cuenta con la altura requerida y con espacio de sobra

para la instalación de uno o varios aerogeneradores. En función de la longitud de las palas se situarían a una altura u otra para evitar el riesgo de accidentes con el personal que pueda subir a dicha zona [38].

La instalación de cuatro turbinas eólicas del fabricante chino “WANGYONGQI” (Figura 4-16) que proporcionan una potencia nominal de 3 kW cada una. Colocadas en serie se obtendría una potencia nominal total de 12 kW. El voltaje nominal de estas turbinas va desde los 24 V hasta los 220 V por lo que no presentarían un problema a la hora de conectar los equipos.

Sin contar la mano de obra cada aerogenerador tiene un precio de 1082,00 €, siendo el coste de los cuatro de 4328,00 €. Para realizar esta instalación no sería necesario hacerlo en un periodo de obras grandes, pudiendo realizarse junto con los mantenimientos rutinarios en puerto.



Figura 4-16. Aerogenerador eléctrico de 3kW [68].

Se procede a realizar el estudio con la misma instalación de aerogeneradores para satisfacer el servicio de lavandería. El servicio de lavandería está compuesto de una lavadora de 10 kg, dos lavadoras de 8 kg y secadoras de 8 kg de capacidad. El consumo medio de una lavadora es de 180 kWh, el de las secadoras está en torno a los 175 kWh. Por tanto, haría falta una potencia mínima de 540 kWh para las lavadoras y de 525 kWh para las secadoras. Como se puede observar, la instalación de aerogeneradores no es suficiente para abastecer el servicio de lavandería.

Los equipos de navegación que hay en el puente necesitan una potencia de entre 40-100 kW. En el puente se encuentran unos 14 equipos; tanto radares de navegación como sistemas de comunicaciones. No se han tenido en cuenta en este estudio los equipos de comunicaciones por satélite. Por tanto, si se redondea hacia arriba se tiene que la potencia necesaria para el funcionamiento de estos equipos sería de 14 kW.

La instalación puede dar una potencia de hasta 12 kW, no sería posible proporcionar electricidad a todos los equipos de navegación con la instalación de aerogeneradores.

- **Energía solar**

La instalación para la obtención de energía solar se ubicaría en el techo del puente, por ser este el único espacio del barco donde hay espacio para colocar los paneles y el único espacio por el que no hay tránsito de personal salvo para el mantenimiento de las antenas que hay instaladas. Para realizar una instalación de placas fotovoltaicas se puede contar con casi toda la cubierta del techo. En esta cubierta situada en lo más alto del barco tan sólo se encuentran las antenas de los equipos del puente. Hay por tanto bastante espacio que se podría aprovechar para este fin. Dada su localización la cubierta del techo del puente (Figura 4-17) no cuenta prácticamente con elementos que se pudieran interponer y tapar los paneles, por ello es la localización ideal para esta instalación.

Cálculo del espacio útil en el techo del puente:

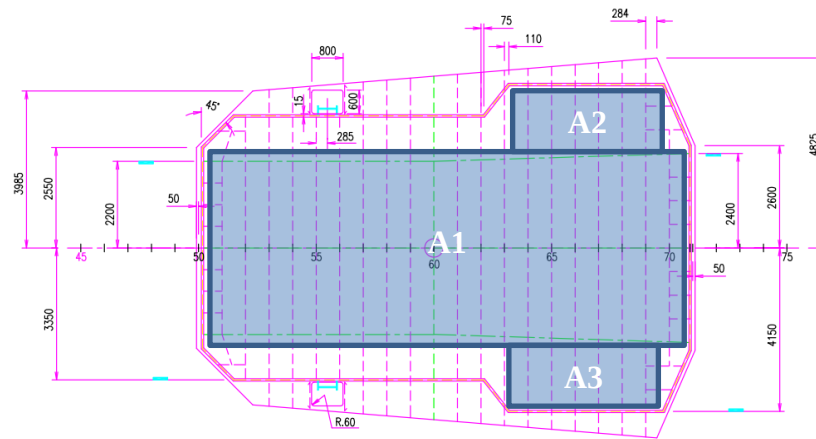


Figura 4-17. Espacio total. Elaboración propia (Anexo 1).

Área 1: $21 \text{ m} \times 2 \times 2,55 \text{ m} = 107 \text{ m}^2$

Área 2: $6,5 \text{ m} \times 1,44 \text{ m} = 9,3 \text{ m}^2$

Área 3: $6,5 \text{ m} \times 1,44 \text{ m} = 9,3 \text{ m}^2$

Área total: $107 + 9,3 \times 2 = 125,6 \text{ m}^2$

De esta área total habría que dejar espacio para permitir el acceso a las antenas y a los paneles para posibilitar la realización de tareas de mantenimiento. Por lo que el espacio disponible quedaría reducido al siguiente, Figura 4-18:

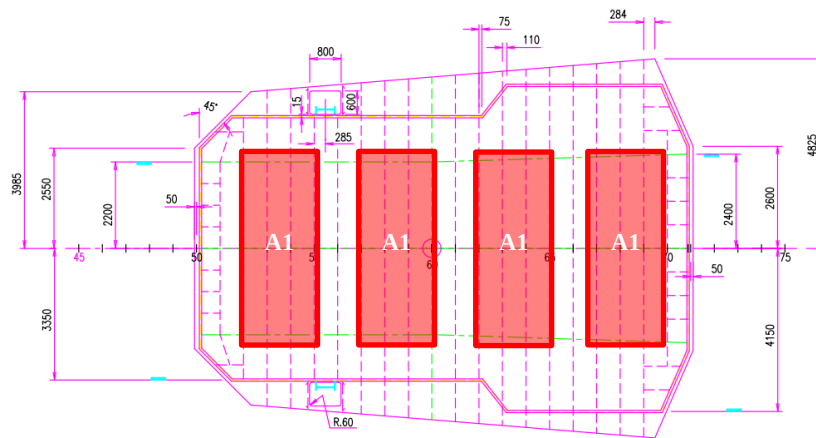


Figura 4-18. Espacio útil. Elaboración propia (Anexo 1).

El espacio útil quedaría reducido a:

Área útil: $4 \times 15,3 \text{ m}^2 = 61,2 \text{ m}^2$

Para estudiar la viabilidad de la instalación se han elegido las placas fotovoltaicas de “JA SOLAR”. Los paneles “Deep Blue” de 405 W 31V de máxima, utilizan células de tipo Mono cristalino Perc, estos paneles se caracterizan por proporcionar una gran potencia. Así mismo aumentan el rendimiento de la instalación frente a otros paneles del mercado. Sus dimensiones son de 1722 x 1134 x 30 mm y tienen un peso de 21,5 kg [39].

Teniendo en cuenta el espacio útil para colocar los paneles se procede al cálculo de cuantos paneles sería posible colocar en función del espacio disponible (ver Figura 4-19) y de si la potencia que generan estos paneles sería suficiente para satisfacer las necesidades que se quieren cubrir con ellos:

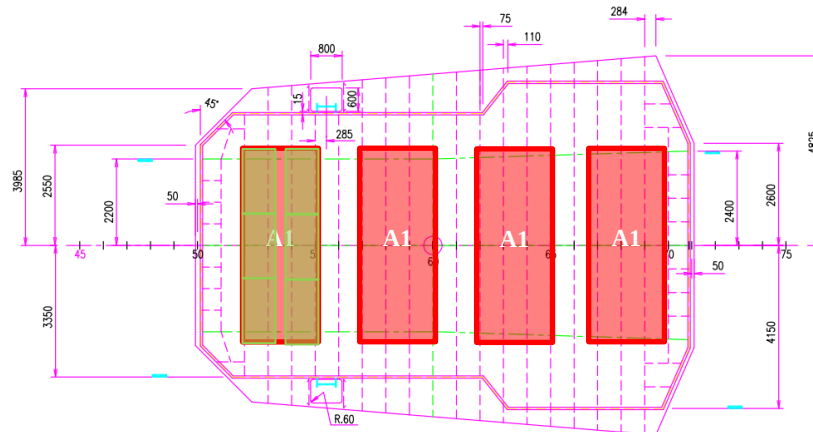


Figura 4-19. Disposición de las placas. Elaboración propia (Anexo 1).

Siguiendo esta distribución, donde se colocarían seis paneles en cada área, podrían colocarse un máximo de veinticuatro paneles. Como cada panel proporciona una potencia de 405 W, el total de la instalación llegaría a proporcionar una potencia máxima de 9,7 kW. El precio de cada uno de los paneles fotovoltaicos es de 236 €, siendo el precio total de los veinticuatro paneles de 5664 €. A esto habría que sumar el coste de la mano de obra para la instalación.

Los equipos de navegación que hay en el puente necesitan una potencia de entre 40-100 kW. En el puente se encuentran unos 14 equipos; tanto radares de navegación como sistemas de comunicaciones. No se han tenido en cuenta en este estudio los equipos de comunicaciones por satélite. Por tanto, si se redondea hacia arriba se tiene que la potencia necesaria para el funcionamiento de estos equipos sería de 14 kW. La instalación en este caso no sería suficiente para abastecer todos los equipos.

El servicio de lavandería está compuesto de una lavadora de 10 kg, dos lavadoras de 8 kg y secadoras de 8 kg de capacidad. El consumo medio de una lavadora es de 180 kWh, el de las secadoras está en torno a los 175 kWh. Por tanto, haría falta una potencia mínima de 540 kWh para las lavadoras y de 525 kWh para las secadoras. Como se puede observar, la instalación de paneles fotovoltaicos no es suficiente para abastecer el servicio de lavandería.

4.2 Medios pasivos

En este apartado se describen las propuestas denominadas como pasivas. No conllevan una modificación de la plataforma. Se centra en dos opciones. Una de ellas una modificación del combustible con la adición de agua al mismo. Por otro lado, utilizando el EEOI, con él se puede ver si las alguna medida o modificación sobre el buque constituye una mejora o no.

4.2.1 Emulsión del combustible

Se puede lograr una mejor combustión y un menor uso de combustible con combustibles modificados. Como resultado, las emisiones son más bajas y el motor funciona más frío, lo que se traduce también en menos mantenimiento.

La combustión del combustible diésel suele ser incompleta y emite no solo óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de carbono (CO_2), sino también monóxido de carbono (CO) y partículas materiales (Figura 4-20), lo que provoca graves problemas ambientales. Asimismo, se pueden crear depósitos de hollín dentro del motor o la cámara de combustión, lo que se traduce en un mayor consumo de combustible. Ante esta situación, la tecnología de combustibles en emulsión se ha propuesto como una alternativa para mejorar la eficiencia del combustible diésel y así reducir el impacto ambiental.

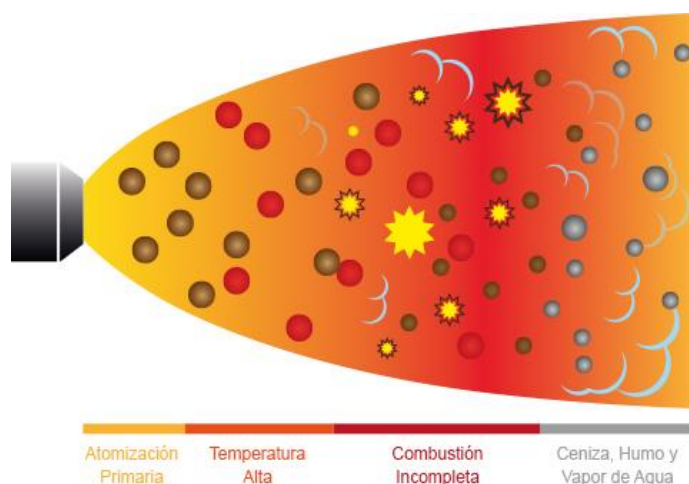


Figura 4-20. Emisiones en una combustión convencional [64].

Una emulsión es una mezcla de dos líquidos inmiscibles, como agua y diésel, donde uno se encuentra en forma de pequeñas gotas (fase dispersa) en el otro líquido (fase continua). Durante la emulsificación, la fase dispersa (agua) se introduce en la fase continua (gasóleo) y el producto resultante puede utilizarse como combustible [40].

En comparación con el diésel puro, el combustible de emulsión de agua en diésel reduce significativamente las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas (PM) en un promedio de 31,66 % y 16,33 %, respectivamente (ver Figura 4-21). En general, las emulsiones preparadas ultrasónicamente, ya sean inestables o estabilizadas con surfactantes, ayudan a ahorrar en torno a un 10% de combustible diésel y reducen las emisiones de escape [41].

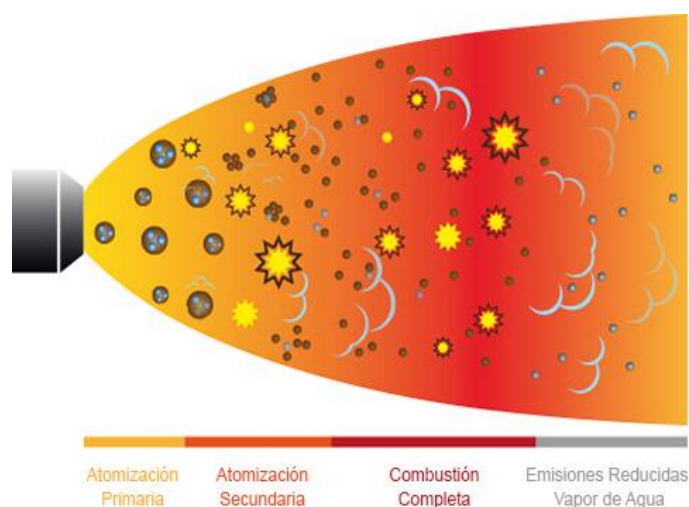


Figura 4-21. Esquema combustión con emulsión [70].

La instalación y retroalimentación de un sistema de emulsificación ultrasónica es simple, segura y económica (Figura 4-22). Los combustibles de emulsión W/D (agua y diésel en inglés) pueden utilizarse en combinación con cualquier motor diésel convencional (como los motores marinos) sin necesidad de realizar modificaciones en el mismo.

Para el análisis de esta tecnología y de la estimación económica se ha contactado con la empresa alemana, “*Hielscher Ultrasonics*”. Agradecer en primer lugar el apoyo y la disponibilidad de la empresa para la realización de este análisis (Anexo IV).



Figura 4-22. Esquema de ventajas de la emulsión. Elaboración propia.

En general es posible añadir hasta un 10 % de agua al combustible. La capacidad de procesamiento por cada 1 kW de equipo ultrasónico oscila entre los 1-4 L/min. La sonificación, proceso de emulsionar el agua por medio de ultrasonidos, se suele realizar justo antes de la inyección o combustión de la emulsión en el motor.

¿Cómo se calcula la potencia necesaria?

La capacidad de procesamiento de cada equipo se calcula en función del denominado aporte específico de energía. Este parámetro, también llamado densidad energética, no es más que la energía que ha de transferirse a cada 1 mL de producto para obtener los resultados esperados. Este parámetro se mide en J/mL, así mismo determina los costes del escalado. Para emulsionar el agua en el combustible se requiere entre 15-60 J/mL. Con el objetivo de optimizar el rendimiento al máximo posible este parámetro se calcula en un laboratorio. Aquí para el trabajo se va a realizar un cálculo piloto a partir del consumo del motor.

Se calcula el caudal con el consumo medio. Se pasa el consumo de kg/h a L/h utilizando la densidad del fuel F-76.

1. Se calcula el caudal necesario, que será la capacidad de procesamiento para la potencia que se busca:

$$373 \text{ kg/h} \times 0,876 \text{ kg/L} = 326 \text{ L/h} = 5,4 \text{ L/min} = 90 \text{ mL/s}$$
2. Cálculo de la potencia, se utiliza un aporte de energía de 37 J/ml (valor medio del rango de trabajo):

$$\text{Capacidad de procesamiento} \left(\frac{\text{mL}}{\text{s}} \right) = \frac{\text{Potencia neta (W)}}{\text{Aporte específico de energía} \left(\frac{\text{J}}{\text{mL}} \right)}$$

$$\text{Pot neta} = 90 \text{ mL} \times 37 \text{ J/mL} = 3330 \text{ W}$$

El precio por cada 1 kW de equipo ultrasónico ronda los 15.000,00 €. Por lo que para adquirir una potencia de 4 kW el coste sería de 45.000,00 €. Todo ello sin tener en cuenta que los accesorios especiales, como bien pueden ser: sensores de presión, válvulas o armarios de protección acústica pueden aumentar el precio final de la instalación.

Tras contactar con el fabricante se reporta que los parámetros de presión y temperatura antes de la inyección del combustible (450 bar y 650 °C) son muy superiores a los admisibles por el equipo de ultrasonidos. Esto conlleva tener que realizar la emulsión antes de la inyección. El equipo de ultrasonido puede trabajar hasta los 5 bar. El combustible llega a los inyectores a una presión de 3 bar, presión menor a la máxima y la temperatura es de 36 °C, también dentro de los parámetros de trabajo del equipo.

Al tener que emulsionar el combustible antes de su llegada a los inyectores aumenta la potencia necesaria hasta los 10 kW. Esto se debe a que al llegar el combustible a menor temperatura dificulta la mezcla. Se procede a calcular la potencia necesaria. El fabricante recomienda el uso de equipos de menor potencia trabajando en paralelo frente a uno solo de mayor potencia. De este modo se consigue aumentar la superficie de sonificación, redundancia frente a posibles averías y mayor flexibilidad.

Se propone de tal modo la instalación de cinco unidades UIP2000hdT (ver Figura 4-23). El coste de esta instalación alcanzaría los 150.000 €. Sin tener en cuenta las conexiones, tuberías, válvulas, dosificadores y bombas que no las proporciona la empresa.



Figura 4-23. Equipo UIP2000hdT [73].

Dado el alto valor de la inversión se realiza una tabla de decisión, se analizan los siguientes parámetros.

- Consumo. Se calcula el ahorro de combustible en el mejor y en el peor de los casos.
- Emisiones. Se calcula una estimación en el mejor y en el peor de los casos de la cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera.
- Ahorro. Cantidad anual que se ahorraría en combustible
- Inversión. Precio de la instalación

En la Tabla 5 se reflejan los valores de consumo, emisiones emitidas e impacto económico en los casos de ahorrar con este sistema entre 1-10 % de combustible.

Tabla 5. Comparativa de la emulsión. Elaboración propia.

	Consumo F-76 [t/año]	NO _x [t/año]	Carbono [t/año]	Gasto F-76 [€/año]	Ahorro [€/año]	Inversión [€/año]
Original	457	17,5	9	134.894	0	0
1 % ahorro	452	17,3	8,9	133.545	1.349	150.000
3 % ahorro	434	16,7	8,6	128.149	6.745	150.000
5 % ahorro	411	15,8	8,1	121.404	13.489	150.000

De la tabla se analiza:

- Consumo. El emulsionado por su naturaleza conlleva un ahorro de combustible.
- Emisiones. Al quemar menos combustible se emiten por tanto menos sustancias contaminantes. A la vista de los datos se observa como disminuyen las emisiones de NO_x y de C.
- Ahorro. Con la crisis energética que se vive en la actualidad es un factor a tener en cuenta. También a nivel institucional el dinero que se ahorra en combustible se puede invertir en otras necesidades. En el mejor de los casos la inversión se amortizaría en torno a 12 años.

4.2.2 Cálculo de EEOI

El EEOI puede dar mucha información sobre cómo está funcionando el barco o lo que se hace sobre él. Conociendo el índice del buque es posible identificar que algo no está funcionando bien. Si se observa que el índice aumenta significa que el barco está siendo menos eficiente por alguna razón. Estas variaciones se utilizan también para saber si las mejoras hacen el barco más eficiente o no.

Para calcular el EEOI estimado del motor se utilizarán los valores de consumo específicos para de una navegación de 15 días. Puesto que el EEOI es un índice que incluye parámetros como la carga transportada se debe tener en cuenta que un buque de guerra solo transporta la carga de su dotación y de las operaciones que desempeña. Por ello se utilizará una modificación del EEOI [22] para tener estos parámetros en cuenta.

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{(d_i \times D_i) + (p_i \times D_i)}$$

Descripción de la fórmula:

j: es el tipo de combustible empleado en la navegación: F-76

i: el número de viaje al que corresponde el consumo.

FC_{ij}: masa de combustible j consumido en el viaje i.

CF_j: factor de conversión de la masa de combustible j en masa de CO₂: 3,21

D_i: desplazamiento del buque en i: 1928 t

p_i: dotación embarcada en i: 38 pax

Di: distancia recorrida en el viaje i en millas náuticas (nm): 2518 mn

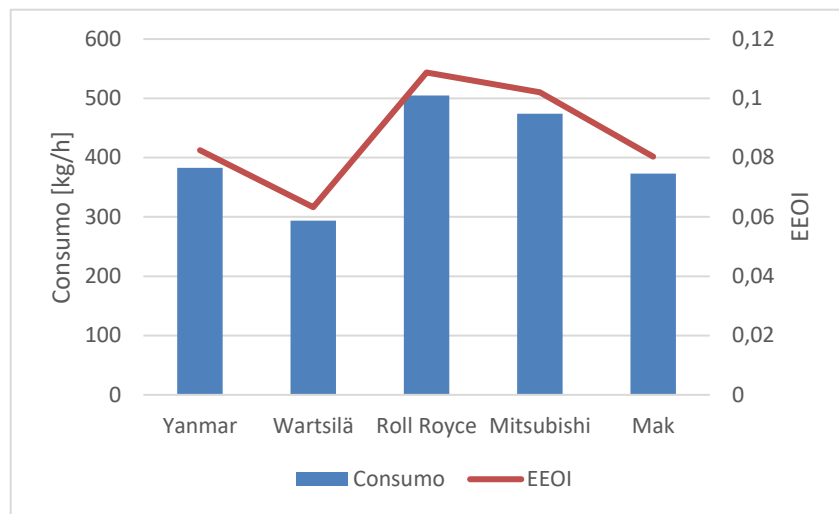


Figura 4-24. Relación de EEOI. Elaboración propia.

En la Figura 4-24 se puede observar como el EEOI está directamente relacionado con el consumo del motor. Los motores con mayor índice de consumo presentan mayor EEOI. Cuanto menor sea este índice más eficiente es el motor.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

En este apartado se desarrollan las conclusiones a las propuestas mostradas con anterioridad. Se expondrán las razones que han llevado a dar por válida o no una propuesta. Se seguirá el orden lógico con el que se expusieron. Al enfrentarse al final del ciclo de vida de un barco surge una dicotomía; desechar la plataforma adquiriendo otra o conservarla realizándole las mejoras necesarias para darle un segundo ciclo de vida. Las mejoras que se han propuesto:

- Tras estudiar los tipos de propulsión y analizar el comportamiento del barco se llegó a la conclusión de que la propulsión con un motor diésel era la mejor opción. El barco en sus misiones no requiere de elevados picos de velocidad, es más, suele operar a poca velocidad por lo que un motor diésel salía más rentable. Una vez elegido el tipo de propulsión se hizo un estudio de mercado entre diversos fabricantes de motores marinos. Se escogieron cuatro opciones que fueron enfrentadas entre sí. Al comprarlas se pudo observar que el motor actual tenía mejores datos de consumo y de cantidad de contaminantes emitidos. Por ello, se concluye en base a las posibles alternativas analizadas, que no es necesario sustituir el motor Mak tipo 8M-25 que posee el barco.
- Optimizar el rendimiento del barco con una inversión en una hélice PBCF, de menos de 40000 € la hacen una inversión asumible y por las mejoras en rendimiento que conlleva y, por lo tanto, en la reducción en consumo y emisiones.
- El uso de energías renovables para la alimentación de los equipos de navegación resulta inviable en este caso. No se obtenía una potencia suficiente para alimentar a los equipos.
- La modificación del combustible mediante la incorporación de agua permite, entre otras cosas, utilizar menos combustible, lo que se traduce en un ahorro económico de forma anual y en una menor cantidad de emisiones emitidas. Del mismo modo al incluir el agua en la mezcla se conseguía reducir la temperatura de la combustión. Esto disminuye también la cantidad de emisiones contaminantes y aumenta la vida útil del motor, al someterse este a menos esfuerzos.
- La temperatura y presión de entrada al motor complica y encarece la instalación, pero no la imposibilita. La inversión en esta tecnología es alta, pero puede amortizarse en el tiempo de vida restante del barco.
- El EEOI refleja de forma gráfica cómo está consumiendo el buque. Se debe tener presente para saber de forma sencilla si las mejoras que se implanten, hacen del barco o no una plataforma más eficiente. En este barco, inicialmente, el EEOI es de 0,08. Los cálculos posteriores tras la implementación de las mejoras nos indicarán si esas mejoras son efectivas o no.

5.2 Líneas de mejora futuras

En este apartado se han incluido aquellas medidas que podrían incorporarse en un futuro próximo, las obras de media vida. Las obras de media vida del P-63 “Arnomendi” están programadas para el año 2023. En las obras de este tipo se deja el buque en dique seco y se renueva casi por completo con el objetivo de prorrogar su vida operativa. Son obras donde se desembolsa una gran cantidad de dinero para mantener la operatividad de la plataforma y evitar tener que adquirir una nueva. Entre las medidas se han incluido algunas de las mejoras que desde el barco querrían implantar.

5.2.1 Diseño del bulbo

La modificación de la proa del barco (ver Figura 5-1) es una forma eficaz de reducir el consumo de combustible de los buques. La forma de este está directamente relacionada con el comportamiento del barco al paso de las olas.

Durante el movimiento de avance del buque, la proa genera olas alrededor del casco debido a las diferencias de presión. Con la instalación de un bulbo en la proa, estas olas se generan delante de la proa, mientras que, sin el bulbo, las olas se forman en la extensión de la quilla y el casco sufre una mayor fricción con las crestas de las olas generadas. Cuanto mayor sea la velocidad del barco, mayores serán las olas. A mayor tamaño de estas olas mayor será la dificultad del buque para avanzar. De este modo, el bulbo suaviza las olas que se forman, generando olas con periodos diferentes que a cierta velocidad pueden llegar a anularse [42], [43]. Al suavizar la magnitud de las olas a su paso el buque se encuentra menos oposición al avance. Menos oposición implica menos energía para hacerlo y por ello menos emisiones contaminantes emitidas.

Para realizar estas obras sería conveniente esperar a un periodo de varada donde el buque entrada en dique seco. Cortando toda la sección del bulbo y sustituyéndola por el bulbo nuevo.

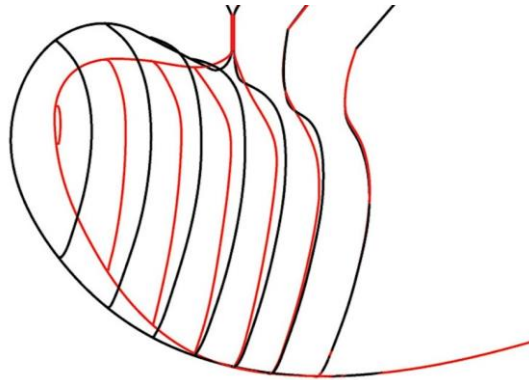


Figura 5-1. Diferencias entre un bulbo convencional (negro) y uno mejorado (rojo) [67].

5.2.2 Sistema Integrado de Control de Plataforma (SICP)

El sistema integrado de control de plataforma lo forman el conjunto de elementos tanto hardware como software que permiten la automatización, el control y supervisión de todos los equipos que se instalan. Puede considerarse como el cerebro del buque, su objetivo principal es proporcionar toda la información sobre el buque de forma accesible desde cualquier consola. Para controlar la estructura jerárquica el control de cada servicio se asigna sólo a una consola, denominada supervisora. El sistema se construye sobre una arquitectura distribuida y redundante a todas las consolas.

Los barcos presentan centenares de circuitos y mecanismos. Con la instalación de un SICP es posible conocer donde se ha producido un fallo o avería con total exactitud. De esta forma se reducen los tiempos de mantenimiento. En caso de tener en el barco un incendio o incluso humo la alarma saltaría instantáneamente en el SICP. De esta forma se podría actuar sobre ella y evitar que pueda ir a más.

La principal ventaja que aporta este sistema es la automatización y disminución de los tiempos de reacción y que al estar presentado sobre una misma interfaz gráfica es más sencilla de interpretar y evita el tener que conocer distintas aplicaciones [44].

5.2.3 Sistema de extinción por agua nebulizada

Actualmente el buque posee un sistema de extinción de incendios en la cámara de máquinas por medio de CO₂. Este método es muy eficaz contra los incendios, pero es a su vez letal para el personal. En caso de quedar alguien atrapado en la cámara de máquinas no tendría ninguna posibilidad de sobrevivir. Por esta razón se están sustituyendo por sistemas de extinción mediante agua nebulizada.

Los sistemas de extinción por agua nebulizada apagan el fuego por enfriamiento y sofocación. Las gotas de agua evaporadas ocupan un gran volumen y desplazan y enfrían el aire lejos del fuego. Para la instalación de este sistema habría que hacer un estudio del balance de pesos para la instalación de los tanques de agua.

6 BIBLIOGRAFÍA

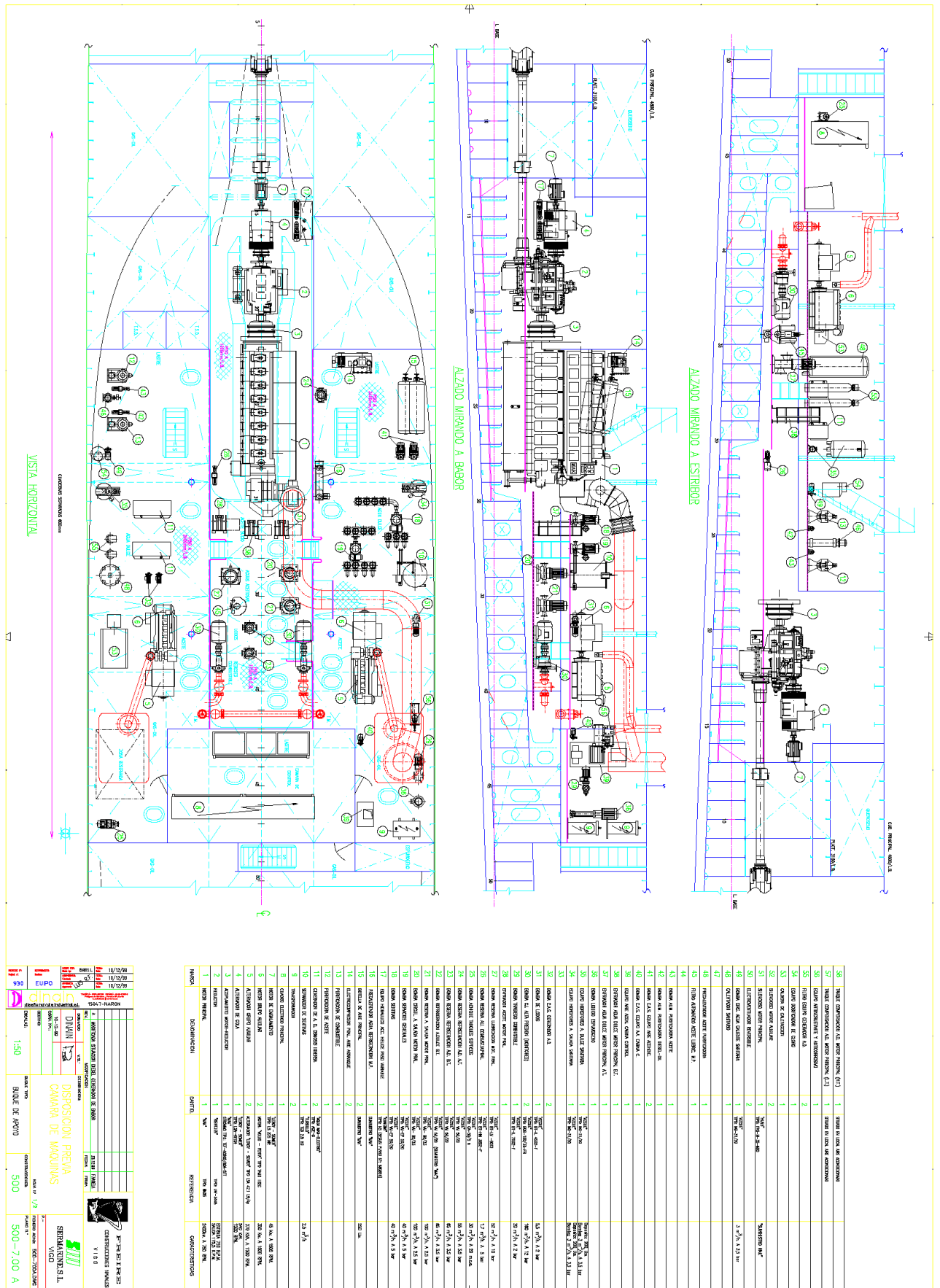
- [1] <http://tecnologia-maritima.blogspot.com/2013/03/contro-de-emisiones-en-motores-marinos.html>.
- [2] B.Veritas, «bureauveritasformacion.com,» <https://www.bureauveritasformacion.com/>.
- [3] J. A. d. J. Pérez, «El motor diesel en la industria naval,» 2001.
- [4] Reverté, *Motores de combustión interna alternativos*.
- [5] M. K. y. T. H., *Handbook of Diesel Engines*, Ed. Springer, 2010.
- [6] M. R. Patel, *Shipboard propulsion, power electronics and ocean energy*, Taylor & F G, 2012.
- [7] N. Post, «Naval Post,» <https://navalpost.com>.
- [8] J. Carlton, *Marine propellers and propulsion*, London, 2011.
- [9] «Engineerlive.com,» <https://www.engineerlive.com>.
- [10] M. Ragheb, *Nuclear naval propulsion*, 2011.
- [11] «marineinsight.com,» <https://www.marineinsight.com>.
- [12] M. ENM, «Introducción a las turbinas de gas marinas. Publicación 579.,»
- [13] M. ENM, «Principios básicos de las turbinas de gas navales. Publicación 2602.,»
- [14] P. F. y. D. J.M., «Motores de combustión interna alternativos.,» Reverté, 2011.
- [15] <http://www.naval582.com>
- [16] «britannica,» <https://www.britannica.com>
- [17] «ingenieromarino,» <https://ingenieromarino.com/el-convenio-marpol-7378>.
- [18] «imo,MARPOL,» <https://www.imo.org>.
- [19] «imo.org/EEDI,» <https://www.imo.org/es>.
- [20] «Traslación y aplicación de la normativa de la eficiencia energética en la marina mercante al ámbito militar,» 2017.
- [21] L. E. Perales, *EFICIENCIA ENERGÉTICA EN BUQUES DE GUERRA. ANÁLISIS DE DATOS DE CONSUMO DE UN BUQUE DE GUERRA Y POSIBILIDADES DE REDUCCIÓN.*, 2017-2018.
- [22] Pedro Jesús Carrasco Pena, *Análisis y Control Estadístico de la Calidad Aplicado a la Eficiencia Energética de Sistemas Embarcados en Buques de Guerra*, 2019.
- [23] «Puerto de Coruña,» <http://www.puertocoruna.com>.
- [24] <https://www.mapa.gob.es/es/pesca>.
- [25] G. d. España, «boe.es,» <https://www.boe.es>.
- [26] <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos>.
- [27] <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza>.

- [28] «Armada,» <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/patrullero-arnomendi-p-63>.
- [29] *Libro historial*, 2022.
- [30] «analisismaquinas,» [<http://analisismaquinas.blogspot.com>].
- [31] P. Arnomendi, «Libro historial,» 2022.
- [32] «cosasdebarcos,» <https://www.cosasdebarcos.com/>.
- [33] <https://www.yanmarmarine.eu/Products>.
- [34] <https://www.wartsila.com/marine>.
- [35] «Design optimisation of PBCF for enhanced propeller performance,» 2016.
- [36] <https://www.motech.co.jp/>.
- [37] <https://www.veintepies.com>.
- [38] <https://www.solobarcos.es>
- [39] <https://autosolar.es/paneles-de-conexion-a-red>.
- [40] <https://www.hielscher.com/es>.
- [41] «Experimental study of foamed emulsion combustion: Influence of solid microparticles, glycerol and surfactant,» 2017.
- [42] <https://consigmar.com>.
- [43] «Genetic algorithm optimization of a ship's bulbous bow,» 2011.
- [44] <http://www.arisnova.com/naval/complex>.
- [45] «Web de La Moncloa,» <http://www.lamoncloa.gob.es>.
- [46] J. Rodríguez y V. Fernández, Editorial Genios, 2010.
- [47] P. Martínez y A. García, Cómo escribir una buena memoria de TFG, Publicaciones del 2000, 2013.
- [48] A. Pérez, Cómo escribir una bibliografía, Nuevas publicaciones.
- [49] «tecnologia-maritima.blogspot.com,» <http://tecnologia-maritima.blogspot.com>.
- [50] <https://www.marineinsight.com>.
- [51] <http://www.puertocoruna.com/es/autoridad-portuaria/sostenibilidad/medio-ambiente/declaracion.html>.
- [52] <http://www.imo.org/conventions>.
- [53] «fondera.org,» <http://www.fondear.org>.
- [54] «gcaptain.com,»<https://gcaptain.com/havyards-hydrogen-propulsion-system-could-be-ready-in-2021>.
- [55] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/COGAG-diagram.png>.
- [56] «presemar,» <https://presermar.com.co/servicios-marpol>.

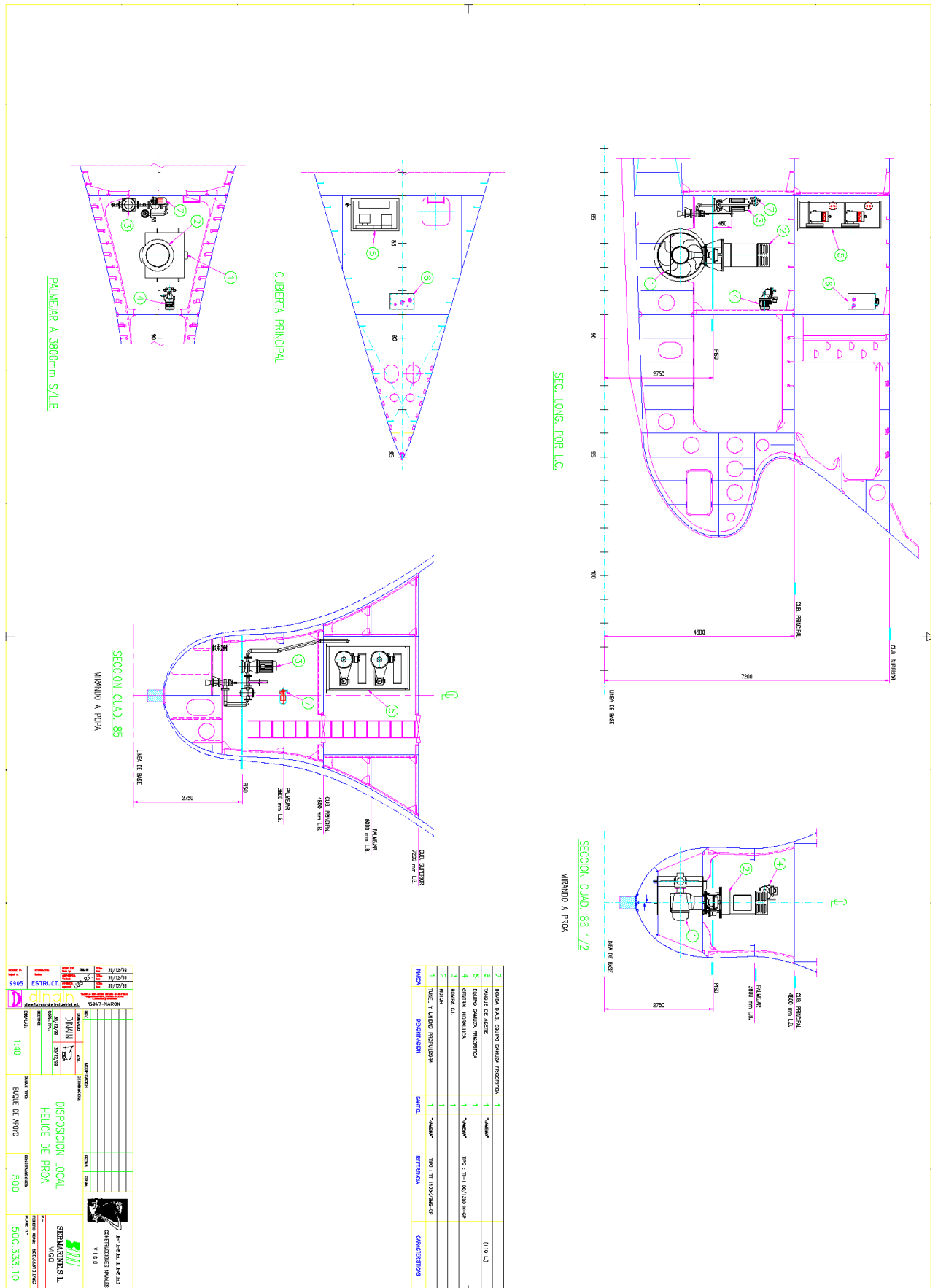
- [57] «researchgate,»<https://www.researchgate.net/figure/ECA>
- [58] «miteco,»<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad>.
- [59] «marpoltrainig,» <http://www.marpoltraining.com>.
- [60] «deltamarin,»<https://deltamarin.com/future-fuel-options-and-emission-control>.
- [61] «researchgate,»<https://www.researchgate.net>.
- [62] «bollfilter,»<https://www.bollfilter.com/es/planta-de-desalinizacion>.
- [63] https://upload.wikimedia.org/Fragata_F-101.jpg.
- [64] «lavozealicia,»<https://www.lavozdigital.es>.
- [65] «Full scale applications of air lubrication for reduction of ship frictional resistance,» 2017.
- [66] <https://midc.be/wp-content/air-lubrication.jpg>.
- [67] <https://forcetechnology.com/en/ship-propulsion-optimisation>.
- [68] <http://www.fondear.org/infonautic/GeneradorEolico/.htm>.
- [69] «Consejo nacional de seguridad nuclear,» <https://www.csn.es>.
- [70] <https://elmaquinante.blogspot.com/uso-de-combustible-emulsionado.html>.
- [71] <https://www.mtu-solutions.com/eu/en/.html>.
- [72] «Mitsubishi,» <https://engine-genset.mhi.com/marine-engines>.
- [73] <https://www.hielscher.com/es/-ultrasonicator.htm>.

Después de esta sección, pueden figurar tantos anexos como sea preciso.

Plano general de la cámara de máquinas, planta y alzados derecho e izquierdo.



Plano del local de la hélice de proa o hélice de maniobra con alzado, planta y perfil.



Plano general de las cubiertas con alzado y planta.



ANEXO II: MANUALES DE LOS MOTORES

En este anexo se incluyen todos los manuales con los datos técnicos de los fabricantes y de los motores que han sido estudiados como posibles sustitutos del motor principal.

YANMAR

8EY26W

Power

2060~2560kW

■ Main Data

Type 4-stroke, Diesel
No. of Cylinders In-line 8
Cylinder Bore 260 mm
Piston Stroke 385 mm
Mean Effective Pressure 2.02 - 2.50 MPa
Piston Speed 9.63 m/s

■ Rated Power

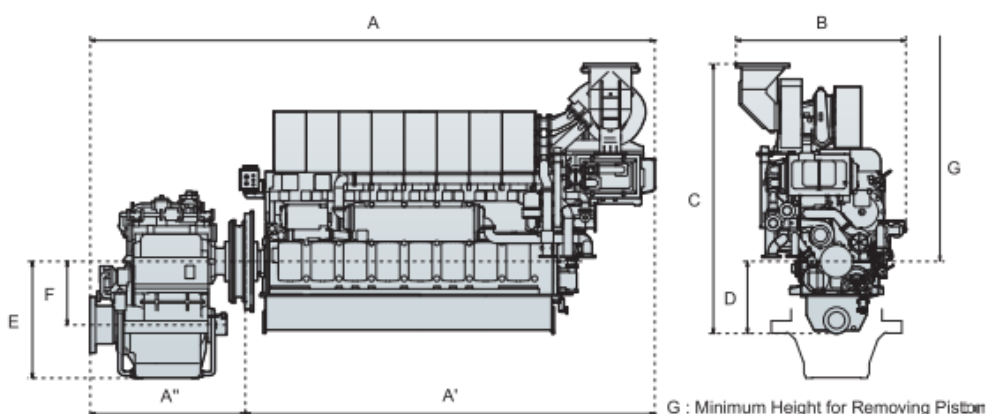
Engine Model	8EY26W			
Continuous Rated Power kW (PS)	2060 (2801)	2210 (3005)	2360 (3209)	2560 (3481)
Rated Engine Speed min ⁻¹	750	750	750	750
Engine Dry Weight kg	24500	24500	24500	24500

■ Standard Marine Gear

Propeller Type	for C.P.P.	
Marine Gear Model	Offset	YX-3500M
	Co-Axial	YX-3500MC
Reduction Gear Ratio (Ahead)	Offset	2.55, 2.80, 3.09, 3.31
	Co-Axial	2.31, 2.54, 2.80, 3.00
Marine Gear Dry Weight kg	Offset	8700
	Co-Axial	8400

■ Dimensions [mm] / Weights [kg]

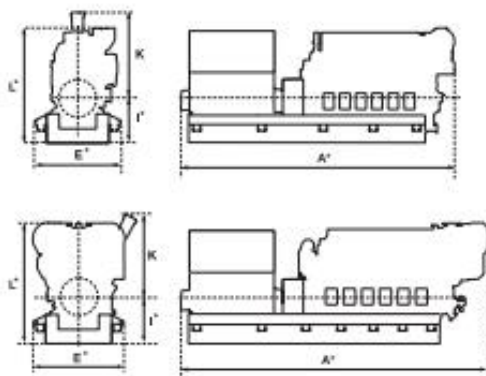
Engine Model	Marine Gear	A	A'	A''	B	C	D	E	F	G	Total Dry Weight with Marine Gear
8EY26W (2060kW) (2210kW)	YX-3500M	6912	5022	1890	2085	3257	842	1427	777	1900	33425
	YX-3500MC	7481	5022	2459	2085	3257	842	730	80	1900	33125
8EY26W (2360kW) (2560kW)	YX-3500M	6925	5022	1903	2085	3257	842	1427	777	1900	33485
	YX-3500MC	7494	5022	2472	2085	3257	842	730	80	1900	33185



The engine dry weight and outline may differ depending upon the specifications and attached accessories.



Main assembly shop for Wärtsilä 26 engines in Trieste, Italy.



WÄRTSILÄ

26

MAIN TECHNICAL DATA

Cylinder bore	260 mm
Piston stroke	320 mm
Speed	900 - 1 000 rpm
Mean effective pressure	24.3 - 23.0 bar
Piston speed	9.6 - 10.7 m/s
Voltage	0.4 - 13.8 kV
Alternator efficiency	0.95 - 0.96
Fuel specification:	
Fuel oil	730 cSt/50°C

7200 sR/1 100°F

ISO 8217, category ISO-F-RMK 700

SFOC 186-192 g/kWh

at ISO condition ± 5% tolerance

Rated power: Propulsion engines

Engine type	Output in kW/bhp at 900 rpm		Output in kW/bhp at 1 000 rpm	
	kW	bhp	kW	bhp
6L26	1 950	2 651	2 040	2 774
8L26	2 600	3 535	2 720	3 698
9L26	2 925	3 977	3 060	4 160
12V26	3 900	5 303	4 080	5 547
16V26	5 200	7 070	5 440	7 396

Principal engine dimensions (mm) and weights (tonnes)

Engine type	A*	A	B*	B	C*	C
W6L26	4 251	4 111	1 882	1 801	1 912	1 883
W8L26	5 166	4 939	2 020	1 825	1 912	1 879
W9L26	5 546	5 329	2 020	1 825	1 912	1 879
W12V26	5 218	4 968	2 074	2 074	2 453	2 453
W16V26	6 223	5 973	2 151	2 151	2 489	2 489
	D		F		Weight	
	dry sump		wet sump		dry sump	
W6L26	2 430	N.ya.	950	17.0	17.2	
W8L26	2 430	N.ya.	950	21.6	21.9	
W9L26	2 430	N.ya.	950	23.3	23.6	
W12V26	2 060	800	1 110	28.7	29.0	
W16V26	2 060	800	1 110	36.1	37.9	

* Exchangers at flywheel end

Rated power: Generating sets

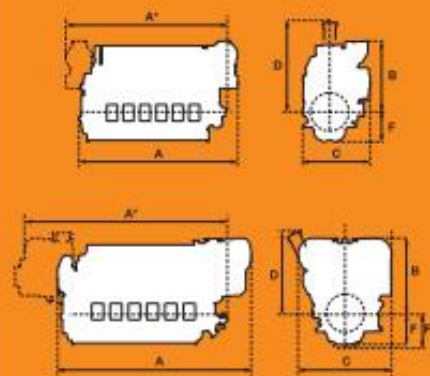
Engine type	Output at 900 rpm/60 Hz		Output at 1000 rpm/50 Hz	
	kW	kWe	kW	kWe
6L26	1 950	1 882	2 040	1 960
8L26	2 600	2 509	2 720	2 625
9L26	2 925	2 823	3 060	2 953
12V26	3 900	3 764	4 080	3 937
16V26	5 200	5 018	5 440	5 250

Principal generating set dimensions (mm) and weights (tonnes)

Engine type	A	A*	C	L	Weight**
6L26	7 345	6 546	2 300	73 020	37.7
8L26	8 243	8 167	2 300	3 125	42.9
9L26	8 853	8 731	2 300	3 125	47.5
12V26	8 353	N.A.	2 984	3 634	59.3
16V26	9 752	N.A.	2 990	3 711	68.8

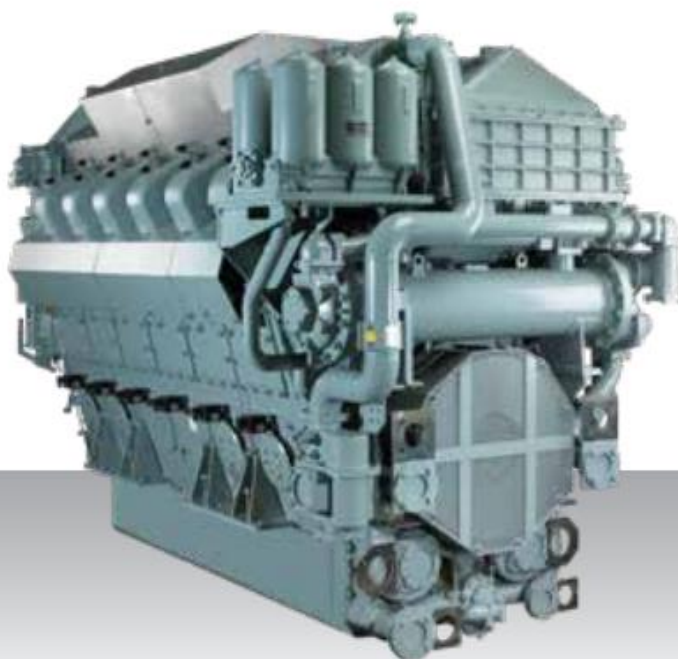
Gen. output based on generator efficiency of 96.5%.

* Exchangers at flywheel end. ** Dependent on generator type and table.



Propulsion - IMO Tier II
Medium speed

S12U-MPTK



12-cylinder, 4-stroke, water-cooled diesel engine,
with direct-injection, turbocharger and air-cooler.

Bore x stroke (mm) : 240 x 260

Displacement (l) : 141.15

Rating

kW	bhp	rpm	Rating	Emission
2014	2701	1060	HD	IMO Tier II
2205	2957	1150	HD-T	IMO Tier II
2238	3001	1100	MD	IMO Tier II

Engine dimensions & dry weight

L (mm) : 3562

W (mm) : 1910

H (mm) : 2374

Dry weight (kg) : 15500

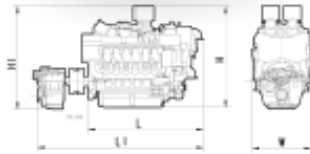
Dimensions and weight are based on standard configuration.



Marine

DIESEL ENGINES 12V 4000 M93/M93L

for fast vessels with low load factors (IDS)



Optional equipment and finishing shown. Standard may vary.

Engine	Dimensions (L x W x H) mm (in)	Mass, dry kg (lbs)
M93/M93L	2840 x 1465 x 2450 (111.8 x 57.7 x 96.5)	8410 (18540)
Engine with gearbox	Dimensions (L ₁ x W x H ₁) mm (in)	Mass, dry kg (lbs)
M93/M93L - ZF 7600	4075 x 1465 x 2500 (148.0 x 57.7 x 98.4)	9910 (21848)

Typical applications: Fast yachts, fast patrolboats, police craft and fire-fighting vessels

Engine type		12V 4000 M93	12V 4000 M93L
Rated power ICFN	kW	2340	2580
	(bhp)	(3140)	(3460)
Speed	rpm	2100	2100
No. of cylinders		12	12
Bore/stroke	mm (in)	170/190 (6.7/7.5)	170/190 (6.7/7.5)
Displacement, total	l (cu in)	51.7 (3155)	51.7 (3155)
Flywheel housing		SAE 00	SAE 00
Gearbox type ²⁾		ZF 7600	ZF 7600
Optimization of exhaust emissions ¹⁾		IMO II/EPA 2	IMO II/EPA 2

¹⁾ IMO - International Maritime Organization (MARPOL)

EPA - US marine directive 40 CFR 94

²⁾ gearbox variants "Down Angle (A)" and "V-Drive" available on request

ANEXO III: FUEL MARINO F-76

En este anexo se incluyen los datos técnicos que el fabricante proporciona.



GAS OIL F-76

Código Producto: 41939-000-00504

Revisión nº 1

Publicación: 27/01/2017

HIDROCARBURO

ESPECIFICACIONES DE PRODUCTO:

Características	Unidades	Norma	Mín.	Máx.
Aspecto		ASTM D 4178		C y B
Emuls. 25°C para 3m	[min]	ASTM D 1401		10
Densidad 15°C	[kg/l]	ASTM D 4052		0,876
		ASTM D 86		
Recogido 10 %(V/V)	[°C]			ANOTAR
Recogido 50 %(V/V)	[°C]			ANOTAR
Recogido 90 %(V/V)	[°C]			357
Destilac. Final	[°C]			385
Residuo + Perdidas	[%(V/V)]			3,0
Punto de Nube	[°C]	ASTM D 2500		-1
Color ASTM		ASTM D 1500		3
Inflamabilidad Pensky-Martens	[°C]	ASTM D 93	60,0	
Partículas	[mg/l]	ASTM D 5452		10
Pour Point	[°C]	ASTM D 97		-6
Viscosidad 40°C	[mm ² /s]	ASTM D 445	1,7	4,3
Estabilidad 40h	[mg/100ml]	ASTM D 2274		1,5
Numero de Acido	[mg KOH/g]	ASTM D 974		0,30
Cenizas	[%(m/m)]	ASTM D 482		0,005
C. Ramsbottom(10% R)	[%(m/m)]	ASTM D 524		0,20
Corr.Cu (3h 100°C)		ASTM D 130		1
Hidrogeno	[%(m/m)]	ASTM D 4808	12,5	
Numero de Celano		ASTM D 613	42	
Indice de Celano		ASTM D 976	43	
Numero de Celano Deducido		ASTM D 6890	42	
Azufre	[%(m/m)]	ASTM D 4294		0,1
Calcio	[ppm WT]	ASTM D 3605		1,0
Plomo	[ppm WT]	ASTM D 3605		0,5

COPIA IMPRESA NO CONTROLADA

1 / 2

ANEXO IV HEILSCHER ULTRASONIC

En este anexo se incluyen los datos técnicos que el fabricante proporciona.

Hielscher Ultrasonics– Your Expert for Ultrasonic Processes

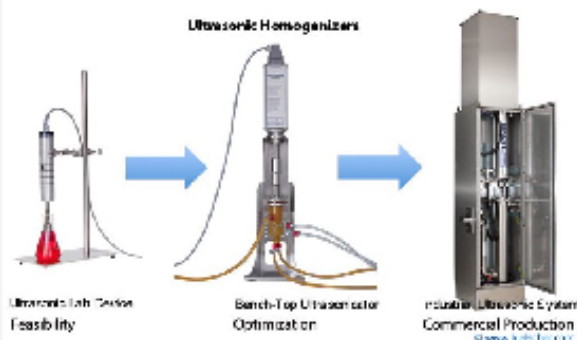
Hielscher Ultrasonics is the top supplier for high power ultrasound devices. Hielscher offers various ultrasonic processors for the use in lab, bench-top and industry. Important applications are homogenizing, emulsifying, dispersing, de-agglomeration as well as the sonochemistry and sono-catalysis.

Ultrasonic Homogenizing:

Hielscher homogenizers are very efficient for the reduction of soft and hard particles. By intense cavitation forces, ultrasound reduces small particles (solids or liquids) in a liquid to improve uniformity and stability.

Ultrasonic Emulsifying:

Emulsions are dispersions of two or more immiscible liquids. Highly intensive ultrasound supplies the power needed to disperse a liquid phase (dispersed phase) in small droplets in a second phase (continuous phase). In the dispersing zone, imploding cavitation bubbles cause intensive shock waves in the surrounding liquid and result in the formation of liquid jets of high liquid velocity. As ultrasonication can produce very small droplets of almost uniform size in batch and production process, ultrasound is an effective methods to create stable emulsions and even microemulsions.



Ultrasonic Dispersing & Deagglomeration:

The dispersing power of ultrasound is well-known and a reliable and efficient method to mix powders into liquids. High power ultrasound grinds and deagglomerates particles held together by attraction forces of physical and chemical nature down to micron and nano size and disperses the individual particles fine and evenly in the liquid. Generally, ultrasound produces very narrow particles size distribution.

Sono-Chemistry:

Sonochemistry is the application of ultrasound to chemical reactions and processes. The mechanism causing sonochemical effects in liquids is the phenomenon of acoustic cavitation.

High power ultrasound

- increases the reaction speed and reaction output,
- provides a more efficient energy usage,
- improves the performance of phase transfer catalysts or makes an avoidance of phase transfer catalysts possible,
- increases the reactivity of reagents or catalysts,
- offers sono-chemical means for switching of the reaction pathway,
- enables to use crude or technical agents,
- and activates metals and solids.

Sono-Catalysis:

Ultrasonication affects the catalyst reactivity during catalysis by enhanced mass-transfer and energy input. In heterogeneous catalysis, where the catalyst is in a different phase to the reactants, ultrasonic dispersion increases the surface area available to the reactants. Ultrasonication contributes to heterogeneous and homogeneous catalysis in many ways. Cavitation erosion on particle surfaces generates unpassivated, highly reactive surfaces. Short-lived high temperatures and pressures contribute to molecular decomposition and increase the reactivity of many chemical species. Ultrasonic irradiation can be used in the preparation of catalysts, e.g. to produce aggregates of fine-size particles.



Hielscher Ultrasonics GmbH
 Oderstr. 53, 14513 Teltow, GERMANY
 Phone: +49 (0)3328/ 437-420
 Web: www.hielscher.com Email: info@hielscher.com

hielscher ultrasonics