



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Máster
CURSO 2020/21**

*EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN BULK CARRIER DE
40000 TPM*

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA

Paula Ballester Falcón

TUTORA

María Sonia Zaragoza Fernández

FECHA

SEPTIEMBRE 2021

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar mi más sincero agradecimiento a la tutora de este trabajo, Sonia, por acompañarme y ayudarme tanto en este proyecto.

A mis padres y hermano, por darme fuerzas, incluso en la distancia, y haberme hecho la persona que soy hoy, y a mis abuelas por siempre estar tan orgullosas de mí y sacarme siempre una sonrisa.

Finalmente, darle las gracias a mi pareja por estar conmigo día tras día, apoyándome en todo momento y haciéndome tan feliz.

A todas ellas, mil gracias.

RESUMEN

Este documento presenta un análisis de la eficiencia energética de un buque *Bulk Carrier* de 40.000 TPM en el que se realiza el cálculo del EEDI a partir de la Resolución MEPC.308(73). Para ello se realiza el balance energético del buque, permitiendo determinar qué sistemas consumen más, y se calcula cuánto CO₂ emite el buque. Obtenidos los resultados, se procede a aplicar medidas de reducción del consumo de combustible y de las emisiones de CO₂, que centrándose en el alumbrado, ventilación y aire acondicionado y en cómo disminuir el consumo de potencia de la planta eléctrica del buque.

Seguidamente, se realiza un rediseño del sistema de ventilación y aire acondicionado, lo que permite cambiar los motores auxiliares. Entre las distintas opciones de generadores auxiliares, se elige aquel que cumpla con los factores de peso, dimensiones, consumo y coste del combustible, recalculando el valor del EEDI.

Finalmente, se le aplica una última medida de reducción del consumo de combustible, referida a las energías renovables, de manera que se pueda reducir el EEDI del buque y cumpla con la normativa MEPC.203(62).

ABSTRACTO

O presente documento presenta un análisis da eficiencia enerxética no buque tipo *Bulk Carrier* de 40.000TPM, no que se fai os cálculos do EEDI a partires da resolución MEPC. 308(73). Para realizar o estudo, faise en primeiro lugar, un balace enerxético do buque, de cara a coñecer cales son os sistemas que máis consumen, e os que máis CO₂ emiten. Unha vez obtidos os resultados, procederemos a aplicar medidas de redución do consumo de combustible e das emisións de CO₂, centrándonos nas luminarias, na ventilación, no aire acondicionado e noutras medidas de diminución da potencia da planta eléctrica do buque.

Seguidamente, realizarase un rediseño do sistema de ventilación e o aire acondicionado que permitirá un cambio nos motores auxiliares. Entre as distintas opcións de xeneradores auxiliares, elixirase aquela que cumpra cos criterios de peso, dimensión, consumo e coste de combustible, recalculando de seguido o valor do EEDI.

O remate, aplicaranse unha última medida de redución do consumo de combustible, meirante as enerxías renovables, de maneira que podamos baixar o EEDI do Buque, e cumprir coa normativa MEPC 203 (62).

ABSTRACT

This document presents an energy efficiency analysis of a 40.000 dwt Bulk Carrier vessel in which the EEDI is calculated based on Resolution MEPC.308 (73). To do so, the ship's energy balance is carried out, allowing to determine which systems consume the most; and calculate how much CO₂ is emitted by the ship. Once the results are obtained, measures are applied to reduce the fuel consumption and the CO₂ emissions, focusing on lighting, ventilation, air conditioning; and on how to reduce the power consumption of the ship's power plant.

This is followed by a redesign of the ventilation and air conditioning system, which allows the auxiliary motors to be changed. Among the different options for auxiliary generators, the one that meets the factors of weight, dimensions, consumption, and fuel cost is chosen, recalculating the EEDI's value.

Finally, a last measure to reduce fuel consumption is applied, referring to renewable energies, aiming to reduce the EEDI of the ship complying with the regulation MEPC.203 (62).

ÍNDICE

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Características del buque y la ruta de estudio.....	3
1.3	Objetivo del trabajo	5
2	Balance energético	6
2.1	Consumo del alumbrado	6
2.2	Definición de la planta propulsora original.....	11
2.2.1	Motor principal	13
2.2.2	Motor auxiliar y de emergencia	14
2.3	Comparativa de los consumos del buque	14
2.4	Cálculo de las emisiones de CO ₂	18
2.4.1	Diferencia de emisiones y costes por viaje	20
3	Cálculo del Índice de Eficiencia Energética (EEDI)	21
3.1	Cumplimiento del EEDI	28
4	Reducción del consumo eléctrico.....	31
4.1	Consumo de potencia del alumbrado.....	31
4.2	Ventilación y aire acondicionado de la cámara de máquinas	32
4.2.1	Cálculo del flujo de aire.....	32
4.2.2	Resultados de la ventilación de la cámara de máquinas.....	34
4.2.3	Resultados de la extracción de aire de la cámara de máquinas.....	35
4.2.4	Ventilación y aire acondicionado de la sala de control	36
4.3	Ventilación y aire acondicionado de la habitación.....	37
4.3.1	Cálculo de las ganancias y pérdidas de calor	37
4.3.2	Resultados del aire acondicionado en la habitación	41
4.3.3	Cálculos y resultados de la ventilación en habitación	42
4.4	Comparativa de los consumos debido a ventilación y aire acondicionado	43
4.5	Rediseño de la planta eléctrica	45
4.5.1	Opción 1	47
4.5.2	Opción 2	50
4.5.3	Comparativa de las opciones.....	54
5	Tecnologías innovadoras de eficiencia de la energía eléctrica del motor auxiliar	58
5.1	Aerogeneradores marinos.....	58
5.2	Placas solares	58
5.3	Producción de electricidad e hibridación	59
5.3.1	Power Take Off (PTO)	59

5.3.2 Power Take In (PTI).....62

5.3.3 Sistema de aprovechamiento de calor (WHRS).....63

6 Discusión68

7 Conclusiones70

8 Referencias.....74

Anexo I77

Anexo II.....81

Anexo III.....88

Anexo IV90

Anexo V100

Anexo VI102

Anexo VII: Cálculos.....104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dimensiones del buque	3
Tabla 2: Consumo de la iluminación en la sala de máquinas.....	6
Tabla 3: Consumo de la iluminación en la habilitación.....	6
Tabla 4: Consumo de la habilitación en "otros".....	7
Tabla 5: Resumen del balance eléctrico.....	8
Tabla 6: Siglas de los sistemas y equipos del buque.....	9
Tabla 7: Distribución de tiempo de las cargas de los motores	14
Tabla 8: Factor de conversión de masa de combustible a masa de CO2	18
Tabla 9: CO2 Indicator reporting sheet.....	19
Tabla 10: Diferencias de emisiones y costes por viaje	20
Tabla 11: Datos para el cálculo del combustible principal.....	23
Tabla 12: Resultados del cálculo del combustible principal	23
Tabla 13: Volumen de las bodegas de carga.....	25
Tabla 14: Resultado del EEDI de la planta original.....	27
Tabla 15: Cumplimiento del EEDI obtenido respecto al EEDI prescrito (para un buque nuevo)	29
Tabla 16: Parámetros para la determinación de los valores de referencia.....	29
Tabla 17: Cumplimiento del EEDI obtenido respecto al EEDI requerido (planta original).....	29
Tabla 18: Factor de reducción (en porcentaje) para el EEDI relativo al EEDI de la Línea de Referencia.....	30
Tabla 19: Temperatura del aire en verano y en invierno.....	32
Tabla 20: Flujo de aire para la combustión.....	33
Tabla 21: Flujo de aire para la evacuación de la emisión de calor.....	33
Tabla 22: Resultado del flujo de aire total.....	33
Tabla 23: Ventiladores BRONSWERK cámara de máquinas.....	34
Tabla 24: Ventiladores SODECA cámara de máquinas.....	34
Tabla 25: Extractores BRONSWERK cámara de máquinas (previo)	35
Tabla 26: Extractores SODECA cámara de máquinas (previo).....	35
Tabla 27: Extractores SODECA cámara de máquinas (final).....	35
Tabla 28: Resultados del aire acondicionado en la sala de control.....	36
Tabla 29: Pérdida de calor de la habilitación en invierno	38
Tabla 30: Calor aportado por las personas.....	39
Tabla 31: Calor aportado por la iluminación	40
Tabla 32: Ganancias de calor de la habilitación en verano.....	40
Tabla 33: Unidades exteriores del sistema de aire acondicionado de la habilitación	41
Tabla 34: Unidades interiores del sistema de aire acondicionado de la habilitación	41
Tabla 35: Caudales de extracción de la habilitación	42
Tabla 36: Ventiladores extractores para la habilitación.....	43
Tabla 37: Número de motores auxiliares instalados en el nuevo diseño.....	46
Tabla 38: Peso de los motores auxiliares del diseño nuevo	46
Tabla 39: Dimensiones de los motores auxiliares del diseño nuevo	46
Tabla 40: Consumo al 85% de los motores auxiliares del diseño nuevo.....	47
Tabla 41: Resultado del EEDI (Opción 1).....	50
Tabla 42: Resultado del EEDI (Opción 2).....	53
Tabla 43: Resultados del EEDI (modo operativo HFO+LNG)	56
Tabla 44: Resultados del EEDI (PTO).....	62
Tabla 45: Resultados del EEDI (PTO con placas solares).....	62
Tabla 46: Resultados del EEDI (WHRS)	67
Tabla 47: Resultados del EEDI (WHRS con placas solares)	67
Tabla 48: Consumo de combustible total de todas las opciones de diseño de la planta	68
Tabla 49: Costes de consumo de combustible de cada opción de diseño de la planta.....	69
Tabla 50: Potencia del equipo de gobierno.....	77
Tabla 51: Potencia de los chigres y molinetes.....	77

Tabla 52: Potencia de las bombas principales de achique de sentinas	77
Tabla 53: Potencia de la bomba de achique de emergencia	77
Tabla 54: Potencia de la bomba de achique de la caja de cadenas	77
Tabla 55: Potencia del separador de sentinas	77
Tabla 56: Potencia de la bomba del separador de sentinas	77
Tabla 57: Potencia de la bomba de lastre alternativa	78
Tabla 58: Potencia de la bomba contra incendios	78
Tabla 59: Potencia de los equipos de elevación	78
Tabla 60: Potencia de los equipos de acceso	78
Tabla 61: Potencia del puente grúa	78
Tabla 62: Potencia de la maquinaria del taller	78
Tabla 63: Potencia del compresor de aire	79
Tabla 64: Potencia de los equipos para el manejo de la carga	79
Tabla 65: Potencia de la maquinaria frigorífica	79
Tabla 66: Potencia de los electrodomésticos de cocina	79
Tabla 67: Potencia de electrodomésticos de la lavandería	79
Tabla 68: Potencia de la ventilación y el aire acondicionado	80
Tabla 69: Potencia de las bombas y sistemas de servicio	80
Tabla 70: Iluminación de la sala de máquinas (diseño original)	88
Tabla 71: Iluminación de la habitación (diseño original)	88
Tabla 72: Iluminación de salas varias (diseño original)	88
Tabla 73: Iluminación exterior (diseño original)	88
Tabla 74: Iluminación de la sala de máquinas (diseño nuevo)	89
Tabla 75: Iluminación de la habitación (diseño nuevo)	89
Tabla 76: Iluminación de salas varias (diseño nuevo)	89
Tabla 77: Iluminación exterior (diseño nuevo)	89
Tabla 78: Datos para el cálculo de la ventilación de la sala de máquinas	90
Tabla 79: Superficie de las zonas de habitación	90
Tabla 80: Cálculo del aire acondicionado en habitación (invierno)	93
Tabla 81: Cálculo del calor aportado por personas e iluminación	94
Tabla 82: Cálculo del aire acondicionado en habitación (verano)	99
Tabla 83: Datos del cálculo del combustible primario (MAN 6 L23/30H Mk2)	100
Tabla 84: Resultados del cálculo del combustible primario (MAN 6 L23/30H Mk2)	100
Tabla 85: Resultados del cálculo del EEDI (MAN 6 L23/30H Mk2)	100
Tabla 86: Datos del cálculo del combustible primario (Wärtsilä 6L20DF)	101
Tabla 87: Resultados del cálculo del combustible primario (Wärtsilä 6L20DF)	101
Tabla 88: Resultados del cálculo del EEDI (Wärtsilä 6L20DF)	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Emisión de CO ₂ por tipo de buque	1
Ilustración 2: Reducción de los GHG de la OMI	2
Ilustración 3: Exportaciones de mineral de hierro de Australia	4
Ilustración 4: Cámara de máquinas original (vista de planta)	12
Ilustración 5: Cámara de máquinas original (vista de perfil)	12
Ilustración 6: Paralelogramo de potencia del motor principal original	13
Ilustración 7: Modos de combustible del motor principal	14
Ilustración 8: Curva de fw para bulk carriers (MEPC.1/Circ 796)	27
Ilustración 9: Propulsión del viento frente a la propulsión del motor principal	58
Ilustración 10: Tipos de PTO	60
Ilustración 11: PTI-Modo eléctrico completo	63
Ilustración 12: Guía de la potencia de salida para un sistema WHR	64
Ilustración 13: Esquema del WHRS de turbina de vapor y potencia combinado	64
Ilustración 14: Propulsión híbrida en un buque mercante con PTO/PTI	66

Ilustración 15: CEAS Engine Data Report (PTO).....	102
Ilustración 16: Low Voltage Marine Series Generators	103

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Duración de un viaje completo del buque	4
Ecuación 2: Factor de utilización para el balance energético	7
Ecuación 3: Cálculo del EEOI.....	18
Ecuación 4: Cálculo del EEDI.....	21
Ecuación 5: Cálculo del factor de corrección fj	21
Ecuación 6: Número de Froude (desplazamiento volumétrico).....	21
Ecuación 7: Coeficiente de bloque	21
Ecuación 8: Cálculo del combustible primario (factor del gas).....	22
Ecuación 9: Cálculo del combustible primario (factor del líquido)	22
Ecuación 10: Sustitución en la fórmula original del EEDI.....	23
Ecuación 11: Párrafo 2.2.5.6.1 de la Resolución. Cálculo de la potencia	24
Ecuación 12: Cálculo de la potencia del motor auxiliar	24
Ecuación 13: Factor para buques de carga general con grúas y equipos relacionados con la carga.....	26
Ecuación 14: Cálculo del factor grúas	26
Ecuación 15: Standard fw value	26
Ecuación 16: Línea de referencia	28
Ecuación 17: Valor estimado del índice.....	28
Ecuación 18: Cumplimiento del EEDI prescrito	29
Ecuación 19: Flujo de aire total Q1.....	32
Ecuación 20: Flujo de aire total Q2.....	32
Ecuación 21: Flujo de aire para la combustión	32
Ecuación 22: Flujo de aire para la evacuación de la emisión de calor	33
Ecuación 23: Transmisión de calor.....	37
Ecuación 24: Cálculo de aporte de calor debido al sol	38
Ecuación 25: Potencia máxima de servicio de la PTO.....	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Total de la potencia por sistema (%).....	9
Gráfico 2: Total de la potencia por condición operativa (%).....	10
Gráfico 3: Comparativa del consumo de energía de los sistemas y equipos	11
Gráfico 4: Consumo de combustible del motor principal	15
Gráfico 5: Consumo de combustible del motor auxiliar en navegación	16
Gráfico 6: Consumo de combustible del motor auxiliar en puerto	16
Gráfico 7: Consumo de combustible del motor auxiliar en carga y descarga	17
Gráfico 8: Comparativa del consumo de combustible total del buque.....	17
Gráfico 9: Emisiones de CO2 de cada combustible.....	19
Gráfico 10: Consumo de potencia del alumbrado	31
Gráfico 11: Consumo del diseño inicial vs actual de la cámara de máquinas	43
Gráfico 12: Consumo del diseño inicial vs actual de la habilitación	44
Gráfico 13: Comparativa del consumo de energía global inicial vs actual.....	44
Gráfico 14: Consumo de combustible del motor auxiliar en navegación (Opción 1).....	48
Gráfico 15: Consumo de combustible del motor auxiliar en carga y descarga (Opción 1).....	48
Gráfico 16: Consumo de combustible del motor auxiliar en puerto (Opción 1).....	49
Gráfico 17: Emisiones de CO2 de cada combustible (Opción 1)	49
Gráfico 18: Consumo de combustible del motor auxiliar en navegación (Opción 2).....	51
Gráfico 19: Consumo de combustible del motor auxiliar en carga y descarga (Opción 2).....	51

Gráfico 20: Consumo de combustible del motor auxiliar en puerto (Opción 2).....	52
Gráfico 21: Emisiones de CO2 de cada combustible (Opción 2)	53
Gráfico 22: Consumo de combustible de las modalidades (MAN 6 L23/30H Mk2)	54
Gráfico 23: Consumo de combustible de las modalidades (Wärtsila 6L20DF).....	55
Gráfico 24: Comparativa de las emisiones de CO2 y costes totales	55
Gráfico 25: Comparativa del sistema con PTO con la planta original y la Opción 2	61
Gráfico 26: Comparativa del WHRS vs la planta original, la Opción 2 y PTO	66
Gráfico 27: Emisiones de CO2 de todas las opciones de diseño de la planta.....	68
Gráfico 28: EEDI obtenido de cada opción de diseño de la planta	69
Gráfico 29: Reducción de la demanda de potencia total del buque (%).....	70
Gráfico 30: Comparativa de las opciones de mejora de eficiencia energética	72

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El transporte marítimo fue responsable, en el año 2.012, de la emisión de alrededor de 938 millones de toneladas de CO₂ anualmente, y es responsable del 2,1% de las emisiones de gases invernadero, según el 3º estudio de la Organización Marítima Internacional (OMI) sobre los GHG (*Greenhouse Gases*) [1]. En la Ilustración 1 se muestran las emisiones de CO₂ por tipo de buque en el año 2.020, publicada por la página web “*Statista*” el 27 de enero de 2.021 [2], siendo los buques *Bulk Carrier* los que producen las mayores emisiones con una gran diferencia con respecto al resto.

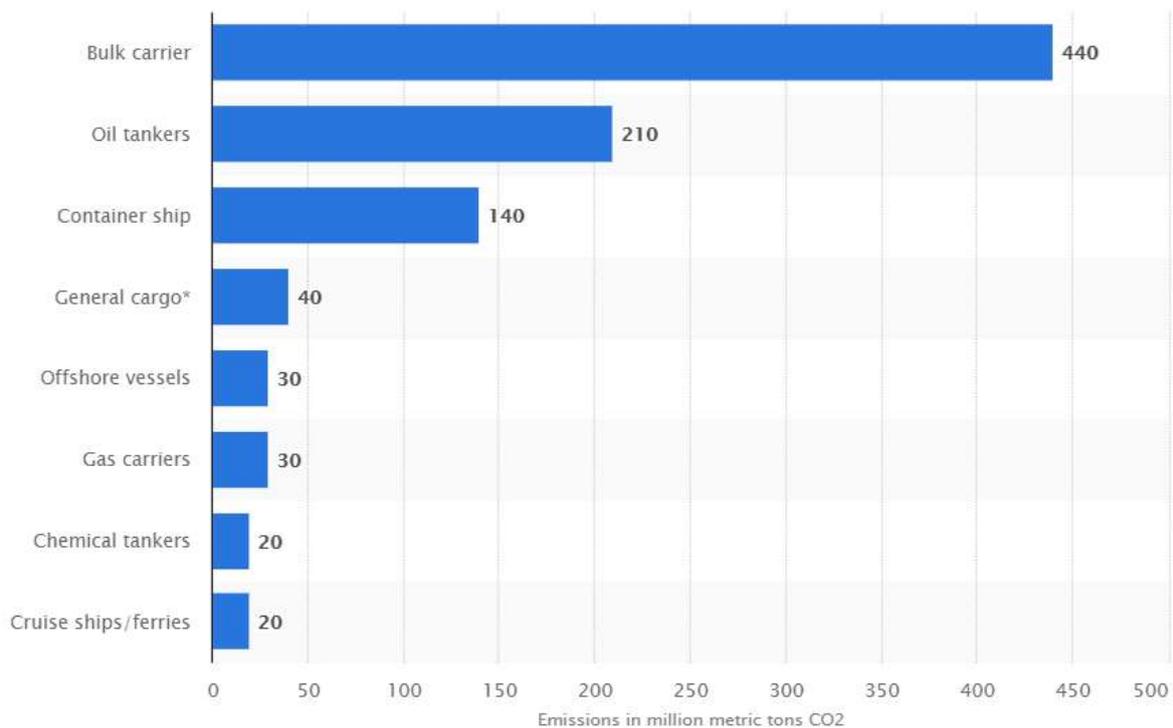


Ilustración 1: Emisión de CO₂ por tipo de buque

En 2.011, la OMI adoptó una serie de medidas, técnicas y operacionales, para la reducción de las emisiones de CO₂. Estas medidas son el “*Energy Efficiency Design Index*” (EEDI) y el “*Ship Energy Efficiency Management Plan*” (SEEMP), que usa como herramienta de monitorización, entre otras, y el “*Energy Efficiency Operational Indicator*” (EEOI) [3].

El pasado 23 de octubre de 2.020, la OMI ha propuesto unas nuevas medidas obligatorias acerca de la eficiencia energética para reducir aún más los gases de efecto invernadero que se producen en los transportes marinos. Las enmiendas propuestas en la convención MARPOL requerirán una mayor cooperación entre lo técnico y lo operacional, siguiendo la línea de la “*IMO GHG Strategy*”, la cual tiene como objetivo reducir la intensidad del carbono en el transporte internacional en un 40% para 2.030 [4].

Esta propuesta, además de tener en cuenta el EEDI y el SEEMP como medidas, se ha añadido el requerimiento técnico para reducir la intensidad del carbono, basado en el “*Energy Efficiency Existing Ship Index*” (EEXI), y el requerimiento operacional, basado en el “*Carbon Intensity Indicator*” (CII).

A continuación, se muestra una gráfica con los distintos caminos de la reducción de los gases de efecto invernadero para alcanzar las metas de la OMI. [5]

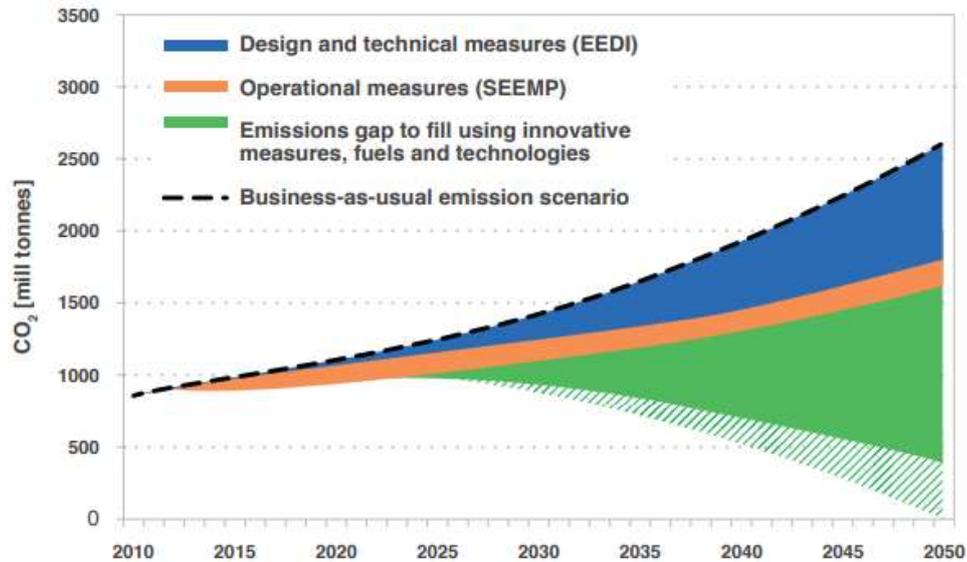


Ilustración 2: Reducción de los GHG de la OMI

El EEXI alcanzado, deberá ser calculado para todos los buques, comparando la eficiencia energética con una línea base relativa al EEDI.

Por otro lado, el indicador anual de intensidad de carbono (CII) se aplicará a buques de 5.000 o más toneladas brutas. Este índice determina la reducción anual de la intensidad de carbono de manera que se asegure la mejora operacional de los buques.

Estas medidas serán desarrolladas a lo largo del año 2.021 por el Comité de Protección del Medioambiente Marino (MEPC).

En cuanto al Anexo VI del MARPOL, encargado de la prevención de la contaminación del aire por los buques, trata la reducción global de las emisiones de SO_x y NO_x y la introducción de las áreas de control de emisión (ECAs). El límite de sulfuro se verá reducido del 3,50% al 0,50%, siendo efectivo a partir del 1 de enero de 2.020 [6].

1.2 Características del buque y la ruta de estudio

En el presente trabajo se estudiará la eficiencia energética de un buque *bulk carrier* de 40.000 TPM con las siguientes dimensiones:

Dimensiones	Valor
Eslora total (m)	175,12
Eslora entre perpendiculares (m)	168,59
Manga (m)	30,38
Calado (m)	11,49
Puntal (m)	15,85
CB	0,806
CP	0,808
CM	0,997
CF	0,865
Desplazamiento (T)	48.596,73
Peso muerto (T)	40.482,39
Velocidad (knots)	15,00

Tabla 1: Dimensiones del buque

Estas dimensiones y todos los datos técnicos del buque que se va a analizar en este trabajo se han obtenido del Trabajo de Fin de Grado “Proyecto básico de un buque *Bulk Carrier* de 40.000 TPM” realizado en el año 2.019 [7].

Este barco está destinado al transporte de mineral de acero y, tanto la habilitación como la sala de máquinas se encuentran en la popa, dejando el resto del buque para 5 bodegas con tapas corridas y 4 grúas para carga y descarga. Además, se tendrá una tripulación de 22 personas. El buque se ha diseñado cumpliendo con la sociedad de clasificación ABS.

En cuanto a la ruta que seguirá el buque, hay que tener en cuenta que, el objetivo del buque de proyecto será transportar mineral de hierro, por lo que se han investigado los países y puertos seleccionados para así comprobar el nivel de exportación como de importación. Los puertos que se han seleccionado son los siguientes: Port Hedland y Shanghái.

Port Hedland (Australia) es un gran exportador de mineral de hierro y, como se puede observar en la ilustración a continuación, China es el país al que más exporta Australia según el periódico online “*Hellenic Shipping News*” [8].

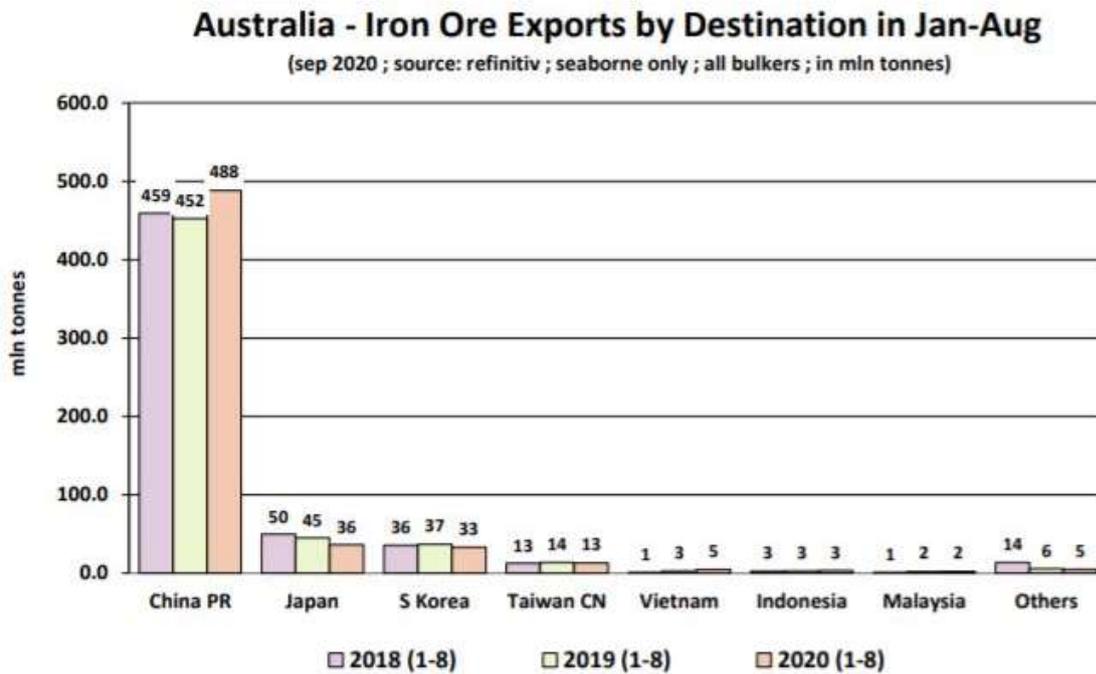


Ilustración 3: Exportaciones de mineral de hierro de Australia

La ruta elegida es de 3.251 mn (6.020,85 km) y se estima que a la velocidad dada por las RPAs (15 nudos) se tardarán 9 días.

Se ha estimado una estancia en cada puerto de 1 día, aproximadamente, teniendo en cuenta la estancia en puerto cuando no se está realizando ninguna operación. Las operaciones de carga/descarga de mercancía tardarán una hora y cuarto para la descarga, y 50 minutos para la carga aproximadamente. De este modo, se estimará el tiempo que tardará el buque en realizar un viaje completo.

Ecuación 1: Duración de un viaje completo del buque

$$\text{Viaje completo} = \frac{2 \cdot D}{24 \cdot v} + 2 \cdot P$$

Donde:

- D: Distancia entre puertos.
- P: Estancia en puerto.
- v: velocidad en nudos.

$$\text{Viaje completo} = 20,06 \cong 20 \text{ días}$$

Sabiendo la duración del viaje completo, se procederá a estimar la cantidad de viajes que se realizarán al año. Se puede estimar del siguiente modo:

$$\text{Viaje anuales} = \frac{365}{20,06} = 18,19 \cong 18 \text{ viajes anuales}$$

Teniendo en cuenta que el buque irá lleno de Port Hedland a Shanghai y volverá vacío.

1.3 Objetivo del trabajo

Este trabajo desarrolla un estudio de la Eficiencia Energética en un buque *Bulk Carrier*, basado en la Resolución MEPC.308(73) “Directrices de 2018 sobre el método de cálculo del Índice de Eficiencia Energética de Proyecto (EEDI) obtenido para buques nuevos” [9], optimizando la energía de consumo como parte de la implementación del SEEMP.

Una vez estudiados estos parámetros en un buque con una planta propulsora y auxiliar simple, se implementarán medidas de mejora del consumo de energía y de las emisiones de gases efecto invernadero.

Se mostrarán las medidas operacionales y técnicas actuales más eficientes para reducir las emisiones del buque mencionado.

Finalmente, se realizará una comparativa entre todas las alternativas propuestas.

2 BALANCE ENERGÉTICO

La instalación del buque dispone de una distribución IT a 50 Hz ya que esta frecuencia es la utilizada en nuestra ruta (Asia y Oceanía), por lo que no habrá ningún problema en la conexión a puerto.

El buque tiene dos sistemas de distribución principales:

- Red trifásica de 400 V/50 Hz: Para los consumidores de fuerza.
- Red de 230 V/50 Hz: Para el alumbrado y servicios de habilitación en general.

Además, se dispone de una red de 24 V de corriente continua, la cual se utilizará para las señales, electrónica de control y servicios de emergencia. Por otro lado, se dispone de una instalación de emergencia para que, en el caso de fallo de los sistemas principales, ésta proporcione potencia a los servicios esenciales para la seguridad.

2.1 Consumo del alumbrado

El alumbrado de la zona interior se ha obtenido usando la norma UNE-EN 12464-1 [10], y los cálculos de las luminarias se ha realizado utilizando el software DIALux [11]. El consumo de la iluminación interior del buque se resume en las tablas a continuación:

Sala de máquinas	Tipo de lámpara	Número	Potencia (W)
Piso 1	PA8104 AIRLUME IV TEARDROP 1 LAMP F28W T5	90,00	2.700
Piso 2	SM530C L1170 OC LED40S/840 NO	42,00	1.218
Sala de control	SM530C L1170 OC LED40S/840 NO	4,00	96
Sala del servo	PA8104 AIRLUME IV TEARDROP 1 LAMP F28W T5	6,00	180
			4.194

Tabla 2: Consumo de la iluminación en la sala de máquinas

Habilitación	Tipo de lámpara	Número	Potencia (W)
Camarotes	DN570B PSE-E C	44	886,6
Cocina	RC464B G2 PSD W60L60 LED 80S/TWH NO	9	256,5
Comedor	RC464B G2 PSD W60L60 LED 80S/TWH NO	8	228
Despensa	DN570B PSE-E C	1	11,8
Gambuzas frigoríficas	DN570B PSE-E C	2	70,8
Enfermería	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	4	96
Oficina	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	4	96
Vestuario	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	2	48
Lavandería	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	1	24
Pañol de ropa limpia	DN570B PSE-E C	1	11,8
Pañol general	8021CCLW WITH COMFORT CREAL REFLECTOR	2	62
Sala de recreación	RC464B G2 PSD W60L60 LED 80S/TWH NO	2	57
			1848,5

Tabla 3: Consumo de la iluminación en la habilitación

Otros	Tipo de lámpara	Número	Potencia (W)
Taller	PA8104 AIRLUME IV TEARDROP 1 LAMP F28W T5	4	120
Sala del generador de emergencia	PA8104 AIRLUME IV TEARDROP 1 LAMP F28W T5	3	90
Puente mando	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	12	288
Pasillo	SM55-132-EB PHILIPS SM SERIES 1/32W T8	88	7.392
			7.890

Tabla 4: Consumo de la habilitación en "otros"

Dando un consumo total de las luminarias en las zonas interiores del buque de 13,93 kW.

En cuanto a la iluminación exterior, se tendrán las luces de navegación y las luces de la cubierta principal exterior usando la norma UNE-EN 12464-2 [10], siendo el consumo total de 1,28 kW.

En el Anexo I se encuentran los equipos necesarios para un granelero, necesarios para, junto con el consumo de la iluminación, realizar el balance energético de todo el buque. Los criterios seguidos para determinar el valor del factor de simultaneidad en marcha (k_n) y el valor del factor de servicio y régimen (k_{sr}) son los determinados por el SOLAS Capítulo II-1 [12]. Una vez determinados estos factores se puede hallar el factor de utilización de la siguiente forma:

Ecuación 2: Factor de utilización para el balance energético

$$k_u = k_n \cdot k_{sr}$$

En la Tabla 5 se presenta un resumen del balance eléctrico, encontrándose en el Anexo II todas las tablas elaboradas de este balance.

Una vez realizado el balance energético del buque se han analizado estos resultados para poder determinar cuáles son las situaciones y los sistemas que representan un mayor porcentaje de consumo de potencia en el *Bulk Carrier*. Este análisis se encuentra en el Gráfico 1 y el Gráfico 2, además, se ha añadido una tabla con el significado de cada sigla que aparece en el primer gráfico.

	Puerto	Maniobra	Navegación	Emergencia	Carga y descarga
Sistema de combustible	74,20	112,93	109,37	1,02	74,20
Sistema de refrigeración y lubricación por aceite	11,61	30,57	24,55	1,10	11,61
Sistema de refrigeración centralizado	13,67	66,91	53,52	11,63	13,67
Sistema de aire comprimido	11,55	57,75	-	94,50	11,55
Sistema de vapor	1,42	1,42	-	0,71	1,42
Equipo de gobierno	-	130,87	65,44	60,41	-
Equipo de fondeo, amarre y remolque	36,17	101,09	-	-	36,17
Servicio de lastre, achique y sentinas	45,51	106,61	39,72	41,26	42,25
Servicio de baldeo y contra incendios	6,46	6,46	6,46	6,23	6,46
Servicios de elevación, acceso y mantenimiento	28,44	18,66	6,51	16,63	20,13
Servicios de carga	8,82	-	31,50	-	945,00
Equipo de cocina y lavandería	55,76	75,87	75,87	12,18	39,30
Equipo de ventilación y aire acondicionado	92,80	132,59	106,08	20,89	92,80
Servicio sanitario	9,47	49,88	28,18	1,60	7,98
Servicios de navegación, comunicación y automatización	11,55	45,15	45,15	45,15	11,55
Imagen y sonido (ocio)	3,44	-	3,01	-	0,51
Servicios de alumbrado e iluminación	3,19	15,97	8,66	3,19	3,19
Potencia total (kW)	414,07	952,74	604,02	316,51	1.317,79
Potencia aparente (kVA)	517,59	1.190,93	755,03	395,64	1.647,24

Tabla 5: Resumen del balance eléctrico

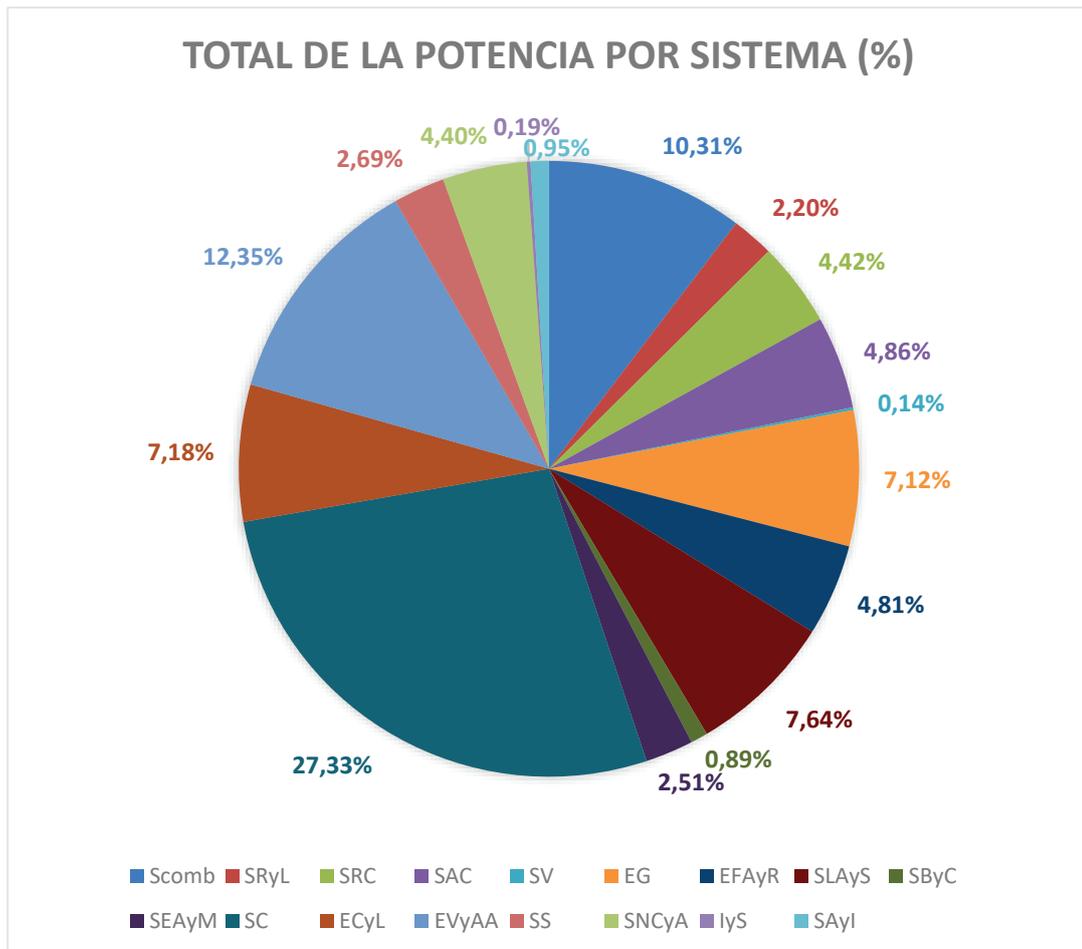


Gráfico 1: Total de la potencia por sistema (%)

SComb	SRyL	SRC	SAC	SV	EG	EFAyR	SLAyS	SByC
Sistema de combustible	Sistema de refrigeración y lubricación por aceite	Sistema de refrigeración centralizado	Sistema de aire comprimido	Sistema de vapor	Equipo de gobierno	Equipo de fondeo, amarre y remolque	Servicio de lastre, achique y sentinas	Servicio de baldeo y contra incendios

SEAyM	SC	ECyL	EVyAA	SS	SNCyA	IyS	SAyI
Servicios de elevación, acceso y mantenimiento	Servicios de carga	Equipo de cocina y lavandería	Equipo de ventilación y aire acondicionado	Servicio sanitario	Servicios de navegación, comunicación y automatización	Imagen y sonido (ocio)	Servicios de alumbrado e iluminación

Tabla 6: Siglas de los sistemas y equipos del buque

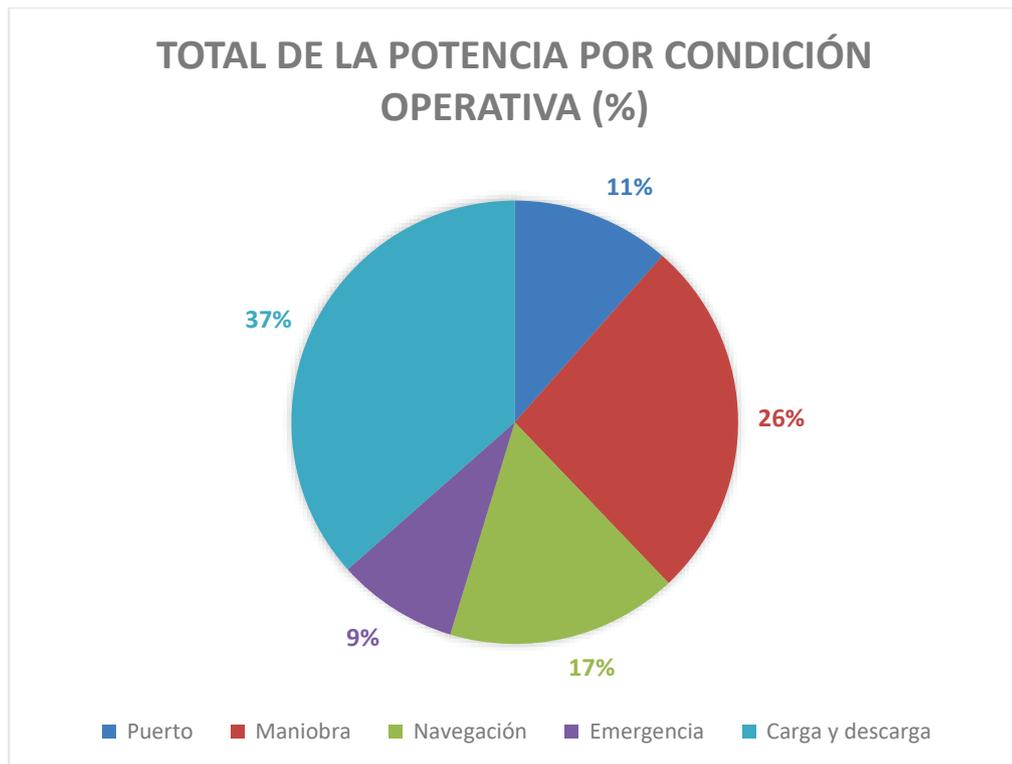


Gráfico 2: Total de la potencia por condición operativa (%)

Como se puede observar en los gráficos anteriores, los servicios de carga son los que más potencia consumen, ocupando más de un cuarto del buque. Esto repercute directamente en las condiciones operativas ya que, la que más consume, es claramente la condición de carga y descarga. La razón por la que esto ocurre se debe a que las 4 grúas de carga y descarga de mineral de hierro consumen 220 kW cada una.

Seguida de la condición de carga y descarga, las que más consumen potencia son la condición de maniobra y navegación. Estas valoraciones se han realizado a partir de la cantidad máxima de potencia que podría consumir el buque, pero para hallar cuáles son las condiciones o los sistemas que tienen un mayor consumo de energía se debe hacer una valoración con respecto al tiempo.

Se ha determinado, que debido a que los buques tipo *Bulk Carrier* son remolcados en su entrada a puerto el consumo en maniobra será mínimo y, por lo tanto, despreciable en un análisis de eficiencia energética. En el apartado "2.3.Comparativa de los consumos del buque", Tabla 7, se encuentra la distribución de tiempos de cada condición considerada.

En cuanto a la condición de carga y descarga, teniendo en cuenta que tardará una hora y cuarto en descargar y 50 minutos en cargar, tardará un total de 2 horas y 5 minutos por viaje, lo que significa un consumo energético de 2,75 MWh/viaje.

Si se analiza de la misma forma la condición de navegación, ésta suma 432 horas por viaje, consumiendo un total de 260,94 MWh/viaje.

Finalmente, también se analizará la estancia en puerto sin realizar ninguna operación de carga y descarga, estimando que por viaje se tardarán 45,92 horas, consumiendo 19,01 MWh/viaje de energía.

Como se puede observar, la condición de carga y descarga, que antes suponía el mayor consumo de potencia, una vez se ha aplicado el tiempo de trabajo por viaje, esta condición se ha convertido en un consumo muy pequeño comparándolo con el consumo de potencia de la condición navegación. Debido a esto, a continuación, solo se analizarán los sistemas y

equipos que más consumen respecto a la condición de navegación. En el gráfico a continuación se han utilizado las siglas de la Tabla 6.

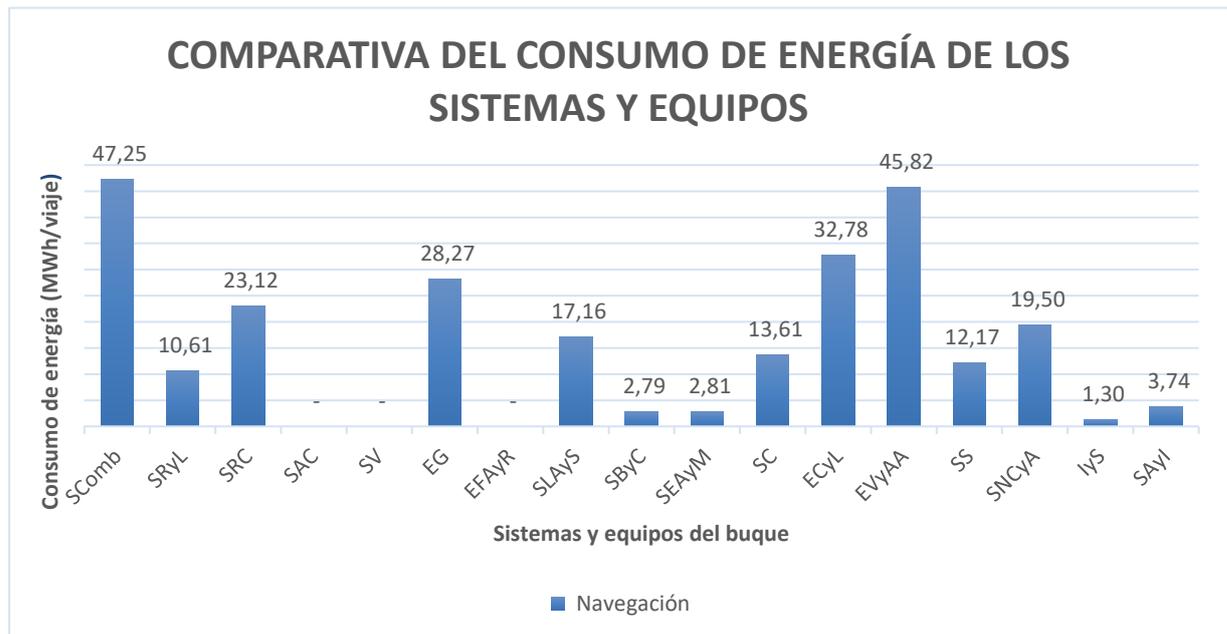


Gráfico 3: Comparativa del consumo de energía de los sistemas y equipos

Finalmente, analizando la gráfica, los sistemas sobre los que más hay que incidir son:

- Sistema de combustible (47,25 MWh/viaje).
- Equipos de ventilación y aire acondicionado (45,82 MWh/viaje).
- Equipo de cocina y lavandería (32,78 MWh/viaje).
- Equipo de gobierno (28,27 MWh/viaje).
- Sistema de refrigeración centralizado (23,12 MWh/viaje).

En el apartado “2.3.Comparativa de los consumos del buque” se encuentra el resumen final de los consumos correspondiente a todos los motores instalados en el buque.

2.2 Definición de la planta propulsora original

La planta propulsora diseñada originalmente para el *Bulk Carrier* está compuesta por un motor principal, tres motores auxiliares y un generador de emergencia Wärtsilä Auxpac 455W5L16 (50 Hz) de 455 kW.

Estos motores se encuentran ubicados en la sala de máquinas (excepto el motor de emergencia) y tienen la siguiente disposición.

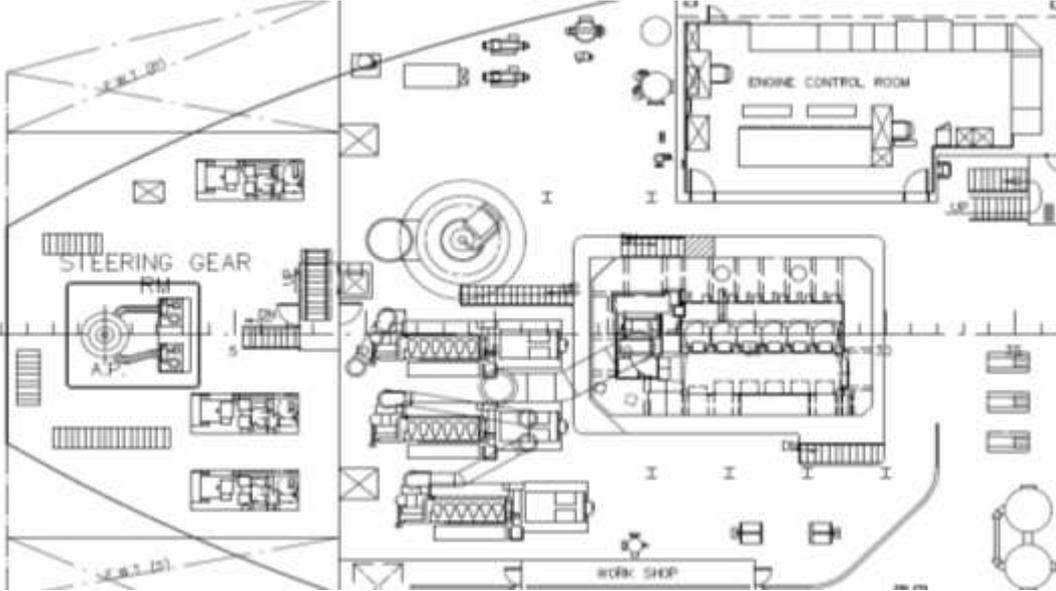


Ilustración 4: Cámara de máquinas original (vista de planta)

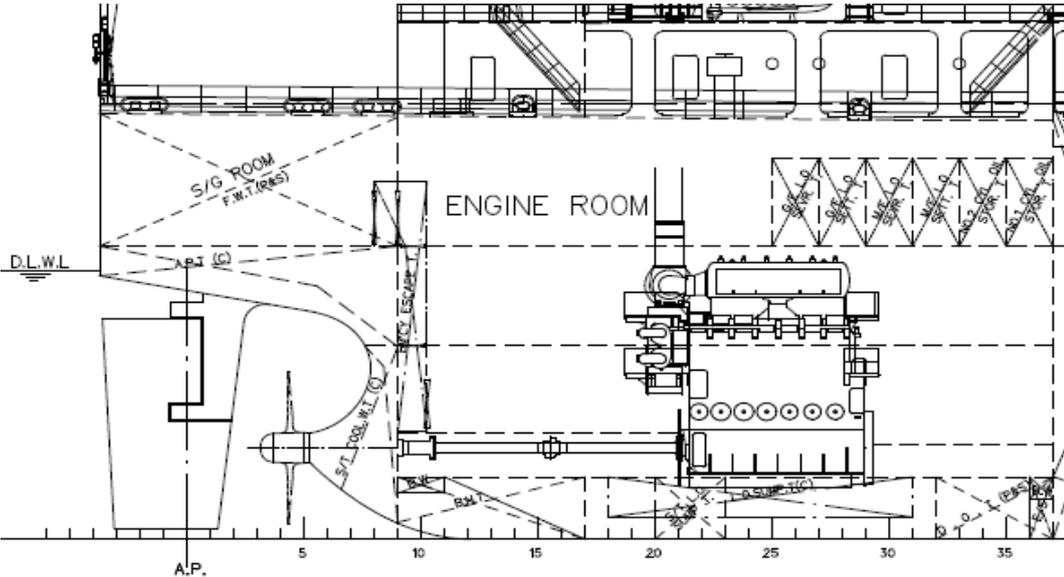
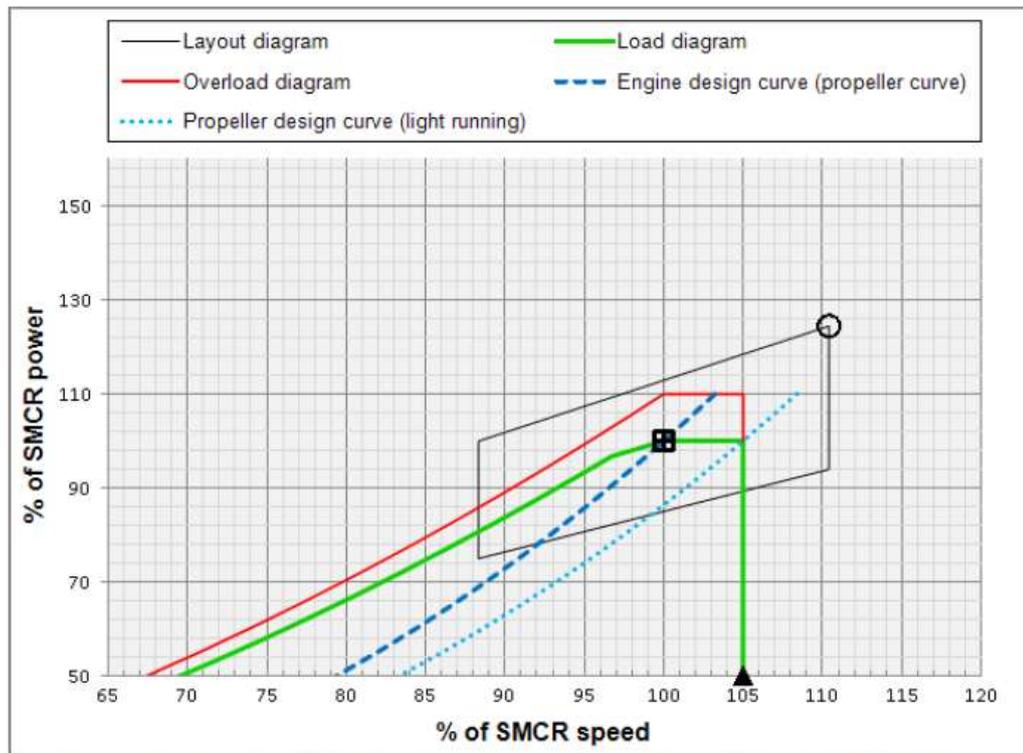


Ilustración 5: Cámara de máquinas original (vista de perfil)

2.2.1 Motor principal

El buque consta de un motor dual de MAN 5S60ME-C10.5-GI [13] de 2 tiempos con una potencia nominal máxima de 12.450 kW, usando como combustible HFO y LNG. El motor se encuentra directamente acoplado a una hélice de paso fijo que gira a 95,1 rpm.

El motor instalado tiene el siguiente paralelogramo de potencia, obtenido a partir de la web “CEAS engine calculations” de MAN Energy Solutions [14]:



The Light Running Margin (LRM) shown is 5%. Recommended value is 4-7%, for special cases up to 10%. The LRM should be evaluated for each ship project depending on for example: In-service increase of vessel resistance, ship manoeuvring requirements, additional engine load due to power take-out (PTO) and possible requirements related to a barred speed range (short passing time).

Point		Power kW	Speed r/min	MEP Bar
+	SMCR: Specified Maximum Continuous Rating (80.4% of NMCR)	10,004	95.1	18.6
□	NCR: Normal Continuous Rating (100.00% of SMCR)	10,004	95.1	18.6
	Maximum over load (110% of SMCR)	11,004	-	-
▲	Maximum speed limit (105% of SMCR)	-	99.9	-
○	L1, NMCR: Nominal Maximum Continuous Rating	12,450	105.0	21.0

Ilustración 6: Paralelogramo de potencia del motor principal original

Este motor tiene flexibilidad en el uso del combustible, teniendo tres diferentes modos de operación:

- Operación con gas con mínima cantidad de combustible piloto.
- “Specified dual fuel operation (SDF)” con la inyección de una cantidad fija de gas.
- Modo “fuel-oil-only”.

Siendo el modo normal de operación aquel que trabaja con HFO.

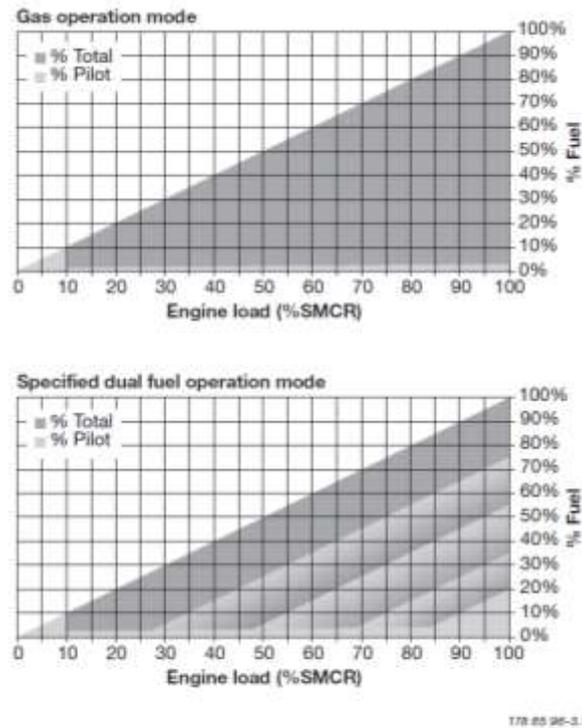


Fig. 1.00.02: Fuel type modes for the ME-GI engines for LNG carriers

Ilustración 7: Modos de combustible del motor principal

2.2.2 Motor auxiliar y de emergencia

Como ya se ha mencionado anteriormente, el buque dispondrá de tres motores auxiliares (siendo uno de ellos en reserva) MAN 5 L23/30H Mk 2 GenSet [15] con una potencia de 740 kW y una potencia eléctrica de 703 kWe, con MDO como combustible.

Finalmente, fuera de cámara de máquinas, se encuentra el motor de emergencia Auxpac 455W5L16 [16] (50 Hz) 455 kW de la empresa Wärtsilä. Este motor no se tendrá en cuenta para el análisis de la eficiencia energética del buque ya que permanecerá, en condiciones normales, este motor estará apagado.

2.3 Comparativa de los consumos del buque

Para comenzar el análisis de la comparativa es necesario tener en cuenta la distribución de tiempos de las cargas de los motores instalados en el buque.

	Navegación	Carga/descarga	Puerto	Total
Horas/viaje operativo	432	2,08	45,92	480
Motor principal				
Potencia/SMCR (%)	100%	-	-	
Potencia (kW)	10.004	-	-	
Motor/generador auxiliar (nº)	2	3	1	
Potencia/motor (%)	51%	74%	56%	
Potencia/motor (kW)	377,51	549,08	414,07	

Tabla 7: Distribución de tiempo de las cargas de los motores

Como ya se ha establecido en apartados anteriores, donde mayor consumo va a haber será en la condición de navegación, por lo que se le dará una mayor importancia en la comparativa final.

En primer lugar, se analizará el consumo del motor principal, tanto para el modo de operación por gas, como para el modo de operación por HFO. Por un lado, siguiendo los valores disponibles en la página web CEAS de MAN [17], el consumo específico del motor a un 75% de carga¹ para el HFO es de 153,7 g/kWh. Por otro lado, cuando el motor principal se encuentra en modo gas (GI Metano), el consumo específico de este es de 129,2 g/kWh, a lo que hay que sumarle el consumo del MDO que se usa como piloto en este modo de operación que es de 3,4 g/kWh.

Sabiendo que el motor principal se encontrará en funcionamiento durante la condición de navegación, la cual dura 432 h/viaje, y que la potencia al 75% de carga es de 7.503 kW, el consumo de cada combustible necesario para el motor principal es el siguiente:

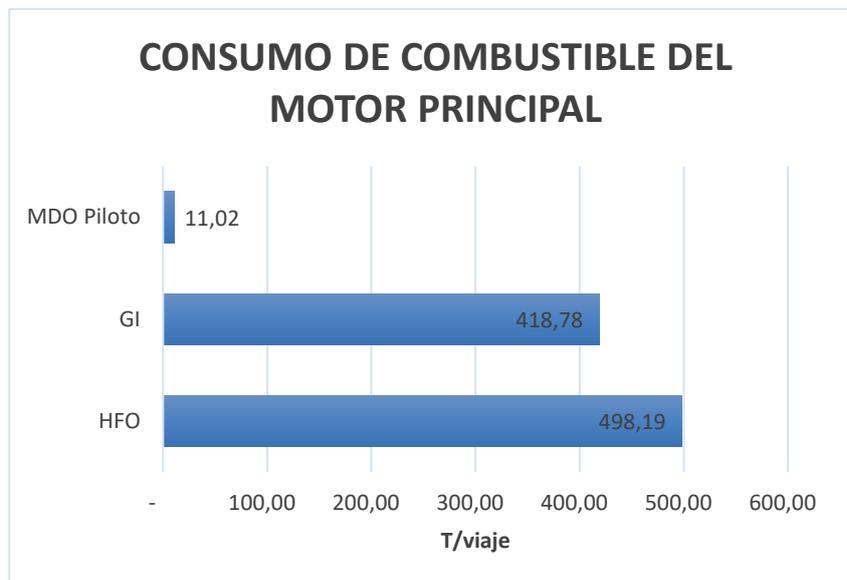


Gráfico 4: Consumo de combustible del motor principal

En cuanto a los motores auxiliares, estos tendrán el siguiente consumo de combustible según el porcentaje de carga del motor:

¹ Requerido por la resolución MEPC.308(73) [9] para el cálculo del EEDI.

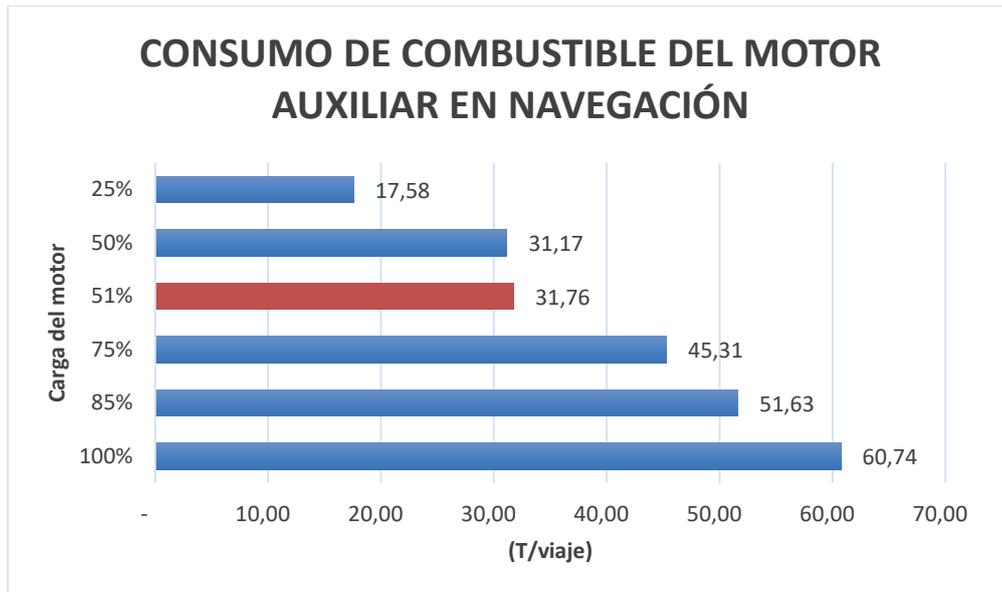


Gráfico 5: Consumo de combustible del motor auxiliar en navegación

En la condición de navegación el motor debe proporcionar una potencia total de 755,03 kW para que el buque trabaje correctamente (Tabla 5), por lo que será necesaria la utilización de dos motores auxiliares, los cuales tendrán una carga de un 51% de la potencia máxima nominal (740 kW) cada uno, por lo que consumirá un 31,76 T/viaje de MDO cada motor que esté en funcionamiento (2).

En el caso de la condición de puerto, la potencia a proporcionar será de 517,59 kW, lo que implica que solo se utilizará sólo un motor. Esta condición implica que el motor tendrá que trabajar con una carga de potencia del 70% y que, por lo tanto, consumirá 4,52 T/viaje de MDO.

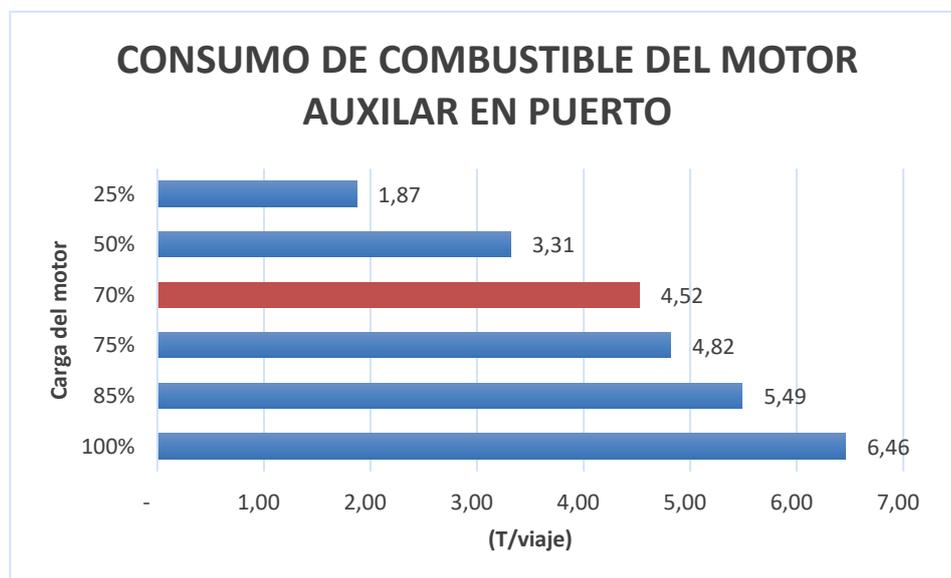


Gráfico 6: Consumo de combustible del motor auxiliar en puerto

Finalmente, el buque necesita de 1.647,24 kW para llevar a cabo todas sus funciones en la condición de carga y descarga, por lo que esta potencia se repartirá en los tres motores instalados (contando el de reserva), dando un consumo total por motor de 0,22 T/viaje cada motor. En el Gráfico 7 se muestran los consumos de cada motor auxiliar dependiendo del porcentaje de carga de potencia.

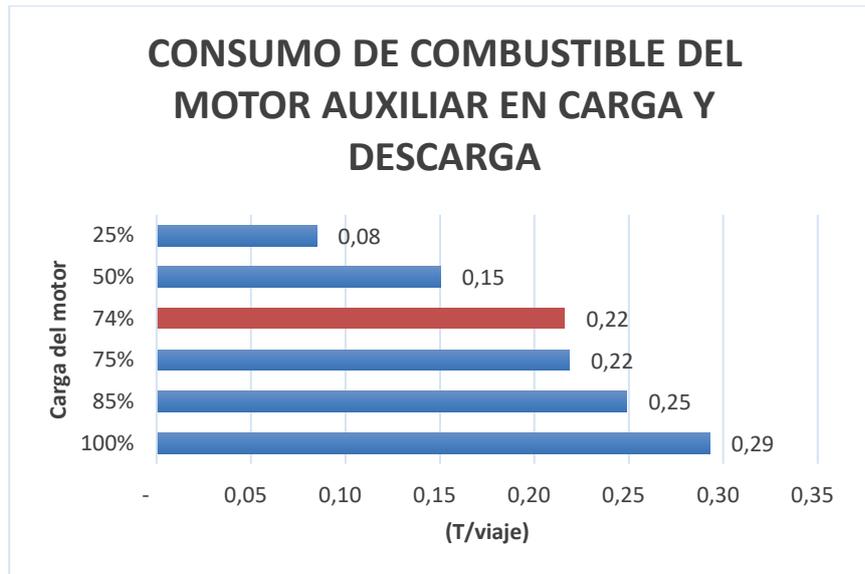


Gráfico 7: Consumo de combustible del motor auxiliar en carga y descarga

Finalmente, y teniendo todo esto en cuenta, el buque tendrá el siguiente consumo total:

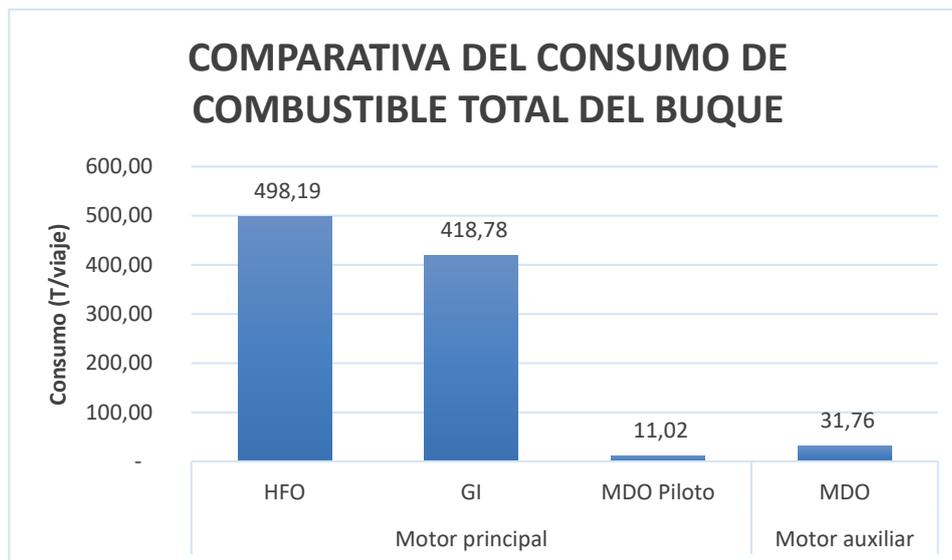


Gráfico 8: Comparativa del consumo de combustible total del buque

Como era de esperar, el motor principal en el modo HFO tiene un mayor consumo que cualquiera de las otras posibilidades, por lo que se priorizará este valor en el cálculo del EEDI y de las mejoras a implementar.

2.4 Cálculo de las emisiones de CO₂

Una vez se han hallado los mayores consumidores del buque, se calculará la eficiencia del buque a partir de la cantidad de CO₂ emitido por unidad de carga transportada.

Estos cálculos se van a realizar utilizando la resolución de 2.009 emitida por el MEPC “*Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency operational indicator (EEOI)*” [18]. Cabe destacar que este cálculo solo se va a utilizar para obtener las emisiones de CO₂, pero el resultado del EEOI considerará como una aproximación teórica, no como el real. Esto se debe a que el EEOI, por definición necesita los datos operacionales reales del buque, algo de lo que, en este trabajo no se dispone.

En la Guía mencionada se define EEOI como el ratio de masa de CO₂ emitida por unidad de trabajo de transporte, y se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 3: Cálculo del EEOI

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

Donde:

- FC: consumo de combustible del motor principal y auxiliar, en el período que se quiere analizar. En este análisis, se tomará como período el tiempo que tarda el buque en realizar un viaje.
- C_{Fj}: factor de conversión de masa de combustible a masa de CO₂ para un combustible “j”. La Guía [18] dispone de la tabla que se presenta a continuación con los valores de C_{Fj}.

Tipo de combustible	Referencia	Contenido de carbono	CF (t-CO ₂ /t-Fuel)
1. Diesel/Gas Oil	ISO 8217 Grados DMX por DMC	0,875	3,206000
2. Ligh Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grados RMA por RMD	0,86	3,151040
3. Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grados RME por RMK	0,85	3,114400
4. Gas petróleo licuado (LPG)	Propano	0,819	3,000000
	Butano	0,827	3,030000
5. Gas natural licuado (LNG)		0,75	2,750000

Tabla 8: Factor de conversión de masa de combustible a masa de CO₂

- D: distancia navegada en millas náuticas para el período en cuestión.
- m_{carga}: carga que transporta el buque. Para buques de “carga seca” se usará la tonelada (T) como unidad. Según esta Guía [18], también habrá que incluir los viajes en lastre o aquellos que no son utilizado para el transporte de carga.

Tomando como base el “*CO₂ Indicator reporting sheet*” proporcionado por la Guía [18], se ha realizado la siguiente tabla con los datos del buque a analizar, divididos en la ruta de ida y de vuelta.

BULK CARRIER						
Viaje (i)	Consumo de combustible en el mar y en puerto (T)				Carga (T)	Distancia (MN)
	HFO	LNG	MDO (Piloto)	MDO		
Ida	249	209,39	5,51	34,43	40000	3251
Vuelta	249	209,39	5,51	34,26	0	3251

Tabla 9: CO2 Indicator reporting sheet

En la tabla anterior se puede observar que los consumos de ida y vuelta son prácticamente iguales, por lo que, en este caso no sería necesario separarlos para realizar los cálculos.

Una vez se tienen estos datos se puede calcular la cantidad de CO₂ que el buque emite, así como el EEOI. En el Gráfico 9 se muestran las emisiones totales de cada combustible, siendo el HFO el mayor emisor con un valor de 1.551,55 T-CO₂ por viaje (20 días). Seguido de este se encuentra el LNG con 1.151,63 T-CO₂ por viaje, el cual viene acompañado de las emisiones del combustible piloto (MDO) que serán de 35,33,16 T-CO₂. Finalmente, en el caso de los motores auxiliares, les corresponde un 220,23 T-CO₂ de las emisiones del buque.

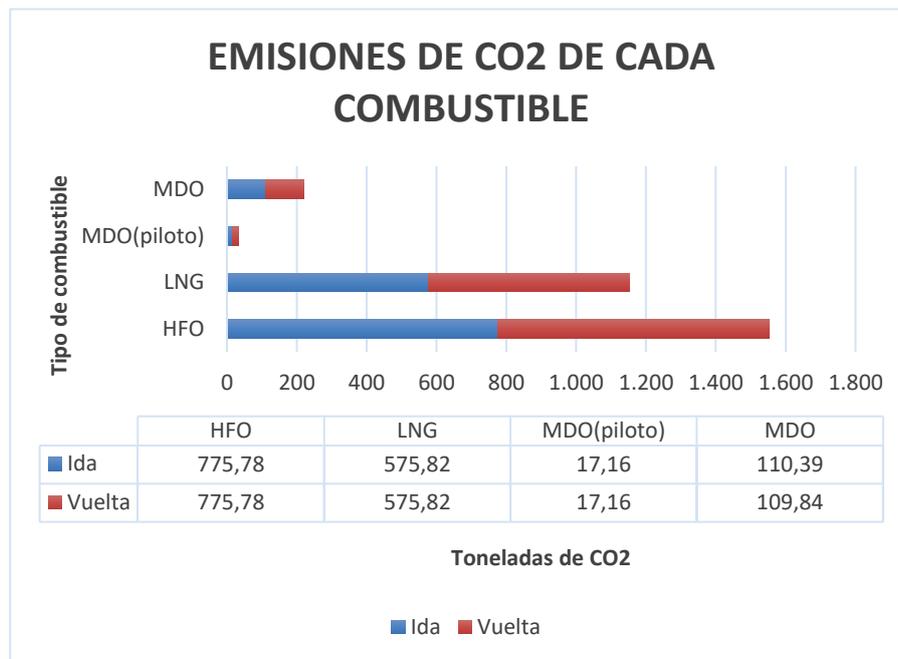


Gráfico 9: Emisiones de CO2 de cada combustible

Usando la Ecuación 3, se hallará el EEOI tanto para cuando el motor principal opera con HFO, como cuando opera con gas. El resultado es el siguiente:

- Operando con HFO y motores auxiliares con MDO: $1,362 \cdot 10^{-5}$ (T-CO₂ / T·MN).
- Operando con LNG y motores auxiliares con MDO: $1,081 \cdot 10^{-5}$ (T-CO₂ / T·MN).

Cuando el motor principal trabaja con HFO como combustible principal, el EEOI tiene un valor mayor que cuando trabaja con LNG. Esto es un resultado coherente debido a que el gas natural licuado emite menos CO₂, aunque la diferencia final con respecto al HFO tampoco es sustancial.

2.4.1 Diferencia de emisiones y costes por viaje

Los precios de los combustibles por tonelada entre el día 7 de octubre de 2.020 al 7 de abril de 2.021 son los siguientes:

- HFO (IFO 380): el precio medio es de 345 \$/T.
- MDO: Teniendo en cuenta que según el Project Guide del motor auxiliar el combustible tendrá un contenido de azufre menor al 0,5%, el precio medio del VLSFO es de 431 \$/T.
- LNG: el precio medio es de 485 \$/T.

Estos valores se han obtenido de la web *Ship & Bunker* [19] con el promedio de los 20 puertos mundiales con más actividad de suministro de combustible a buques.

A continuación, se presentará una tabla con las diferencias de las emisiones y los costes de combustible por viaje.

Combustible	Emisiones (T-CO2/viaje)	Coste (\$/viaje)
HFO	1.551,55	171.874,58
LNG	1.151,63	203.106,09
MDO	220,23	34.356,51

Tabla 10: Diferencias de emisiones y costes por viaje

Finalmente, se ha realizado una comparativa de costes para las dos modalidades que tiene la planta:

- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con MDO: 201.481,29 \$/T.
- Motor principal con LNG + Motores auxiliares con MDO: 237.462,60 \$/T.

3 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (EEDI)

Para llevar a cabo el cálculo del EEDI se utilizará la resolución MEPC.308(73) “Directrices de 2.018 sobre el método de cálculo del Índice de Eficiencia Energética de proyectos (EEDI) obtenido para buques nuevos” [9], así como la enmienda de 2.019 de la resolución MEPC.322(74) [20].

En esta norma se nos indica la fórmula general que se utilizará para hacer los cálculos:

Ecuación 4: Cálculo del EEDI

$$\frac{(\prod_{j=1}^n f_j) (\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{FAE} *) + ((\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)}) C_{FAE} \cdot SFC_{FAE}) - (\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} **)}{f_i \cdot f_c \cdot f_i \cdot Capacidad \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m}$$

Esta fórmula se divide en 5 partes:

- Emisiones del motor principal: se incluyen los siguientes parámetros:
 f_i : es un factor de corrección que tiene en cuenta los elementos específicos de diseño del buque. Para buques de carga general se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 5: Cálculo del factor de corrección f_j

$$f_j = \frac{0,174}{Fn_{\nabla}^{2,3} \cdot C_b^{0,3}} \quad ; \quad Si f_j > 1 \rightarrow f_j = 1$$

Donde:

Ecuación 6: Número de Froude (desplazamiento volumétrico)

$$- \quad Fn_{\nabla} = \frac{0,5144 \cdot V_{ref}}{\sqrt{g \cdot \nabla^{1/3}}} \quad ; \quad Si Fn_{\nabla} > 0,6 \rightarrow Fn_{\nabla} = 0,6$$

Siendo V_{ref} la velocidad de servicio del buque, medido en nudos, la cual tiene un valor de 15 nudos para el buque de análisis. Por otro lado, ∇ , es el desplazamiento volumétrico, el cual tiene un valor de 47.411,45 m³. El valor de la aceleración de la gravedad se tomará como 9,81 m/s². Finalmente, el valor del número de Froude a partir de la norma es de 0,41.

Ecuación 7: Coeficiente de bloque

$$- \quad C_b = \frac{\nabla}{L_{pp} \cdot B_s \cdot d_s}$$

Siendo L_{pp} , B_s y d_s , la eslora entre perpendiculares, la manga de diseño y el calado de verano, respectivamente, todas medidas en metros.

Los datos necesarios para esta fórmula se encuentran en la Tabla 1, en la cual se encuentran las dimensiones del buque.

El coeficiente de bloque es 0,806.

Por lo tanto, el valor de f_j será 1, ya que el resultado de la ecuación es 1,45, cumpliéndose la condición impuesta por la Resolución².

P_{ME} : Potencia de los motores principales (kW) a un 75% del MCR. Como ya se mencionó con anterioridad, la potencia al 75% será de 7.503 kW.

² En este documento se referirá como “Resolución” a la resolución MEPC.308(73) “Directrices de 2018 sobre el método de cálculo del Índice de Eficiencia Energética de proyectos (EEDI) obtenido para buques nuevos”.

C_{FME} : Factor de emisiones de CO₂ del combustible del motor principal. Para este factor se utiliza la Tabla 8, la cual también se encuentra en el párrafo 2.2.1 de la Resolución.

En caso de que el buque esté equipado con un motor dual (como es este caso), ya sea principal o auxiliar, el factor C_F para el combustible gas y el factor C_F para el *fuel oil* deberían aplicarse y ser multiplicados con el consumo específico de cada combustible. Además, se debe identificar el gas como como “combustible primario” siguiendo la fórmula a continuación:

Ecuación 8: Cálculo del combustible primario (factor del gas)

$$f_{DFgas} = \frac{\sum_{i=1}^{ntotal} P_{total(i)}}{\sum_{i=1}^{ngasfuel} P_{gasfuel(i)}} \cdot \frac{V_{gas} \cdot \rho_{gas} \cdot LCV_{gas} \cdot K_{gas}}{(\sum_{i=1}^{nliq} V_{liq(i)} \cdot \rho_{liq(i)} \cdot LCV_{liq(i)} \cdot K_{liq(i)}) + V_{gas} \cdot \rho_{gas} \cdot LCV_{gas} \cdot K_{gas}}$$

Ecuación 9: Cálculo del combustible primario (factor del líquido)

$$f_{DFliq} = 1 - f_{DFgas}$$

Donde:

- f_{DFgas} : Ratio de disponibilidad del combustible gas corregido para el ratio de potencia de motores de gas del total de los motores. Este valor no debe ser superior a 1.
- V_{gas} : Capacidad neta de gas a bordo, en m³. Este dato se obtendrá del TFG “Proyecto básico de un buque *Bulk Carrier* de 40.000 TPM”, en el que se ha desarrollado las características del *Bulk Carrier* [7].
- V_{liq} : Capacidad total de combustible líquido a bordo, en m³. Dato obtenido del mismo TFG que el volumen del gas.
- ρ_{gas} : Densidad del combustible gas en kg/m³. Este dato se ha obtenido de la tabla proporcionada por la empresa Gasnam (Asociación Ibérica de gas natural para la movilidad) [21].
- ρ_{liq} : Densidad del combustible líquido en kg/m³. La densidad del HFO se ha obtenido del TFG mencionado, teniendo en cuenta que según el *Project Guide* del motor principal esta densidad debe ser menor a 1.010 kg/m³ (ISO 8217:2017 [22]). En cuanto a la densidad del MDO esta se ha obtenido de también de la norma mencionada.
- LCV_{gas} : Poder calorífico (*Low Calorific Value*) del combustible gas, en kJ/kg. Este valor se ha encontrado en el *Project Guide* [13] del motor principal, el cual se refiere a la “2.006 IPCC Guidelines” [23].
- LCV_{liq} : Poder calorífico (*Low Calorific Value*) del combustible líquido, en kJ/kg. De la misma forma que se ha obtenido el valor del gas, el LCV del HFO y de MDO también se encuentran en el *Project Guide* [13], el cual se refiere a la norma ISO 15550:2002 [24] e ISO 3046-1:2002 [25].
- K_{gas} : Tasa de llenado de los tanques de combustible gaseoso. Tanto este valor como la tasa de llenado del combustible líquido se han obtenido a partir de la resolución MEPC.308(73) [9].
- K_{liq} : Tasa de llenado de los tanques de combustible líquido.
- P_{total} : Potencia total instalada (PME y PAE en kW). Estas potencias se han hallado usando las expuestas en el apartado “2.2 Definición de la planta propulsora original” y aplicando la Resolución, párrafos 2.2.5.1 y 2.2.5.7.
- $P_{gasfuel}$: Potencia del motor dual en kW.

Los datos y resultados se encuentran en la Tabla 11 y Tabla 12.

Una vez se tienen los resultados hay que tener en cuenta lo siguiente:

1. Si la capacidad del combustible gas es como mínimo el 50% de la capacidad total de combustible dedicado a los motores duales ($f_{DFgas} \geq 0,5$), entonces el combustible gas se tomará como el “combustible principal”, y $f_{DFgas}=1$ y $f_{DFliq}=0$, para cada motor dual.
2. Si $f_{DFgas} < 0,5$, el combustible gas no se considera “combustible primario”. El factor C_F y SFC en el cálculo del EEDI para cada motor dual debería calcularse como la media ponderada de C_F y SFC para los modos líquidos y gaseosos, de acuerdo con f_{DFgas} y f_{DFliq} . Por lo tanto, la parte de la ecuación original del EEDI que es $P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}$, se sustituirá por la fórmula a continuación:

Ecuación 10: Sustitución en la fórmula original del EEDI

$$P_{ME(i)} \cdot (f_{DFgas(i)} \cdot (C_{FMEpilotfuel(i)} \cdot SFC_{MEpilotfuel(i)} + C_{FMEgas(i)} \cdot SFC_{MEgas(i)}) + f_{DFliq(i)} \cdot C_{FMEliq(i)} \cdot SFC_{MEliq(i)})$$

Datos		
GAS	V _{gas} (m ₃)	1.295,56
	d _{gas} (kg/m ₃)	431
	LCV _{gas} (kJ/kg)	48.000
	k _{gas}	0,95
LÍQUIDO	V _{HFO} (m ₃)	1.132
	d _{HFO} (kg/m ₃)	944,30
	LCV _{HFO} (kJ/kg)	42.700
	k _{HFO}	0,98
	V _{MDO} (m ₃)	121,69
	d _{MDO} (kg/m ₃)	840
	LCV _{MDO} (kJ/kg)	42.700
	k _{MDO}	0,98
P _{total} (kW)	8.003,10	
P _{gas} (kW)	7.503	

Tabla 11: Datos para el cálculo del combustible principal

Resultados	
f _{DFgas}	0,365
f _{DFliq}	0,635
HFO primario	

Tabla 12: Resultados del cálculo del combustible principal

Finalmente, como se puede observar en la tabla anterior, el “combustible primario” del buque no es el LNG, por lo que habrá que aplicar una nueva fórmula (Ecuación 10) a la hora de calcular el EEDI, tal y como se ha explicado anteriormente. Esto implica que habrá que tener en cuenta el C_{FME} del HFO (3,114 t-CO₂/t-Fuel), del LNG (2,75 t-CO₂/t-Fuel), y del MDO como combustible piloto (3,206 t-CO₂/t-Fuel).

SFC: Consumo específico de combustible. En este caso habrá que tener en cuenta el consumo del HFO, LNG y MDO (piloto) que tienen un consumo de 153,70 g/kWh, 129,2 g/kWh y 3,4 g/kWh, respectivamente. Estos valores se han obtenido a partir del fabricante del motor principal (MAN *Energy Solutions* [14]), el cual da los valores de los consumos teniendo en cuenta la normativa para el cálculo del EEDI.

- Emisiones de los motores auxiliares: los parámetros a aplicar en esta parte de la fórmula son los siguientes:

P_{AE} : Potencia de los motores auxiliares (kW) requerida para la máxima carga incluyendo la potencia necesaria para la maquinaria/sistemas de propulsión y acomodación.

Para determinar el método de cálculo de la potencia de los motores auxiliares hay que calcular la potencia de propulsión total de la siguiente forma:

Ecuación 11: Párrafo 2.2.5.6.1 de la Resolución. Cálculo de la potencia

$$\sum MCR_{ME(i)} + \frac{\sum P_{PTI(i)}}{0,75}$$

- $MCR_{ME(i)}$: potencia máxima instalada del motor principal, especificada en la certificación EIAPP, la cual se puede comprobar en el *Project Guide* del motor. En este caso se utilizará el SMCR (*Specified Maximum Continuous Rating*).
- $P_{PTI(i)}$: Potencia consumida por el motor de cola. En este análisis, la planta propulsora no dispone de un PTI.

El valor de la ecuación anterior es superior a 10.000 kW, por lo que, siguiendo el párrafo 2.2.5.6.1 de la Resolución, se aplicará la fórmula siguiente para el cálculo de la potencia de los motores auxiliares.

Ecuación 12: Cálculo de la potencia del motor auxiliar

$$P_{AE(\sum MCR_{ME(i)} \geq 10000kW)} = \left(0,025 \cdot \left(\sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{0,75} \right) \right) + 250$$

El valor obtenido es:

$$P_{AE(\sum MCR_{ME(i)} \geq 10000kW)} = 500,10 \text{ kW}$$

A continuación, una vez obtenida la potencia, se valorará si este resultado es óptimo con respecto a la realidad del buque. Como ya se ha mencionado en el apartado “2 Balance energético”, la potencia máxima de la instalación es 1.317,79 kW en la condición de carga y descarga (usando dos motores auxiliares). Por otro lado, en la condición de navegación, la cuál es la que mayor tiempo de consumo tiene, la potencia máxima es de 604,02 kW. Según la Resolución, en el párrafo 2.2.5.6, en el que se explica la definición de P_{AE} , este parámetro debe incluir la potencia requerida para suministrar la carga máxima normal, incluida potencia necesaria para la maquinaria/sistemas de propulsión y alojamiento, pero excluyendo aquellos sistemas como los de carga. Es por esta razón que la potencia de carga y descarga se excluirá de esta valoración. Finalmente, se establece que el resultado obtenido por la Ecuación 12 es óptimo con respecto a la potencia real, una vez que se ha comparado con la potencia de la condición de navegación.

C_{FAE} : Factor de emisiones de CO₂ del combustible del motor auxiliar. Al igual que en el caso del motor principal, este valor se obtendrá de la tabla de la Tabla 8, teniendo un valor para el MDO de 3,206 t-CO₂/t-Fuel.

SFC_{AE} : Consumo específico de combustible. La resolución MEPC.308(73) indica que, para un motor auxiliar certificado siguiendo el “NO_x Technical Code 2008”, el consumo específico de combustible es aquel obtenido a un 50% del MCR.

Sabiendo esto, el *Project Guide* del motor auxiliar [15] indica que el consumo específico es de 195 g/kWh para 50% del MCR.

- Emisiones de los generadores/motores de cola: en este apartado se incluye la potencia del PTI y la potencia de la tecnología de energía mecánica eficiente para los motores auxiliares, en caso de haberla. En este caso, no se ha instalado ninguna de estas tecnologías.
- Tecnologías eficientes: El buque de análisis no tiene ninguna tecnología eficiente instalada originalmente, por lo que este apartado tampoco se ha aplicado en la fórmula de final del EEDI.
- Trabajo de transporte: los parámetros serán los siguientes:
Capacidad: Para *Bulk Carriers*, el peso muerto del buque se usará como la capacidad del buque. En este caso el valor será de 40.482,39 TPM.

V_{ref} : La velocidad del buque, medida en nudos, en aguas profundas en la condición que corresponde a la “capacidad” definida anteriormente, a la potencia de los motores definida en el párrafo 2.2.5 de la Resolución. Esta velocidad será por lo tanto 15 nudos.

f_i : Factor de capacidad para la limitación técnica/reglamentaria de la capacidad. En el párrafo 2.2.11.3 se encuentra el f_{iCSR} , el cual se aplica a buques bajo el CSR (*Common Structural Rules*) de las sociedades de clasificación, como los graneleros y petroleros. Se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$f_{iCSR} = 1 + \left(0,08 \cdot \frac{LWT_{CSR}}{DWT_{CSR}} \right)$$

Donde DWT_{CSR} es el peso muerto determinado en el párrafo 2.2.4 de la Resolución y LWT_{CSR} es el peso en rosca del buque (8.162,37 T).

El valor de f_{iCSR} es 1,02.

f_c : Factor de corrección de capacidad cúbica. Para aplicar este factor a un *Bulk Carrier* es necesario hallar R, que es el ratio de capacidad del peso muerto del buque (T), como se ha determinado anteriormente, dividido por la capacidad cúbica de las bodegas de carga del buque (m³).

El volumen de cada bodega es el siguiente, obtenido del TFG “Proyecto básico de un *Bulk Carrier* de 40.000 TPM”:

BODEGA	Volumen (m ³)
1	8.966,27
2	10.637,46
3	10.633,77
4	10.635,62
5	9.675,87

Tabla 13: Volumen de las bodegas de carga

Sumando todos los volúmenes, se divide el peso muerto entre éstos, dando un ratio R de 0,8.

Según la Resolución, párrafo 2.2.12.4, si el valor de R es mayor que 0,55 (para *Bulk Carriers* diseñados para llevar carga ligera), entonces f_c será 1.

f_l : Factor para buques de carga general equipados con grúas y equipos relacionados con la carga. Se debe aplicar la fórmula siguiente:

Ecuación 13: Factor para buques de carga general con grúas y equipos relacionados con la carga

$$f_l = f_{grúas} \cdot f_{cargalateral} \cdot f_{roro}$$

Si el buque no dispone de cualquiera de estos elementos, en la fórmula se aplicará un valor de 1.

Ecuación 14: Cálculo del factor grúas

$$f_{grúas} = 1 + \frac{\sum_{n=1}^n 0,0519 \cdot SWL_n \cdot Alcance_n + 32,11}{Capacidad}$$

Donde:

- SWL: *Safe Working Load*. Es la carga segura de trabajo, especificada por el fabricante, en toneladas. Las grúas instaladas tendrán un SWL máxima de 45 T [26].
- Alcance (*Reach*): Alcance que tiene en SWL, aplicado en metros. En este caso tendrá un alcance máximo de 32 metros.
- N: Número de grúas.

Por lo tanto, el valor de $f_{grúas}$ es 1,24, y el resto de los factores, como ya se mencionó, serán 1. Finalmente, f_l es 1,24.

f_w : factor de reducción de velocidad en el mar. Es un coeficiente adimensional que indica la disminución de la velocidad en condiciones de altura, frecuencia de ola y velocidad del viento representativas. Este factor se hallará siguiendo el párrafo 2.2.9.2.2 de la Resolución, el cual indica que, en caso de que no se lleve a cabo una simulación de la actuación del buque en condiciones de mar representativas, f_w debe obtenerse de la curva de “ f_w normalizado”, presente en el documento MEPC.1/Circ.796 “*Interim Guidelines for the calculation of the coefficient f_w for decrease in ship speed in a representative sea condition for a trial use*” [27].

Al aplicar esto, hay que tener en cuenta que se referirá al “EEDI obtenido” como “EEDI_{weather} obtenido”.

Siguiendo la Guía mencionada [27], el valor de f_w se expresa de la siguiente forma:

Ecuación 15: Standard f_w value

$$standard\ f_w\ value = a \cdot \ln(Capacidad) + b$$

Donde “a” y “b” son valores dados en la Tabla 1, Párrafo 2, Parte 2 del MEPC.1/Circ 796. En el caso de un *Bulk Carrier* los valores de “a” y “b” serán 0,0429 y 0,294, respectivamente.

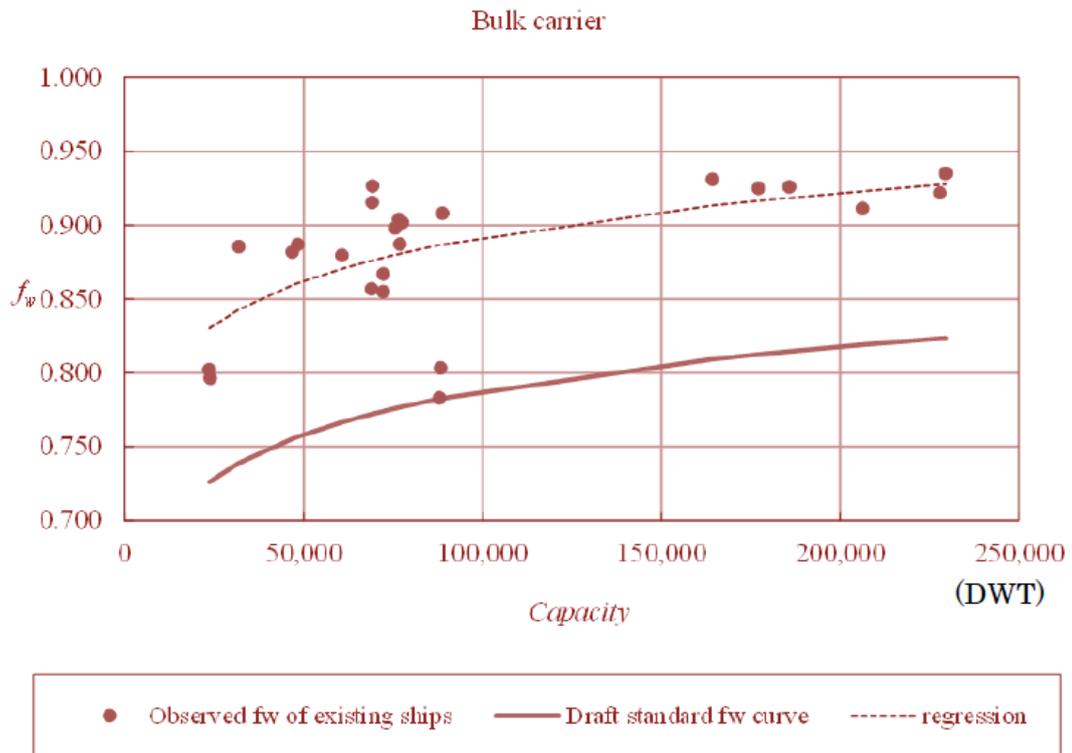


Ilustración 8: Curva de f_w para bulk carriers (MEPC.1/Circ 796)

Por lo tanto, aplicando la fórmula anterior, el valor de f_w es 0,75.

Finalmente, una vez obtenidos todos los factores de la fórmula, se halla el valor del “ $EEDI_{weather}$ obtenido”. A continuación, se presenta una tabla resumen de los datos y resultados expuestos a lo largo de este último apartado, junto con el resultado final del EEDI.

Emisiones del motor principal	3.283.478,20
Emisiones del motor auxiliar	312.647,52
Trabajo de transporte	571.825,29
$EEDI_{weather}$ obtenido (g/Tmn)	6,29

Tabla 14: Resultado del EEDI de la planta original

3.1 Cumplimiento del EEDI

El propósito del EEDI realizar una comparación justa para estimular el desarrollo de buque más eficientes y establecer un mínimo de eficiencia dependiendo del tipo y tamaño del buque. Debido a esto, es necesario el cálculo de las “líneas de referencia” (*reference line*) para cada tipo de buque.

La “línea de referencia” está definida en la resolución MEPC.231(65) “*Guidelines for calculation of reference lines for use with the Energy Efficiency Design Index (EEDI)*” [28] como la curva que representa el valor medio de un índice sobre un grupo de valores individuales de índices para un grupo definido de buques.

La “línea de referencia” se formula de la siguiente forma:

Ecuación 16: Línea de referencia

$$\text{Valor de la línea de referencia} = a \cdot (100\% \text{ peso muerto})^{-c}$$

Los parámetros “a” y “c” se determinan a partir de curvas de regresión.

Por otro lado, para calcular la “línea de referencia”, se calculará también el “Valor estimado del índice” (*Estimated index value*) para cada buque contenido en un grupo de buques, clasificado por tipos. La ecuación para calcular este valor es la siguiente:

Ecuación 17: Valor estimado del índice

$$\text{Valor estimado del índice} = 3,1144 \cdot \frac{190 \cdot \sum_{i=1}^{NME} P_{MEi} + 215 \cdot P_{AE}}{\text{Capacidad} \cdot V_{ref}}$$

Para aplicar esta fórmula es necesario realizar las siguientes asunciones:

- El factor de emisión de carbono es constante en todos los motores.
- El consumo específico de combustible para todos los tipos de buques es constante para todos los motores principales.
- $P_{ME(i)}$ es el 75% de la potencia total instalada.
- El consumo específico de combustible para todos los tipos de buque es constante en todos los motores auxiliares.
- PAE es la potencia auxiliar y se calcula de acuerdo con los párrafos 2.2.5.6.1 y 2.2.5.6.2 del anexo de MEPC.308(73).
- La innovación de tecnología de eficiencia energética se excluye de estos cálculos.

Por lo tanto, el “Valor estimado del índice” tendrá un valor de 7,86 g/Tmn.

Debido a que este proyecto tratará los cálculos y el diseño del buque desde una perspectiva que, en términos de la resolución MEPC.203(62) “Enmiendas al anexo del protocolo de 1.997 que enmienda el convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1.973, modificado por el protocolo de 1978” [29], se tratará de una “transformación importante” del buque y no como “buque existente” o como “buque nuevo”. Sin embargo, y de forma anecdótica, también se han realizado los cálculos para el caso de un buque nuevo que, teniendo en cuenta que no se dispone de los datos necesarios para realizar un análisis de regresión, se usaría el resultado del “Valor estimado del índice” como límite, lo que significaría que el buque cumpliría inicialmente con el EEDI, tal y como se indica en la tabla a continuación:

EEDI_{weather} obtenido (g/Tmn)	6,29			
Línea de referencia	7,86			
Factor de reducción (%)	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3
	-	10	20	30
EEDI prescrito	7,86	7,08	6,29	5,50
CUMPLE MEPC.203(62)	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 15: Cumplimiento del EEDI obtenido respecto al EEDI prescrito (para un buque nuevo)

Por otro lado, como ya se ha mencionado, para hallar el valor de “a” y “c” de la Ecuación 16 a partir del “Valor estimado del índice” es necesario tener más datos acerca de otros barcos del mismo tipo, por lo que se recurrirá a la resolución MEPC.203(62). En este documento, en el capítulo 4, regulación 21, párrafo 3, Tabla 2, se encuentran los valores de los parámetros “a” y “c” para cada tipo de buque.

Tipo de buque definido en regulación 2	a	b	c
2.25 Granelero	961,79	TPM del buque	0,477
2.26 Gasero	1.120,00	TPM del buque	0,456
2.27 Petrolero	1.218,80	TPM del buque	0,488
2.28 Portacontenedores	174,22	TPM del buque	0,201
2.29 Carguero	107,48	TPM del buque	0,216
2.30 Frigorífico	227,01	TPM del buque	0,244
2.21 Polivalente	1.219,00	TPM del buque	0,488

Tabla 16: Parámetros para la determinación de los valores de referencia

Para finalizar con el análisis, siguiendo la resolución MEPC.203(62), se calculará el EEDI prescrito, debiéndose cumplir lo siguiente:

Ecuación 18: Cumplimiento del EEDI prescrito

$$EEDI\ obtenido \leq EEDI\ prescrito = \left(1 - \frac{X}{100}\right) \cdot Valor\ del\ nivel\ de\ referencia$$

Donde “X” es el factor de reducción especificado en la tabla 1 del capítulo 4, regulación 21, párrafo 3, de la enmienda. En la tabla a continuación, se presentan los resultados del EEDI, estableciendo finalmente si el buque cumple con el EEDI prescrito.

EEDI_{weather} obtenido (g/Tmn)	6,29			
Línea de referencia	6,10			
Factor de reducción (%)	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3
	-	10	20	30
EEDI prescrito	6,10	5,49	4,88	4,27
CUMPLE MEPC.203(62)	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 17: Cumplimiento del EEDI obtenido respecto al EEDI requerido (planta original)

Tipo de buque	Tamaño	Fase 0 01/01/2.013 - 31/12/2.014	Fase 1 01/01/2.015 - 31/12/2.019	Fase 2 01/01/2.020 - 31/12/2.024	Fase 3 01/01/2.025 hacia adelante
Granelero	20.000 TPM y mayor	0	10	20	30
	10.000-20.000 TPM	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Gasero	10.000 TPM y mayor	0	10	20	30
	2.000-10.000 TPM	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Petrolero	20.000 TPM y mayor	0	10	20	30
	4.000-20.000 TPM	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Portacontenedores	15.000 TPM y mayor	0	10	20	30
	10.000-15.000 TPM	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Carguero	15.000 TPM y mayor	0	10	15	30
	3.000-15.000 TPM	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Frigorífico	5.000 TPM y mayor	0	10	15	30
	3.000-5.000 TPM	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Polivalente	20.000 TPM y mayor	0	10	20	30
	4.000-20.000 TPM	n/a	0-10*	0-20*	0-30*

Tabla 18: Factor de reducción (en porcentaje) para el EEDI relativo al EEDI de la Línea de Referencia

Como se puede observar, el EEDI obtenido de la planta original ni siquiera cumple la Fase 0 (desde el 1 enero de 2.013 al 31 de diciembre de 2.014), por lo que es necesario la optimización del buque para que este sea energéticamente eficiente y que cumpla la normativa. Esto se realizará basándose en el análisis de consumo realizado en el apartado 2. "Balance energético".

4 REDUCCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO

En este apartado se recalculará la potencia necesaria de las bombas, el aire acondicionado y ventilación y el alumbrado (el cual influye en el anterior).

De esta manera se hallarán unos valores más ajustados a la realidad del buque, aplicando la normativa pertinente para cada sistema.

4.1 Consumo de potencia del alumbrado

En el caso del alumbrado total del buque, se ha decidido por cambiar a LED todas aquellas luminarias que no lo eran. Esto permitirá no solo reducir el consumo de potencia, también se disminuirá la emisión de calor de las luminarias y se aumentará su rendimiento. A continuación, se encuentra una comparativa de las luminarias antiguas con las nuevas instalaciones.

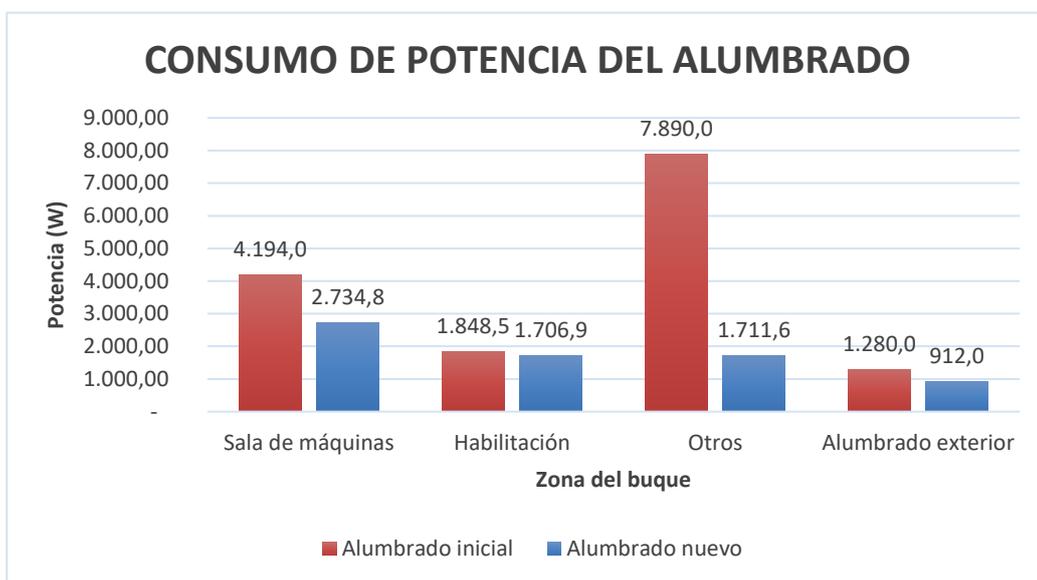


Gráfico 10: Consumo de potencia del alumbrado

Las tablas con las distintas luminarias instaladas en cada zona del buque, tanto inicialmente, como las nuevas, se encuentran en el Anexo III.

4.2 Ventilación y aire acondicionado de la cámara de máquinas

Para el cálculo de la ventilación se usará la NORMA UNE-EN ISO 8861 [30] y para el cálculo de la climatización la norma UNE 100020 [31].

Si bien, en el cálculo inicial para determinar la ventilación de la cámara de máquinas se tomaron las condiciones de diseño propuestas por la norma UNE-EN ISO 8861, en la que se toma la temperatura ambiente del aire exterior como +35°C, siendo el incremento de temperatura menos a 12,5 K, en el cálculo a continuación se ha decidido aplicar las temperaturas reales de la zona de navegación del buque para la temperatura exterior y las temperaturas indicadas en la norma UNE-EN ISO 7730 [32] para el interior, obteniendo de esta manera un resultado más ajustado.

Estación	Zona	Temperatura (°C)
Verano	Aire exterior	33,25
	Aire interior	24
Invierno	Aire exterior	15,25
	Aire interior	19

Tabla 19: Temperatura del aire en verano y en invierno

Se deben tener en cuenta las condiciones normales de funcionamiento de la maquinaria, tanto en la mar como en puerto.

Finalmente, antes de comenzar con el cálculo de la ventilación hay que tener en cuenta que la capacidad de la planta de ventilación debería proporcionar unas condiciones confortables en la sala de máquinas, suministrando el aire necesario para combustión de los motores y calderas, evitando el sobrecalentamiento.

4.2.1 Cálculo del flujo de aire

A continuación, se procederá a realizar el cálculo del flujo de aire de la cámara de máquinas.

En primer lugar, hay que establecer que el flujo de aire total (Q) de la sala de máquinas debe ser al menos el valor más alto de los siguientes dos cálculos:

Ecuación 19: Flujo de aire total Q1

- $Q = q_c + q_h$

Ecuación 20: Flujo de aire total Q2

- $Q = 1,5 \cdot q_c$

Donde:

- q_c : Flujo de aire para la combustión en el que se tendrán los flujos de aire para la combustión del motor principal, el motor diésel de los generadores y el flujo de aire para la combustión de la caldera.

Ecuación 21: Flujo de aire para la combustión

$$q_c = q_{dp} + q_{dg} + q_b$$

Para el cálculo de cada flujo se han aplicado las fórmulas propuestas por la norma UNE-EN ISO 8861 de los apartados 5.2.2, 5.2.3 y 5.2.4.

Aire para la combustión	(m ³ /s)
q _{dp}	19,92
q _{dg}	2,56
q _b	0,61
q _c	23,09

Tabla 20: Flujo de aire para la combustión

- q_h: Flujo de aire para la evacuación de la emisión de calor. En este caso se aplicarán las emisiones de calor de todas las máquinas, equipos e instalaciones eléctricas que se encuentran en la cámara de máquinas del buque.

Ecuación 22: Flujo de aire para la evacuación de la emisión de calor

$$q_h = \frac{\phi_{dp} + \phi_{dg} + \phi_b + \phi_p + \phi_g + \phi_{el} + \phi_{ep} + \phi_t + \phi_o}{\rho \cdot c \cdot \Delta T} - 0,4 \cdot (q_{dp} + q_{dg}) - q_b$$

Hay que destacar que, para el cálculo de las emisiones de las instalaciones eléctricas, debido a que no se saben todos los detalles de las instalaciones, la emisión de calor se tomará como el 20% de la potencia de régimen del equipo eléctrico y de la iluminación que se utiliza en el mar. Esta potencia corresponde a la potencia de los dispositivos que se encuentran en la sala de máquinas (129,14 kW).

Para el cálculo de cada emisión de calor se han aplicado las fórmulas propuestas por la norma UNE-EN ISO 8861 del apartado 6.

Emisión de calor	
ϕ _{dp} (kW)	100,04
ϕ _{dg} (kW)	60,00
ϕ _b (kW)	1,39
ϕ _p (kW)	3,45
ϕ _g (kW)	88,80
ϕ _{el} (kW)	25,83
ϕ _{ep} (kW)	3,20
ϕ _t (kW)	167,02
ϕ _o (kW)	8,99
q _h (m ³ /s)	21,85

Tabla 21: Flujo de aire para la evacuación de la emisión de calor

Todos los valores relacionados con el motor principal se han obtenido de la *Project Guide* de este [15] o del informe CEAS *Engine Calculation* [14] de MAN Energy Solutions.

En el caso del motor diésel de los generadores, se harán los cálculos para dos de ellos ya que el tercero es de reserva y en condiciones normales no se utilizaría. Todos los datos se han obtenido del *Project Guide* [16].

Finalmente, los valores de los flujos totales obtenidos son los siguientes:

	(m ³ /s)	(m ³ /h)
Q _a (m ³ /s)	44,94	161.789,84
Q _b (m ³ /s)	34,64	124.691,44

Tabla 22: Resultado del flujo de aire total

Para un desglose más exhaustivo de los datos aplicados en el cálculo de la ventilación véase el Anexo IV.

4.2.2 Resultados de la ventilación de la cámara de máquinas

Tomando los resultados obtenidos en el apartado anterior se determinará el tipo de ventiladores y la cantidad necesarios para suministrar el caudal de ventilación óptimo.

En el diseño inicial se instalaron 7 ventiladores axiales BRW-100-005-P20 (6 operativos y uno de reserva) de la marca BRONSWERK MILITARY HVAC-R [33], consumiendo un total de 69,3 kW.

Usando los valores de la Tabla 22 se ha realizado una comparativa entre distintos modelos y marcas de ventiladores para hallar el que más se adecue en cuanto a consumo de potencia y número de ventiladores. En primer lugar, se ha acudido al catálogo de la marca BRONSWERK estableciendo la comparativa de la tabla a continuación. Como se puede observar en esta tabla, el ventilador instalado en el diseño inicial sigue siendo el óptimo, habiendo ahora una reducción económica debido al menor número de ventiladores y, por lo tanto, una reducción de potencia.

BRONSWERK	BRW-100-005-P20	BRW-100-005-P21	BRW-100-005-P19
Capacidad ventilador	45.000	50.000	40.000
Nº ventiladores	4	4	5
P consumida (kW)	7,9	8,9	7,1
P total (kW)	32	36	36

Tabla 23: Ventiladores BRONSWERK cámara de máquinas

Además, se ha consultado también en el catálogo de la marca SODECA [34], concretamente su modelo HFW especial para aplicaciones industriales. En la tabla a continuación se encuentra los distintos modelos y su comparativa entre ellos.

	HFW-90-4T-7,5	HFW-90-4T-10 IE3	HFW-100-4T-15 IE3
Capacidad ventilador	46.150	50.150	66.300
Nº ventiladores	4	4	3
P consumida (kW)	5,5	7,5	11
P total (kW)	22	30	33

Tabla 24: Ventiladores SODECA cámara de máquinas

Los ventiladores SODECA comparados tienen un menor consumo que los BRONSWERK usando el mismo número de ventiladores. Por esta razón, se ha decidido que se instalarán 5 ventiladores (4 operativos y uno en reposo) HFW-90-4T-7,5 de la marca SODECA, que significarán un consumo de potencia total de 22 kW. En el apartado 4.4 “Comparativa de los consumos debido a ventilación y aire acondicionado” se presenta gráficamente la reducción que supone esta nueva instalación.

4.2.3 Resultados de la extracción de aire de la cámara de máquinas

Teniendo en cuenta que la mayor parte de los gases de evacuarán por ventilación natural indirecta (Norma UNE 100020), se han tomado dos normas para establecer la cantidad de renovaciones por hora que son necesarias en la sala.

En primer lugar, para una estimación inicial, se ha tomado la norma DIN 1946-4:2008-12 [35] estableciendo que la renovación de aire óptima de la sala de máquinas es de 40 renovaciones/hora. A partir de esto, y sabiendo que el volumen de la sala de máquinas es de 3.427,8 m³, se necesitará extraer un caudal de aire de 137.112 m³/h, estableciendo de esta forma el caudal mínimo necesario.

A continuación, se han realizado una búsqueda de ventiladores que suplan este caudal tanto de la marca BRONSWERK como de la marca SODECA, que son los siguientes:

BRONSWERK	BRW-125-005-P22	BRW-125-010-P23	BRW-125-010-P24	BRW-125-010-P25
Capacidad extractor	50.000	63.000	80.000	100.000
Nº extractores	3	3	2	2
P consumida (kW)	12,1	23,6	39,3	41,4
P total (kW)	36,3	70,8	78,6	82,8

Tabla 25: Extractores BRONSWERK cámara de máquinas (previo)

SODECA	THT-90-4T-10	THT-100-4T-7,5	THT-100-4T-10	THT-71-4T-4
Capacidad extractor	50.000	51.700	56.400	65.850
Nº extractores	3	3	3	3
P consumida (kW)	7,5	5,5	7,5	11
P total (kW)	22,5	16,5	22,5	33

Tabla 26: Extractores SODECA cámara de máquinas (previo)

Como se puede observar, los extractores de SODECA, tienen un menor consumo que los de BRONSWERK, por lo que los cálculos finales solo se realizarán con los modelos de la Tabla 26.

Por último, la norma UNE-EN ISO 8861, anexo A, apartado A.2, indica que la sala de máquinas deberá tener una ligera presión positiva, no excediendo los 50 Pa de presión. Partiendo de que debe existir esta diferencia de presiones entre la entrada y la salida, se ha calculado la cantidad de presión de entrada a partir del área del ventilador y la velocidad del aire que entra, dando una presión de 320,29 Pa. Esto indica que la presión del extractor no puede ser menor a 270,29 Pa.

De esta forma, se han calculado las presiones para cada uno de los extractores elegidos cumpliendo con la restricción de presión de la norma, y siendo el caudal siempre superior al ya calculado con la norma DIN.

SODECA	THT-90-4T-10	THT-100-4T-7,5	THT-100-4T-10	THT-71-4T-4
Capacidad extractor	50.000	51.700	56.400	65.850
Nº extractores	3	5	5	3
P consumida (kW)	7,5	5,5	7,5	11
P total (kW)	22,5	27,5	37,5	33
Qextraccion	148.626	244.655	244.655	137.112

Tabla 27: Extractores SODECA cámara de máquinas (final)

Analizando la tabla anterior, se puede llegar a la conclusión clara de que el modelo THT-90-4T-10 es la mejor opción para la instalación por las siguientes razones:

- En primer lugar, debido a la potencia consumida, ya que el modelo elegido es el que tiene un valor menor.
- En cuanto al número de extractores, tanto el modelo THT-90-4T-10 como el THT-71-4T-4 tienen el mismo número, pero este último modelo tiene un consumo de potencia mucho mayor, por lo que se descarta.
- Finalmente, los otros dos modelos que faltan por analizar requieren de un caudal muy alto para poder cumplir con la presión requerida por la norma, lo que significa que no cumplen el requerimiento de presión positiva en el interior de la sala.

Para finalizar con el análisis de los extractores, en el diseño inicial de la ventilación, se instalaron 7 extractores BRW-125-005-P18 con un consumo total de 38,5 kW, por lo que la nueva instalación supone también un gran ahorro económico y en el consumo de potencia.

4.2.4 Ventilación y aire acondicionado de la sala de control

Para determinar el aire acondicionado de la sala de control se tomará la norma UNE-EN ISO 7547 [36] y UNE-EN ISO 8861 [30]. De esta forma se podrá hallar las condiciones óptimas para la estancia de personas en la sala teniendo en cuenta la emisión de calor de los sistemas eléctricos.

Este proceso de cálculo se explicará con detalle en el apartado 4.3 “Ventilación y aire acondicionado de la habitación”.

Una vez hechos los cálculos se obtienen los siguientes resultados tanto en verano como en invierno.

	Invierno	Verano			
	Transmisión de calor (kW)	Transmisión de calor (kW)	Aporte solar (kW)	Aporte personas (kW)	Aporte iluminación (kW)
Sala de control	0,4	0,6	0,26	0,24	0,10
Total (kW)	0,4	1,16			

Tabla 28: Resultados del aire acondicionado en la sala de control

Tal y como se puede observar, la condición que tiene un valor mayor es la de verano, por lo que será este valor el que se use como base para la elección del sistema de aire acondicionado.

En este caso se ha decidido instalar el sistema Split del grupo Eurofred [37], concretamente el modelo ASG07-KGTB el cual tiene una capacidad de refrigeración de 2 kW y de calefacción 2,5 kW, consumiendo un máximo de 0,5 kW.

Por otro lado, se ha determinado el caudal de extracción necesario para tener una ventilación óptima en la sala de control. Sabiendo que el caudal de entrada es de 650 m³/h y teniendo en cuenta que la sala debe tener una compensación positiva, se han aplicado 15 renovaciones la hora, por lo que se necesitará un caudal de extracción de 720 m³/h. Con estos datos, se instalarán tres ventiladores axiales VENTS 150 Silenta-SVT [38] de 240 m³/h de capacidad y un consumo de potencia de 20 W.

4.3 Ventilación y aire acondicionado de la habitación

Para los cálculos de ventilación se aplicará la norma UNE-EN ISO 7547 [36], estableciendo las condiciones de diseño de temperatura como la Tabla 19.

4.3.1 Cálculo de las ganancias y pérdidas de calor

En el caso de la habitación, se realizarán los cálculos para la estación de verano y de invierno, eligiendo, una vez conocidos los resultados, la condición de mayor valor para decidir los sistemas.

- Invierno: en esta condición solo se aplicará el apartado 5.2 de la norma UNE-EN ISO 7547 en el que se hallará la transmisión de calor.

Ecuación 23: Transmisión de calor

$$\phi = \Delta T(k_v \cdot A_v) + (k_g \cdot A_g)$$

Donde:

- k_v : es el coeficiente de transmisión de calor, en vatios por metro cuadrado, para la superficie A_v . Para su cálculo se ha seguido el apartado 5.2.3 de la norma. Según este apartado, se considera que existe una protección térmica adecuada en todas las superficies expuestas a las condiciones exteriores, por lo que para determinar este coeficiente se aplicará los valores presentes en la tabla 2, del apartado 5.2.4 de la norma.
- A_v : superficie en metros cuadrados, excluyendo los portillos laterales y las ventanas rectangulares. Las áreas de las salas se han obtenido a partir del Trabajo de Fin de Grado "Proyecto Básico de un Buque *Bulk Carrier* de 40.000 TPM", Cuaderno 11 [7]. Se pueden consultar estas dimensiones en el Anexo IV.
- k_g : es el coeficiente de transmisión total de calor, en vatios por grado kelvin por metro cuadrado, para la superficie A_g . Para su cálculo se ha seguido el apartado 5.2.3. En este caso también se aplicará la tabla 2, 5.2.4 de la norma, en la cual se especifican los coeficientes para los portillos y ventanas.
- A_g : es el área, en metros cuadrados, de los portillos laterales y las ventanas rectangulares. En la zona de habitación solo hay ventanas rectangulares según la Fig. 2, apartado 5.2.1 de la norma, cuyas dimensiones se encuentran en el Anexo IV.

Una vez realizados estos cálculos, ya se tiene el valor de las pérdidas de calor que se producen en invierno, a lo que se le ha añadido un margen de 8%, siguiendo el Proyecto Fin de Carrea de la Universidad de Cantabria con el título de "Cálculo y diseño de la instalación de aire acondicionado para un buque LNG" [39]:

INVIERNO			
Zonas	Trans. Calor (kW)	Total (kW)	Margen 8%
Cubierta principal	1,41	1,41	1,52
Cubierta 1	3,86	3,86	4,17
Cubierta 2	2,49	2,49	2,69
Cubierta 3	1,30	1,30	1,40
Puente de mando	0,66	0,66	0,72
Total (kW)	9,72	9,72	10,50

Tabla 29: Pérdida de calor de la habilitación en invierno

- Verano: En esta condición se aplicará la fórmula de transmisión de calor explicada anteriormente correspondiente al apartado 5.2 de la norma UNE-EN ISO 7547, a la que se le sumará el aporte de calor debido al sol, el calor aportado por las personas, por la iluminación y por otras fuentes, explicado en los apartados 5.3, 5.4 y 5.5 de la norma, respectivamente.
 Para el cálculo del aporte de calor debido al sol se tendrá la fórmula siguiente:

Ecuación 24: Cálculo de aporte de calor debido al sol

$$\phi_s = \sum A_v \cdot k \cdot \Delta T_r + \sum A_g \cdot G_s$$

Donde:

- A_v : superficie expuesta a la radiación solar en metros cuadrados, excluyendo los portillos laterales y las ventanas rectangulares. Las áreas de las salas se han obtenido a partir del Trabajo de Fin de Grado "Proyecto Básico de un Buque *bulkcarrier* de 40.000 TPM", Cuaderno 11 [7]. Se pueden consultar estas dimensiones en el Anexo IV.
- k : es el coeficiente de transmisión de calor de acuerdo con el apartado 5.2.3 de la norma para la superficie A_v .
- ΔT_r : es el aumento de temperatura causado por las superficies por la radiación solar. En este caso, las paredes y cubiertas serán de color claro, por lo que el aumento de temperatura será 12 K para las superficies verticales y 16 K para las superficies horizontales.
- A_g : es el área de las superficies de cristal expuestas a radiación solar, en metros cuadrados.
- G_s : es el aumento de calor por metro cuadrado debido a las superficies de cristal, siendo el valor para las superficies de cristal claro 350 W/m².

A continuación, para el cálculo del calor aportado por las personas se seguirán los valores de la Tabla 4 del apartado 5.4 de la norma. Esta tabla especifica una emisión de calor (sumando el calor sensible y latente) de 120 W cuando las personas se encuentren en reposo y de 235 W cuando se encuentren realizando un trabajo medio/duro. Estos valores se asignarán a las distintas salas y se multiplicarán por el número de personas respectivo.

Zonas	Nº personas	Calor aportado persona	Flujo (W)	
Cubierta principal	Enfermería	3	120	360
	Vestuario	11	235	2.585
	Taller	5	235	1.175
	Despensa	1	120	120
	Oficina	3	120	360
Cubierta 1	Camarote (x7)	1	120	120
	Baño privado (x7)	1	120	120
	Cocina	6	235	1.410
	Comedor	22	120	2.640
	Recreación (x2)	9	120	1.080
Cubierta 2	Camarote (x10)	1	120	120
	Baño privado (x10)	1	120	120
	Lavandería	6	120	720
	Pañol ropa limpia	1	120	120
Cubierta 3	Camarote (x5)	1	120	120
	Baño privado (x5)	1	120	120
	Oficina	6	120	720
Puente de mando	5	120	600	

Tabla 30: Calor aportado por las personas

Finalmente, se ha calculado el calor aportado por la iluminación, realizado a partir de las potencias de las nuevas luminarias descritas en el apartado 4.1 “Consumo de potencia del alumbrado”. Estas potencias de las luminarias se han multiplicado por el coeficiente de emisión de calor que, en el caso de los LEDs, su valor será de 0,08 W/W, dato obtenido del artículo “*Internal heat gain from different light sources in the building lighting systems*” de Darius Suszanowicz, publicado en la Conferencia Internacional EEMS de 2017 [40]. A continuación, se presenta la tabla con los resultados obtenidos para cada sala:

Zonas		Flujo (W)	Flujo (kW)
Cubierta principal	Enfermería	7,7	0,008
	Vestuario	3,8	0,004
	Taller	4,7	0,005
	Dispensa	0,8	0,001
	Oficina	7,7	0,008
Cubierta 1	Camarote (x7)	16,0	0,016
	Baño privado (x7)	5,49	0,01
	Cocina	20,5	0,021
	Comedor	18,2	0,018
	Recreación (x2)	4,6	0,005
Cubierta 2	Camarote (x10)	22,8	0,023
	Baño privado (x10)	7,8	0,008
	Lavandería	1,9	0,002
	Pañol ropa limpia	0,8	0,001
Cubierta 3	Camarote (x5)	11,4	0,011
	Baño privado (x5)	3,9	0,004
	Oficina	7,7	0,008
Puente de mando		23,04	0,02

Tabla 31: Calor aportado por la iluminación

Finalmente, una vez realizados todos estos cálculos se obtendrá un resultado final de 100,42 kW correspondientes a las ganancias de calor en verano. En la siguiente tabla, se encuentra un resumen de los resultados, estando los cálculos completos en el Anexo IV.

VERANO						
Zonas	Trans. Calor (kW)	Solar (kW)	Personas (kW)	Iluminación (kW)	Total (kW)	Margen 8%
Cubierta principal	2,01	7,16	4,60	0,02	13,80	14,90
Cubierta 1	4,38	20,19	5,37	0,06	30,00	32,40
Cubierta 2	3,71	18,10	1,08	0,03	22,92	24,75
Cubierta 3	1,66	10,63	0,96	0,02	13,27	14,33
Puente de mando	1,23	11,14	0,60	0,02	12,99	14,03
Total (kW)	12,99	67,21	12,61	0,17	92,98	100,42

Tabla 32: Ganancias de calor de la habitación en verano

4.3.2 Resultados del aire acondicionado en la habilitación

Una vez realizado todo el proceso de cálculo descrito anteriormente, se llega a la conclusión de que, para poder hacer una elección óptima del sistema del aire acondicionado, será necesario basarse en los valores obtenidos en la estación de verano, la cual necesitará una mayor potencia para la refrigeración, que la estación de invierno para la calefacción.

En el diseño inicial del sistema de aire acondicionado se instaló la una unidad de aire acondicionado a partir del catálogo de Eurofred [41], del tipo VRF Airstage V-III AJG 468 LALBH que se capaz de suministrar una potencia frigorífica de 145 kW, consumiendo una potencia eléctrica de 46,13 kW.

Se ha decidido continuar con las unidades VRF ya que se diseñan para proporcionar de forma eficaz una solución de aire acondicionado para para múltiples proyectos, desde una gran residencia doméstica hasta un edificio comercial a gran escala, característica que se ajusta a la forma en la que está distribuida la habilitación.

En la tabla a continuación se ha realizado una comparativa de las distintas unidades exteriores apropiadas para refrigerar las salas. Hay que destacar que todos los sistemas tienen una potencia de calefacción superior a la de refrigeración, por lo que siempre cumplirá con la potencia necesaria para la estación de verano.

(kW)	AJH324GALBH	AJG342LALBH	AJG324LALBHH
Capacidad de refrigeración	102,4	106	100,5
Capacidad de calefacción	115	113	112,5
Potencia de entrada de refrigeración	28,13	31,12	26,88
Potencia de entrada de calefacción	27,5	28,13	25,95

Tabla 33: Unidades exteriores del sistema de aire acondicionado de la habilitación

Por lo tanto, se instalará la unidad externa Airstage V-III AJG 324 LALBHH de la gama de eficiencia energética la cuál consumirá como máximo 26,88 kW.

Además, en este nuevo diseño del aire acondicionado se han tenido en cuenta los consumos de las unidades interiores, algo que no se realizó en el diseño inicial. La elección de estas unidades se ha realizado usando las potencias calculadas para cada una de las salas individualmente. Finalmente, se han seleccionado las siguientes unidades exteriores, a partir del catálogo de Eurofred:

Unidad interior	Capacidad de refrigeración (kW)	Consumo (W/unidad)	Cantidad	Consumo total (W)
AJHA004GCGH	1,1	14	25	350
AUXM024GLEH	7,1	25	11	275
AJHA007GCGH	2,2	16	5	80
AJHA012GCGH	3,6	22	1	22
AJHA014GCGH	4	29	2	58
				785

Tabla 34: Unidades interiores del sistema de aire acondicionado de la habilitación

Finalmente, la unidad de acondicionamiento de aire en las acomodaciones tendrá un consumo total de 27,66 kW. En el apartado 4.4 “Comparativa de los consumos debido a ventilación y aire acondicionado” se presentará una comparativa de lo que supone esta nueva instalación en el consumo del buque.

4.3.3 Cálculos y resultados de la ventilación en habilitación

Según la norma ISO 7547, será necesario suministrar un flujo de aire necesario para mantener las condiciones del aire acondicionado, siendo el aire de las cabinas de instalaciones sanitarias privadas como mínimo un 10% superior a la cantidad de aire extraída.

Por otro lado, en el apartado 6.2.2 de la misma norma se especifica el suministro de aire para la ventilación de espacios como los que se especifican a continuación:

- Espacios sanitarios públicos.
- Lavanderías.
- Vestuarios.
- Cuartos de almacenamiento de artículos de limpieza.

Una vez se tiene esto en cuenta hay que resaltar que solo se calculará la ventilación de las salas que no tienen ventanas o que las ventanas no son suficiente para cumplir con los requisitos de la norma, por lo tanto, no se hará ningún cálculo de los camarotes, la oficina y la sala de recreo.

Para el cálculo de la ventilación de los baños de los camarotes se ha aplicado el apartado 6.4 de la norma en la que especifica que los espacios sanitarios privados deben ser, bien 0,02 m³/s o el correspondiente a un mínimo de 10 renovaciones de aire por hora, cualquiera que sea el mayor. Multiplicando las 10 renovaciones por hora por el volumen de los baños (6,4 m³) se obtiene un caudal de 64 m³/s, correspondiente al caudal de extracción. Por lo tanto, el caudal de aire de entrada a los baños será de 70,4 m³/s, ya que, como se mencionó anteriormente, este debe ser un 10% mayor al de extracción.

En cuanto al resto de salas, se establecerá el caudal de entrada a través de las especificaciones del fabricante de cada unidad interior. Para el cálculo del flujo de aire de extracción, según la norma, se deberán tener en cuenta lo siguiente:

- El flujo de aire de extracción en salones, comedores de tripulación y pasaje y espacios comunes de día, debe ser el mismo que el flujo del aire a suministrar.
- El flujo del aire de extracción en los hospitales y gambuzas debe ser como mínimo un 20% superior al flujo de aire suministrado.
- El sistema debe compensar positivamente.

Teniendo todo esto en cuenta se han obtenido los siguientes caudales de extracción:

	Caudal de entrada (m³/h)	Caudal de extracción (m³/h)
Cocina	1.670	1.837
Enfermería	890	1.068
Baños privados	70,4	64
Lavandería	890	900,5
Puente de mando	2.170	2.278,5

Tabla 35: Caudales de extracción de la habilitación

Por lo tanto, se han elegido los siguientes extractores de la empresa VENTS:

	Nº de ventiladores	Extractor caudal	Extractor (W)	Marca
Cocina	5	1850	110	VENTS Quiet Extra 150 T
Enfermería	5	1200	100	VENTS 150 Silenta-SVT
Baños privados	1	86	15	VENTS 100 M3 12
Lavandería	4	960	80	VENTS 150 Silenta-SVT
Puente de mando	7	2590	154	VENTS Quiet Extra 150 T
Sala de control	3	720	60	VENTS 150 Silenta-SVT

Tabla 36: Ventiladores extractores para la habilitación

4.4 Comparativa de los consumos debido a ventilación y aire acondicionado

Como ya se dijo en apartados anteriores, a continuación, se realizará una comparativa de los consumos de potencia del diseño inicial y el actual.

En primer lugar, se presentan los resultados de la cámara de máquinas. Como se puede observar en el Gráfico 11 la potencia actual supone una reducción del 66,67% de consumo de potencia en el caso de los ventiladores axiales y un 34,36% en el caso de los extractores.

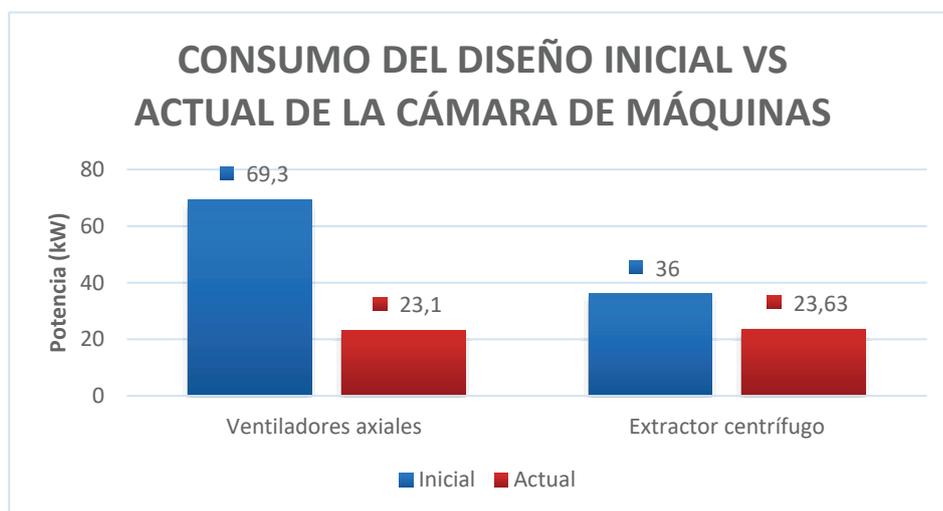


Gráfico 11: Consumo del diseño inicial vs actual de la cámara de máquinas

En segundo lugar, en el gráfico a continuación se encuentra la comparativo del consumo en la habilitación y la sala de control.

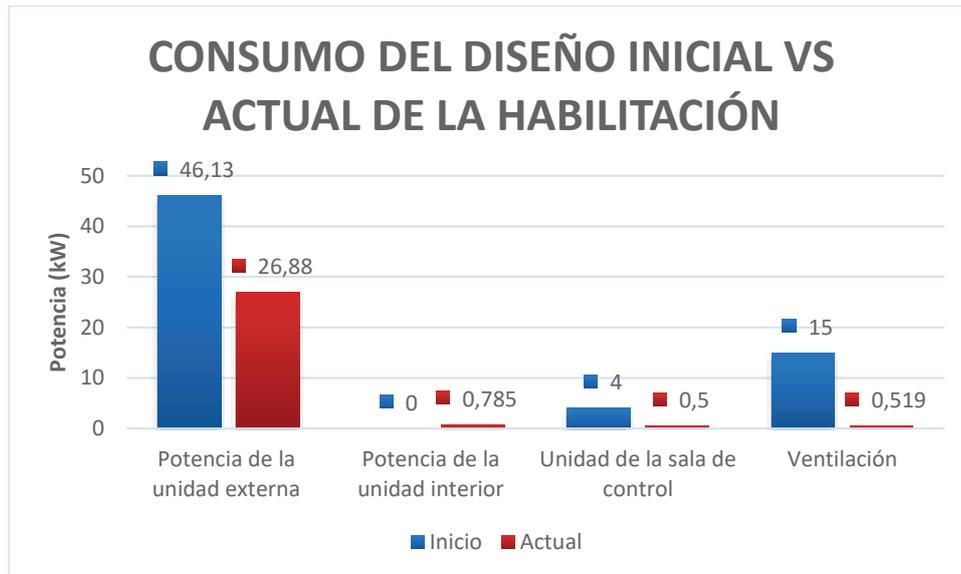


Gráfico 12: Consumo del diseño inicial vs actual de la habilitación

En este caso, la diferencia de consumos es más que considerable, llegando a reducir este consumo un 96,54% en el caso de la ventilación o un 87,50% en el caso de la unidad de aire acondicionado de la sala de control. Hay que destacar que, incluso añadiendo las unidades interiores de aire acondicionado, el consumo total sigue siendo menor que el del diseño inicial.

Finalmente, esta reducción de consumo en el conjunto global del buque se vería de la siguiente forma:

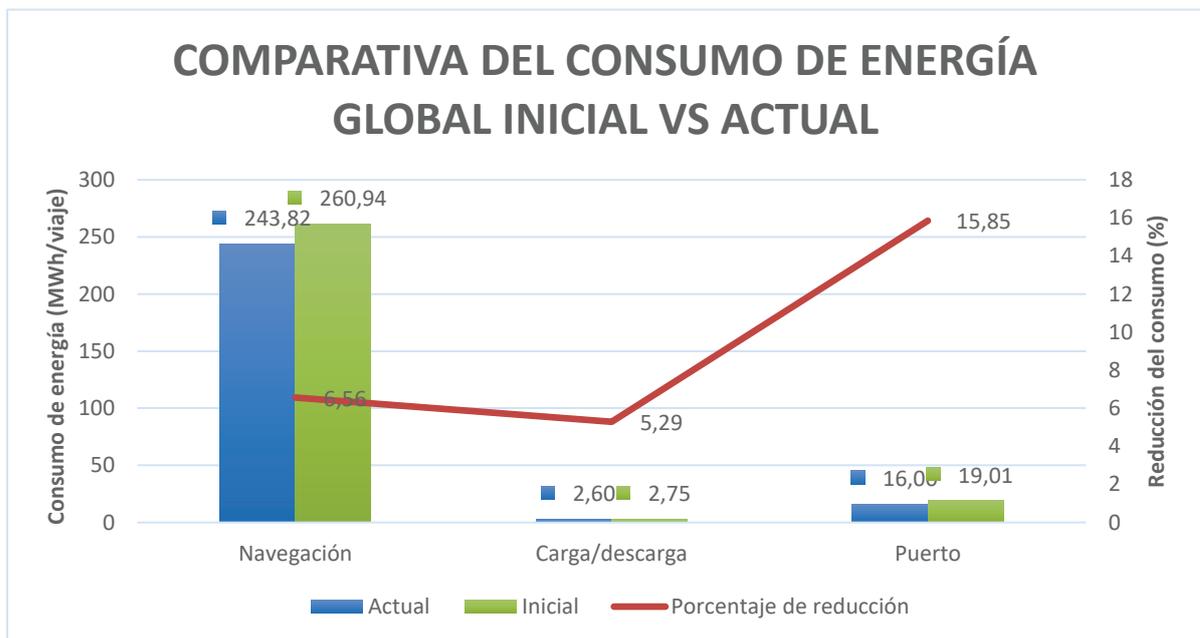


Gráfico 13: Comparativa del consumo de energía global inicial vs actual

En este gráfico se puede apreciar claramente la reducción del consumo de energía del buque en las distintas condiciones en las que se encontrará. Debido a esto, en apartados posteriores se realizará la elección de un nuevo motor auxiliar que se ajuste más a las necesidades del buque.

4.5 Rediseño de la planta eléctrica

Como se ha indicado anteriormente, la planta eléctrica del buque ha sufrido una disminución considerable en su consumo de potencia, por lo que se encuentra la necesidad de volver a elegir los motores auxiliares y rediseñar la planta para ajustarla a las necesidades actuales.

Este rediseño se hará siguiendo la normativa SOLAS, Capítulo 2, Parte D, Regla 41 [12]. Esta regla indica que se deben garantizar que todos los servicios eléctricos auxiliares tienen la capacidad de mantener el buque en condiciones normales de funcionamiento y habitabilidad sin recurrir a la fuente de energía eléctrica de emergencia. Esta fuente de energía principal deberá estar constituida como mínimo por dos grupos electrógenos, con la capacidad de que, aunque uno falle, sea posible alimentar los servicios necesarios para lograr condiciones operacionales normales de propulsión y seguridad, asegurando también las condiciones mínimas de habitabilidad.

Por lo tanto, para la elección del motor auxiliar se ha acudido a la web de MAN y de Wärtsilla y se han barajado las distintas opciones de motores que ofrecen. Para esta elección se han aplicado 3 condiciones:

1. La primera condición que se aplicará para la elección de los motores será el de la potencia máxima necesaria aportar por los generadores. En un diseño inicial, la potencia máxima de la planta era 1.647,13 kVA en la condición de carga y descarga, pero para la elección del motor se tomó la potencia de 1.190,36 kVA de la condición de maniobra ya que cuando el buque se encuentre en situación de carga y descarga, se podrá, si es necesario, utilizar todos los generadores, incluido el de respeto, ya que en caso de caída de toda la planta no supondrá ningún tipo de peligro no tener un motor de respeto. Como ya se indicó en el apartado 2.2.2 "Motor auxiliar y de emergencia" el motor instalado en el diseño inicial es un MAN 5 L23/30H Mk 2 GenSet de 740 kW de potencia, elegido a partir de la potencia de la condición de maniobra.

Para el diseño actual la potencia máxima sigue siendo la de la condición de carga y descarga con un valor de 1.560,15 kW, pero por la misma razón que se ha expuesto, no será necesario diseñar la planta para satisfacer esta potencia.

Además, este tipo de buque no suele realizar operaciones de maniobra ya que para la entrada y salida de puerto se usan remolcadores, por lo que utilizar esta potencia para la elección de los motores auxiliares tampoco tendría sentido. Es por esto que la potencia máxima de diseño será la de la condición de navegación, con un valor de 705,50 kVA. Por lo tanto, los motores que se han considerado como óptimos en un principio han sido:

- Wärtsilä Genset 12V14: 790 kW
- Wärtsilä Genset 16V14: 945 kW
- Wärtsilä 6L20DF: 960 kW
- MAN 6 L23/30H Mk2: 852 kW

2. La segunda condición se trata de valorar el número de motores que habría que instalar junto con su peso y dimensiones, de manera que encaje en la cámara de máquinas. En el diseño inicial, fueron instalados tres motores, con unas dimensiones de 5,52 m de largo, 2,9 m de ancho y 2,4 m de alto, con un peso cada uno de 16,8 Tm.

El número de motores necesario para cada caso serán los siguientes:

Condición	Wärtsilä Genset 12V14	Wärtsilä Genset 16V14	MAN 6 L23/30H Mk2	Wärtsilä 6L20DF
Número	2	2	2	2
Potencia total (kVA)	1.580	1.890	1.704	1920
Cumple con navegación	224%	268%	242%	272%
Cumple con carga y descarga	101%	121%	109%	123%
Cumple con maniobra	144%	173%	156%	175%

Tabla 37: Número de motores auxiliares instalados en el nuevo diseño

Como se puede observar, con un número máximo de 2 motores, todos los modelos cumplen con la potencia máxima requerida para cada condición, incluyendo la condición de navegación en la que sólo trabajarían con un motor y, en caso de que hubiera un fallo con éste, el otro motor lo pueda sustituir sin problema.

A continuación, se muestran las dimensiones y pesos de cada modelo para decidir cuáles son óptimos y cuáles se descartan.

	Peso (T)
Wärtsilä Genset 12V14	10,60
Wärtsilä Genset 16V14	12,84
MAN 6 L23/30H Mk2	19,70
Wärtsilä 6L20DF	16,90

Tabla 38: Peso de los motores auxiliares del diseño nuevo

	DIMENSIONES (m)
Wärtsilä Genset 12V14	3,9x2,9x1,9
Wärtsilä Genset 16V14	3,9x2,9x1,9
MAN 6 L23/30H Mk2	6x2,9x2,4
Wärtsilä 6L20DF	5,3x1,8x2,6

Tabla 39: Dimensiones de los motores auxiliares del diseño nuevo

En esta segunda condición, se podría descartar el motor MAN L23/30H Mk2 ya que es el que tiene un peso y unas dimensiones mayores tanto comparándolo con el resto de los modelos como con el modelo del diseño inicial, además, en el caso del motor Wärtsilä 6L20DF, su peso y dimensiones son ligeramente superiores a las del motor inicial, pero no se descartarán ya que, al reducir el número de motores de tres a dos, este aumento de dimensiones y peso no se considera importante.

- Para la tercera condición se tendrán en cuenta los consumos de combustible de cada modelo. Hay que destacar que, si bien los motores Wärtsilä Genset 12V14, Wärtsilä Genset 16V14 y MAN 6 L23/30H Mk2 tienen como combustible principal MDO, el modelo Wärtsilä 6L20DF es un motor dual de LNG y LFO (siendo este último también el combustible piloto).

Teniendo esto en consideración, en primer lugar, se comparará el consumo de los motores a un 85% de su potencia. Haciendo esto, tanto el motor Wärtsilä Genset

12V14 como el Wärtsilä Genset 16V14 tienen un consumo superior que las otras dos opciones de motor, por lo que se descartan.

	SFC 85% (g/kWh)	Combustible
Wärtsilä Genset 12V14	197	MDO
Wärtsilä Genset 16V14	205	MDO
MAN 6 L23/30H Mk2	188,3	MDO
Wärtsilä 6L20DF	165,64	LNG
	196,3	LFO

Tabla 40: Consumo al 85% de los motores auxiliares del diseño nuevo

Teniendo en cuenta todas estas condiciones, y atendiendo a que la condición predominante es la del consumo del combustible, se ha decidido analizar el motor MAN 6 L23/30H Mk2 y el motor Wärtsilä 6L20DF como motores óptimos, de los cuales se ha realizado el cálculo de su consumo de combustible más exhaustivo, así como del resto de sus características, que se desarrollará en los siguientes apartados.

4.5.1 Opción 1

En el caso de que se optara por instalar dos motores MAN 6 L23/30H Mk2, en primer lugar, el peso total aportado por éstos sería de 39,40 Tm, frente al 50,4 Tm que pesaban los 3 motores MAN 5 L23/30H Mk 2 GenSet instalados en la plana original, lo que supone una reducción de peso del 22%.

Si, además, se tiene en cuenta el espacio que ocuparían los motores, el nuevo diseño ocuparía un área aproximada de 34,8 m² con una altura de 2,4 m, frente a un área ocupada de 48,02 m² con 2,4 m de altura del motor auxiliar original, reduciéndose el espacio ocupado por el motor en un 28%. Debido a esto, este motor no supondría cambios sustanciales en la cámara de máquinas ya que tanto su peso total como dimensiones son menores que el instalado, aunque habría que tenerse en cuenta la repartición de pesos y lo que supondría este cambio a la estructura del buque.

En cuanto al consumo de combustible (MDO) se ha realizado un análisis de este en las distintas condiciones de operatividad del buque. En primer lugar, se tiene la condición de navegación la cual tiene un consumo total de 57,38 T/viaje, esto supone una reducción de consumo del 10% con respecto al diseño original.

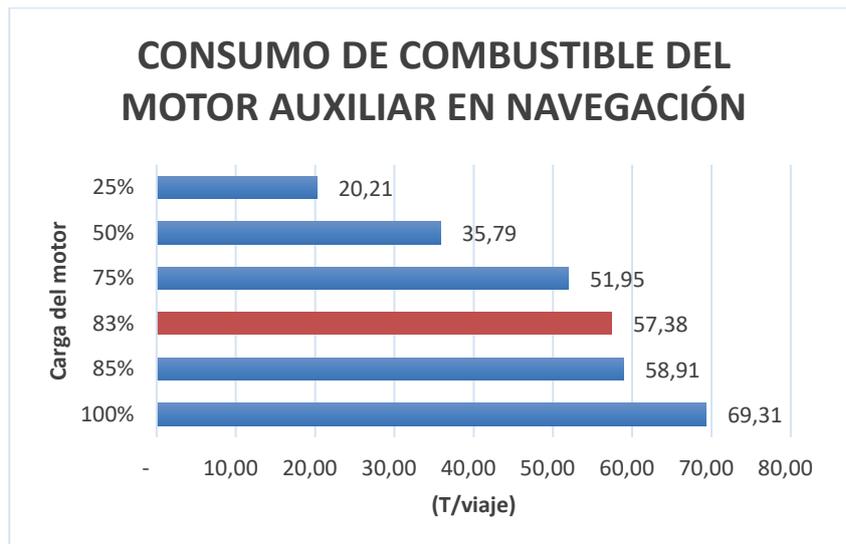


Gráfico 14: Consumo de combustible del motor auxiliar en navegación (Opción 1)

En cuanto a la condición de carga y descarga, el consumo se verá reducido un 7%, siendo la condición de navegación la que sufre una mayor reducción con un 14% menos de consumo de MDO.

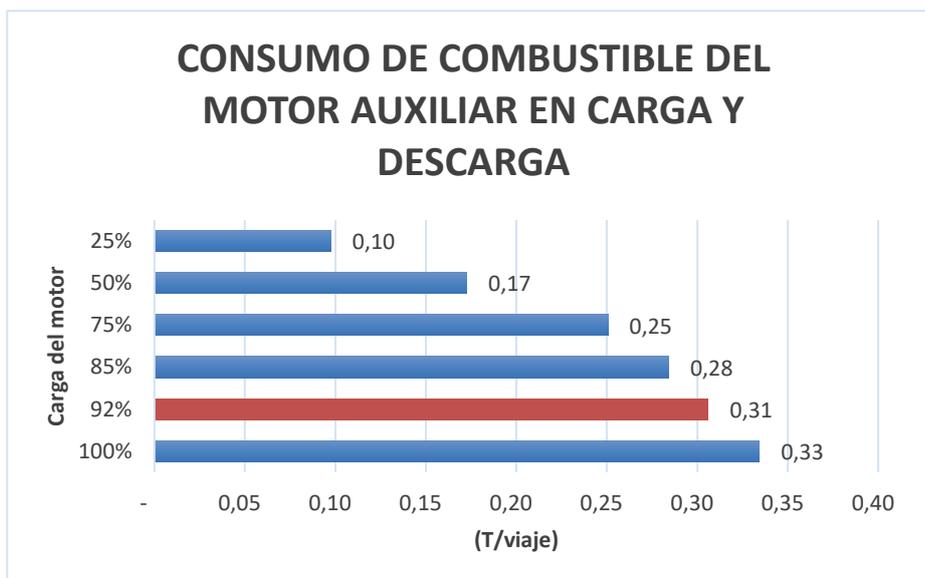


Gráfico 15: Consumo de combustible del motor auxiliar en carga y descarga (Opción 1)

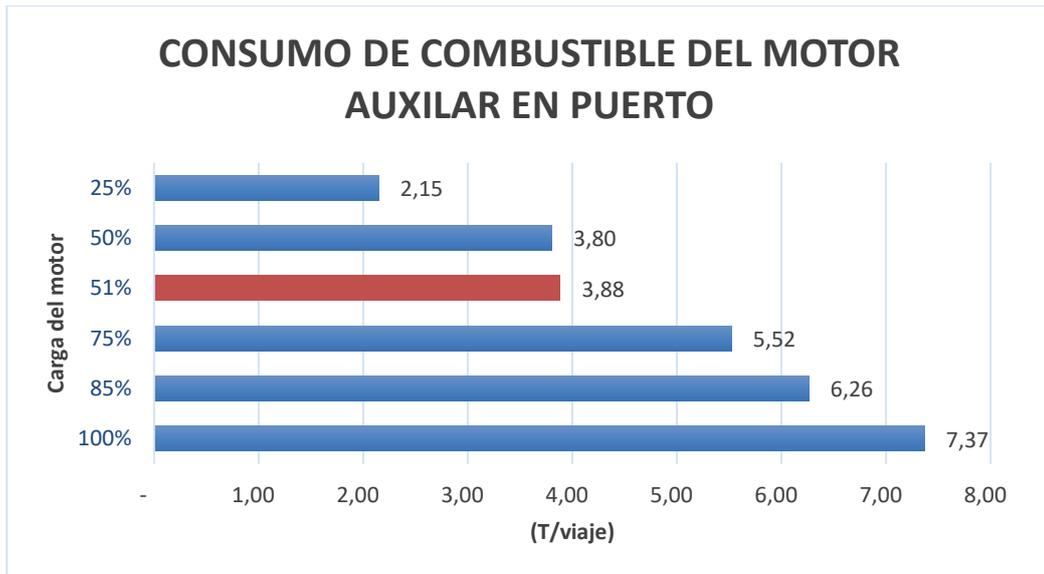


Gráfico 16: Consumo de combustible del motor auxiliar en puerto (Opción 1)

Por lo tanto, este motor también supondría una elección óptima para sustituir al diseño original ya que también supone una reducción de consumo de combustible en todas sus condiciones.

Además de lo explicado anteriormente, también se han realizado los cálculos de la emisión de CO₂ final del generador por cada viaje (ida y vuelta).

A continuación, se presentan las distintas opciones que tendría el buque en cuanto a emisiones si se instalara el motor auxiliar del que se habla en esta opción:

- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con MDO: 1.749,94 T-CO₂.
- Motor principal con LNG + Motores auxiliares con MDO: 1.385,35 T-CO₂.

En el gráfico se presentan los resultados obtenidos, que confirman a este motor como una elección óptima ya que la emisión de CO₂ de este es menor que la producida por el motor original, aunque sin ser notable ya que solo reduce un 1,2% las emisiones, respecto a la modalidad HFO+MDO.

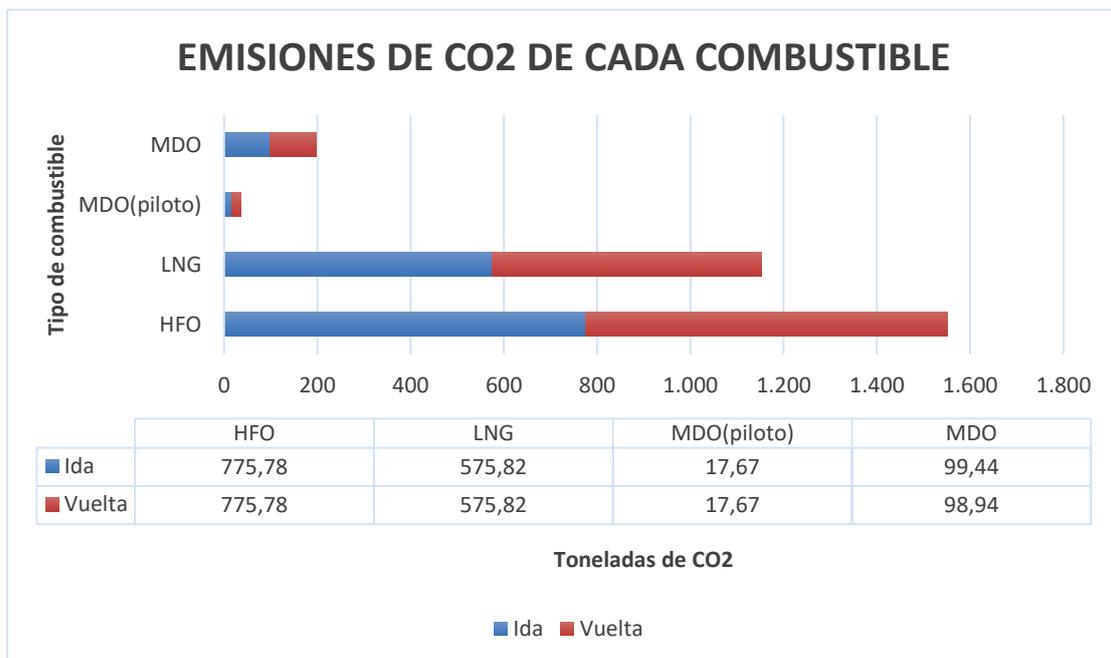


Gráfico 17: Emisiones de CO₂ de cada combustible (Opción 1)

Finalmente, se ha calculado el EEDI con esta nueva elección de motor y se ha determinado el coste final del combustible.

En primer lugar, se ha calculado el combustible primario para determinar si esta vez el gas es predominante o no. Como era de esperar, el combustible primario continuará siendo el líquido, pero gracias a la disminución del consumo y de la potencia, el factor de disponibilidad de gas aumenta y, por ende, el factor de disponibilidad de líquido disminuye. Esto repercute directamente en el resultado de EEDI ya que, disminuirá tanto las emisiones en el motor principal como en el motor auxiliar, aunque el consumo del motor auxiliar nuevo no se reducirá lo suficiente como para cumplir con la Fase 0. Finalmente, se tiene lo siguiente:

EEDI_{weather} obtenido(g/Tmn)	6,28			
Línea de referencia	6,10			
Factor de reducción (%)	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3
	-	10	20	30
EEDI prescrito	6,10	5,49	4,88	4,27
CUMPLE MEPC.203(62)	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 41: Resultado del EEDI (Opción 1)

Otros datos y resultados del proceso del cálculo del EEDI se encuentran en el Anexo V.

Con el coste final de los combustibles ocurre lo mismo que con el resto de los parámetros analizados, si bien es cierto que se reduce el valor, la diferencia no es notable. Una vez realizados los cálculos de los costes de combustible de la Opción 1 se obtendrán los siguientes costes según el modo en el que se encuentren sus motores:

- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con MDO: 198.544,40 \$/T.
- Motor principal con LNG + Motores auxiliares con MDO: 234.525,71 \$/T.

Por lo tanto, se produce una reducción de precio del 1,5% con respecto al diseño original en la modalidad HFO+MDO.

4.5.2 Opción 2

En esta segunda opción de diseño se ha optado por instalar dos motores Wärtsila 6L20DF, el peso total sería de 33,80 Tm, lo que significa una reducción del 33% con respecto a la instalación original.

En cuanto al espacio que ocuparían los motores sería de un área aproximada de 19,1 m² con una altura de 2,6 m, es decir, reduciría el espacio ocupado por el motor un 60%, comparándolo con la planta original. Esta reducción tan grande en peso y dimensiones resultará una ventaja a la hora de rediseñar la sala de máquinas, adecuándola a las nuevas necesidades de combustible.

El motor auxiliar de Wärtsila es un motor dual que podrá funcionar con LNG y LFO, siendo también este último el que se use como combustible piloto cuando el combustible esté en modo gas. Al igual que con el análisis de la Opción 1 se ha realizado un análisis de las distintas condiciones de operatividad del buque. Además, antes de comenzar con todos los cálculos, resaltar que el modo principal en el que va a trabajar el buque será LNG+LNG.

La condición de navegación el motor auxiliar tendrá un consumo de 50,77 T/viaje, lo que supone una reducción del consumo de un 20% con respecto al diseño original.

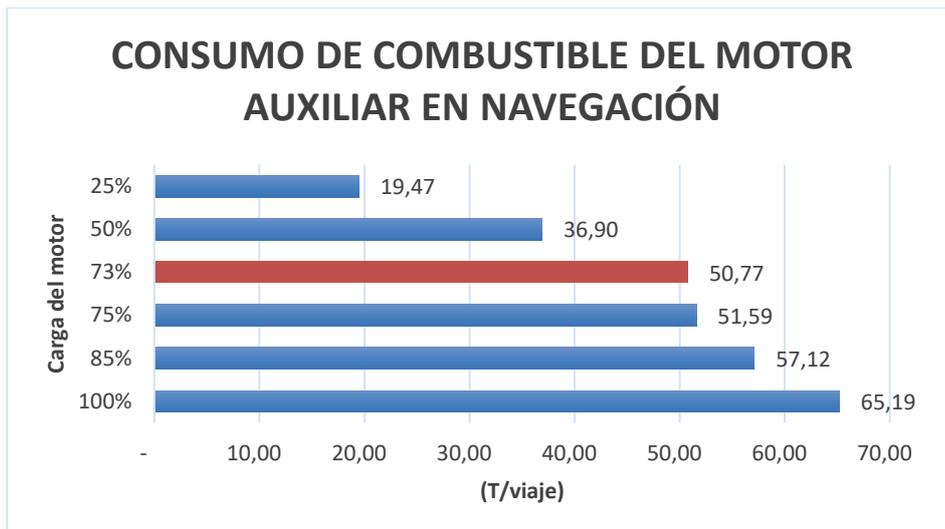


Gráfico 18: Consumo de combustible del motor auxiliar en navegación (Opción 2)

En cuanto a la condición de carga y descarga, el consumo se reducirá un 19%, y la condición de navegación sufrirá una reducción del 20% de consumo de combustible.

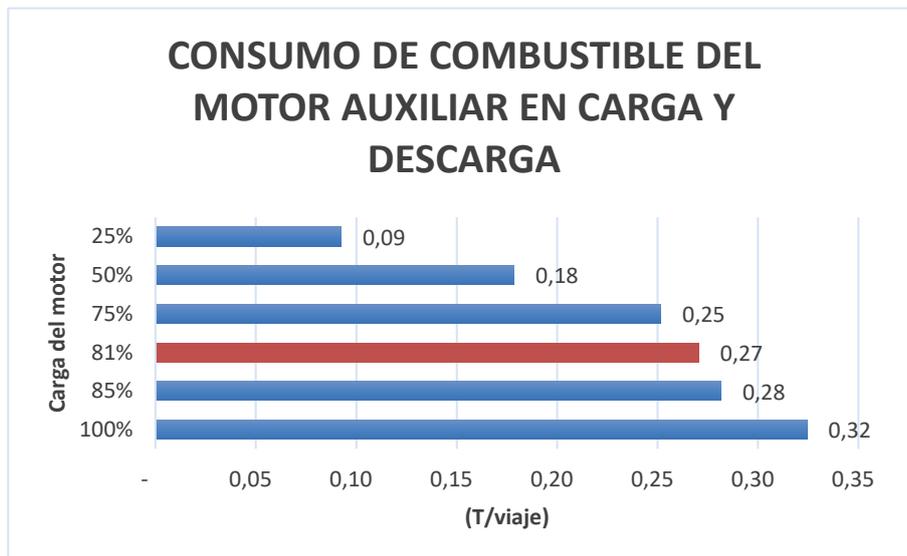


Gráfico 19: Consumo de combustible del motor auxiliar en carga y descarga (Opción 2)

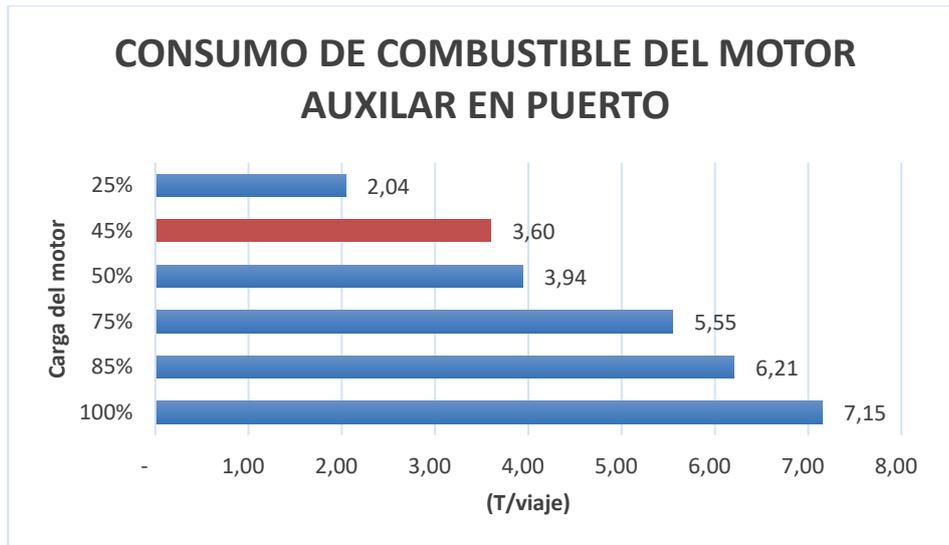


Gráfico 20: Consumo de combustible del motor auxiliar en puerto (Opción 2)

Todos estos datos indican que, a priori, el motor Wärtsilä 6L20DF supone una mejor opción que el MAN 6 L23/30H Mk2, tanto en cuanto a la reducción de dimensiones (lo que en principio supondría un precio de compra menor) como en la reducción del consumo de combustible.

Para finalizar con este análisis, al igual que en la Opción 1, se han realizado los cálculos de la emisión de CO₂ final del generador por cada viaje (ida y vuelta), así como los cálculos del EEDI para este motor.

A continuación, se presentan las distintas opciones que tendría el buque en cuanto a emisiones si se instalara el motor auxiliar del que se habla en esta opción:

- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con LFO: 1.754,15 T-CO₂.
- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con LNG: 1.708,67 T-CO₂.
- Motor principal con LNG + Motores auxiliares con LNG: 1.344,08 T-CO₂.
- Motor principal con LNG + Motores auxiliares con LFO: 1.389,56 T-CO₂.

En el gráfico se presentan los resultados obtenidos, que confirman a este motor como una elección óptima. Esto se debe a que, si bien cuando el motor auxiliar trabaja con LFO la emisión es un poco mayor que la de la Opción 1 (un 0,24% en el modo HFO+LFO), las otras opciones de operatividad (HFO+LNG, LNG+LNG y HFO+LNG) tienen una emisión menor que la Opción 1, 2%, 23% y 20,59%, respectivamente. Finalmente, este motor, en su modo de operatividad normal (LNG+LNG), reducirá las emisiones de CO₂ con respecto a la planta original (HFO+MDO) un 24%.

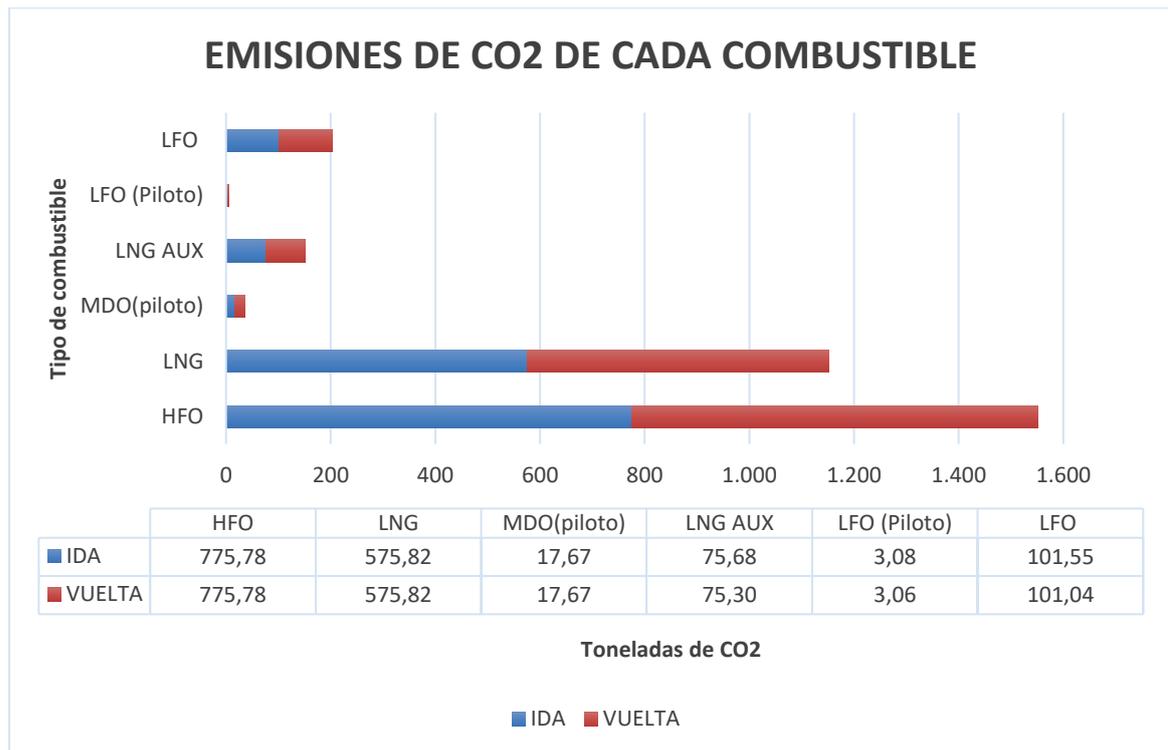


Gráfico 21: Emisiones de CO2 de cada combustible (Opción 2)

A continuación, se ha calculado el EEDI con esta nueva elección de motor y se ha determinado el coste final del combustible.

En este caso, al calcular el combustible primario ha salido el LNG como predominante, por lo que el factor f_{Diluido} será igual a 0. Al aplicar esto, el resultado del EEDI varía, quedando de la siguiente forma:

EEDI_{weather} obtenido (g/Tmn)	5,26			
Línea de referencia	6,10			
Factor de reducción (%)	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3
	-	10	20	30
EEDI prescrito	6,10	5,49	4,88	4,27
CUMPLE MEPC.203(62)	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 42: Resultado del EEDI (Opción 2)

En el Anexo V se encuentran los datos utilizados en el cálculo del EEDI.

Para finalizar, se ha realizado los cálculos de los costes de combustible. Sabiendo que el LFO tiene un precio de 334,6 \$/T, la Opción 2 tendrá los siguientes costes según el modo en el que se encuentren sus motores:

- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con LFO: 193.387,84 \$/T.
- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con LNG: 199.141,90 \$/T.
- Motor principal con LNG + Motores auxiliares con LNG: 235.123,21 \$/T.
- Motor principal con LNG + Motores auxiliares con LFO: 229.369,15 \$/T.

Como era de esperar, teniendo en cuenta que el LNG es mucho más caro que el HFO y el LFO es más barato que el MDO, en este caso las conclusiones acerca de si son más caras o baratas que la Opción 1 varían dependiendo de la combinación de combustibles, pero comparando solo los modos de combustible normales (HFO+MDO en el caso de la Opción 1

y LNG+LNG en la Opción 2) los costes son muchos más baratos en la primera, no solo aquellos relacionados con el consumo, sino también aquellos costes debidos al rediseño de la cámara de máquinas. A continuación, se realizará una comparativa final entre ambas opciones para determinar cuál de las dos es la óptima.

4.5.3 Comparativa de las opciones

Partiendo de la base que la única opción que cumpliría el EEDI es la Opción 2 para un buque preparado para trabajar con LNG constantemente, también se va a mostrar cuál sería la mejor opción teniendo en cuenta todas las modalidades de propulsión y la planta eléctrica del buque y sus respectivos EEDI.

- Comparativa del consumo:

Si bien ya se ha realizado un análisis del consumo de combustible de ambos motores a escoger, a continuación, se ha realizado una comparativa final en la que se muestra el consumo total de los distintos modos de operación de cada motor. Como era de esperar, la opción de menor consumo será la que use LNG tanto en el motor principal como el auxiliar, seguida de la combinación de LNG en el motor principal y MDO en auxiliar, y finalmente la combinación de LNG y LFO.

Esto significa que, si solo se basara en este factor la decisión de instalar un motor u otro, el motor de menor consumo, Wärtsila 6L20DF, sería el elegido, aunque no existan grandes diferencias con el motor MAN 6 L23/30H Mk2.

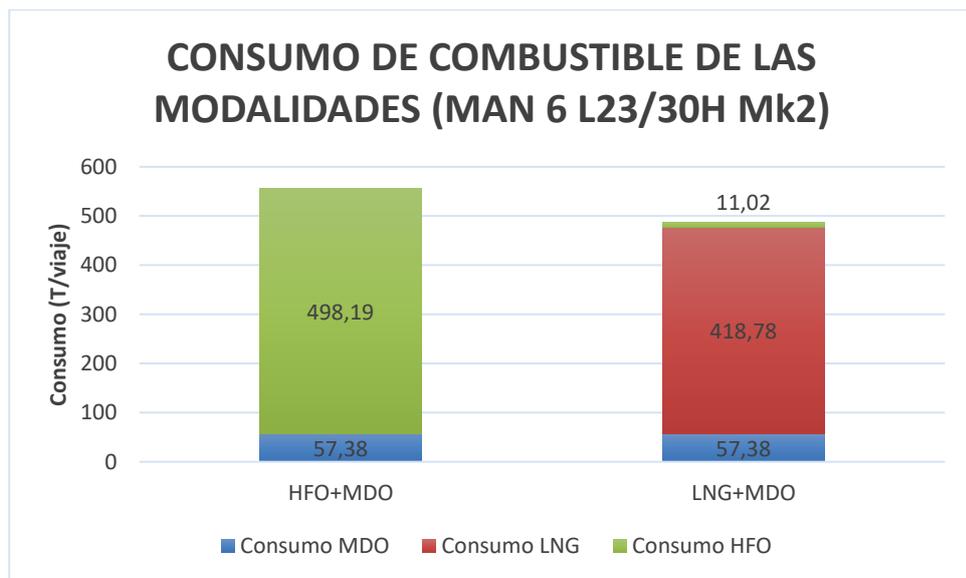


Gráfico 22: Consumo de combustible de las modalidades (MAN 6 L23/30H Mk2)

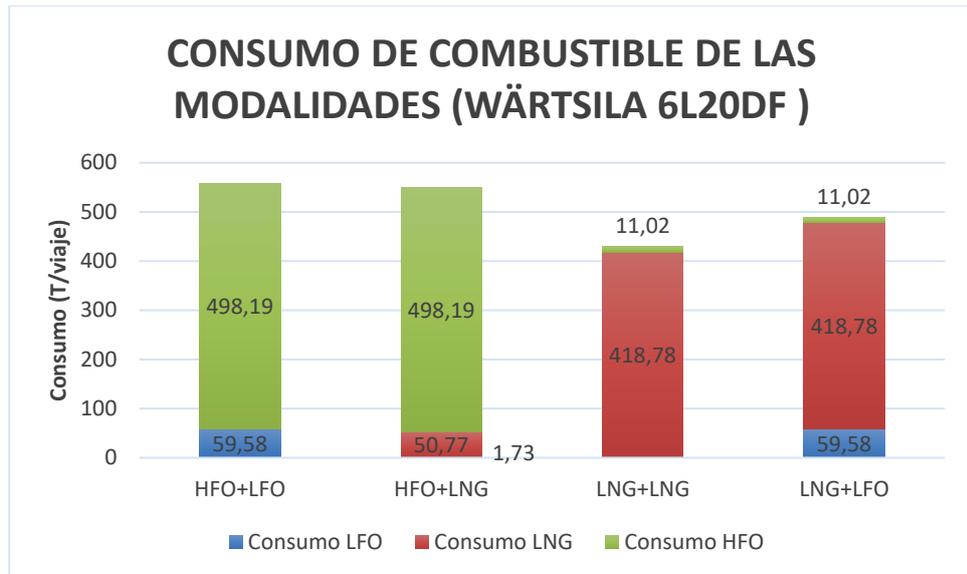


Gráfico 23: Consumo de combustible de las modalidades (Wärtsila 6L20DF)

- Comparativa de emisiones de CO₂ y del coste total:
 Para una mejor visualización de cómo influiría la instalación de las opciones de motor que se barajan, se ha decidido comparar los resultados de cada modo de operación con el modo de operación de diseño de la planta original. Este modo corresponde al que usa como combustible para el motor principal HFO y para los motores auxiliares MDO.
 Antes de realizar este análisis, resaltar que la modalidad de diseño del motor principal corresponde a la de mayores emisiones y menores costes de la planta original. No se considera la modalidad que usa LNG como combustible para el motor principal ya que, si bien esta opción existe, la planta no ha sido diseñada para operar durante un largo periodo de tiempo con este combustible (convirtiéndolo en el combustible secundario).
 A continuación, se presenta una gráfica con los resultados de este análisis:

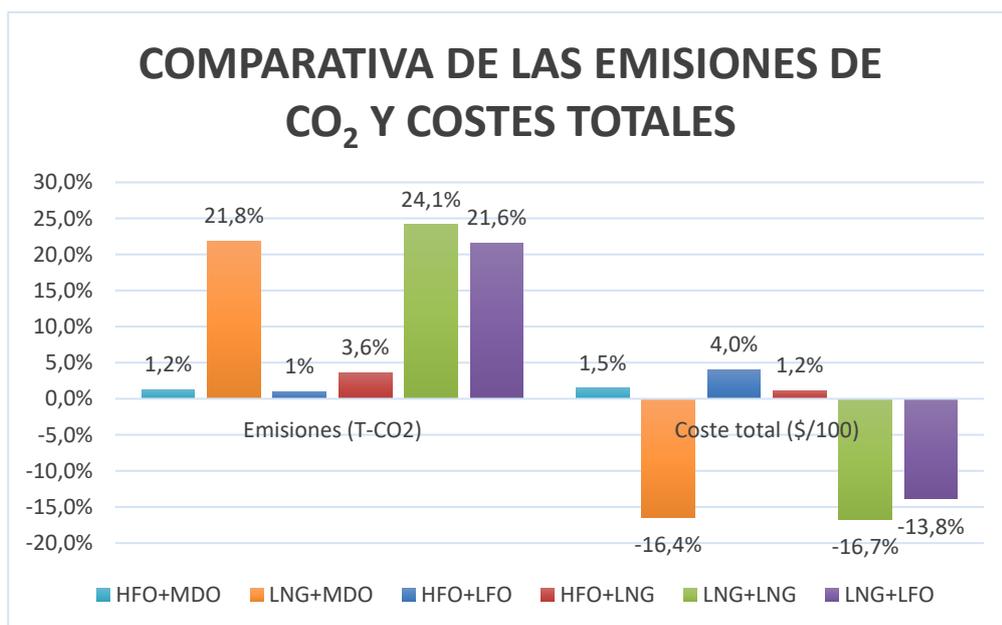


Gráfico 24: Comparativa de las emisiones de CO₂ y costes totales

En esta gráfica se pueden representar los porcentajes de disminución (valor en positivo) o aumento (valor en negativo) de las emisiones de CO₂ y de los costes totales de cada modo de operación de la planta.

En el caso del motor MAN 6 L23/30H Mk2, en el modo de diseño (HFO+MDO) tanto las emisiones como los costes se reducen con respecto a la planta original, esto es un resultado positivo ya que significaría que, manteniendo la disposición de los tanques igual que con el diseño original, se optimizaría la operatividad del buque. Por otro lado, la modalidad alternativa de esta planta (LNG+MDO) supondría una reducción de las emisiones de CO₂ del 21,8%, pero como contrapartida, el coste total aumentaría un 16,4%. En este caso, este gran aumento del coste no supondría un inconveniente ya que, como se mencionó, se trata del modo alternativo, por lo que el buque operaría con LNG como combustible del motor principal cuando el buque navegue por zonas que le exijan unas emisiones menores.

En cuanto al motor Wärtsila 6L20DF, la situación es más compleja. Se ha establecido que el modo en el que trabajará la planta normalmente es aquel en el que todos los motores utilicen LNG, lo que supone la mayor reducción de las emisiones de todas las modalidades posibles, un 24,1%. Pero aplicar esta modalidad implicaría aumentar el coste total un 16,7% con respecto a la planta original, por lo que este modo no solo necesitará una gran inversión inicial para acondicionar la cámara de máquinas al nuevo combustible principal, sino que también habrá un mayor coste continuo a lo largo de la vida útil del barco. Observando la gráfica, la modalidad óptima, si se prioriza la reducción de las emisiones en lugar del coste, para este motor sería aquella que usa HFO como combustible del motor principal y LNG para los motores auxiliares, ya que se reducen las emisiones un 3,6% y los costes bajan un 1,2%. Teniendo esto en cuenta, se podría establecer como modo normal de operación de la planta el de HFO+LNG. A continuación, se calculará el EEDI de este modo para determinar si cumpliría o no.

- **Comparativa del EEDI**
 Como ya se estableció en el apartado anterior el motor MAN no cumpliría el EEDI, aunque disminuye las emisiones de CO₂ y su consumo. El motor Wärtsila, a diferencia de este, sí que cumpliría las dos primeras fases, pero tiene el inconveniente de que supondría un coste excesivo.
 Si se estableciera como modo operativo normal el de HFO+LNG implicaría los siguientes cambios con respecto al resultado del EEDI:

EEDI_{weather} obtenido (g/Tmn)	6,24			
Línea de referencia	6,10			
Factor de reducción (%)	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3
	-	10	20	30
EEDI prescrito	6,10	5,49	4,88	4,27
CUMPLE MEPC.203(62)	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 43: Resultados del EEDI (modo operativo HFO+LNG)

En este caso, como se puede observar en la tabla anterior, el EEDI se ve aumentado considerablemente ya que, el motor principal no tiene como combustible primario el LNG, por lo tanto, no cumpliría con el EEDI.

5 TECNOLOGÍAS INNOVADORAS DE EFICIENCIA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA DEL MOTOR AUXILIAR

Como ya se ha determinado a lo largo del documento, si bien el cambiar los motores auxiliares y su modo de operatividad permitiría disminuir considerablemente las emisiones del buque, esto no se vería reflejado en el resultado del Índice de Eficiencia Energética, a excepción de que el buque operara solo con LNG lo que supondría un gran aumento de los costes.

En este último apartado se presentarán una serie de medidas basadas en tecnologías innovadoras que podrían reducir el resultado del EEDI para que este cumpla.

5.1 Aerogeneradores marinos

Una de las tecnologías de innovación que están en auge en la actualidad es la propulsión asistida por velas rígidas y aerogeneradores abordo, como los “Rotor Sails”, los cuales absorben la energía eólica y la transforman en eléctrica. Si bien cualquiera de estos dos sistemas sería adecuado para un *Bulk Carrier*, según la página web de Windship [42] sería necesaria una velocidad de mínimo 12 nudos para producir una potencia de 100 kW en un buque de 74.000 TPM. Teniendo en cuenta, que a lo largo de la ruta del buque pocas veces se superarán los 11 nudos de velocidad por lo que no resultaría rentable instalar aerogeneradores en el buque.

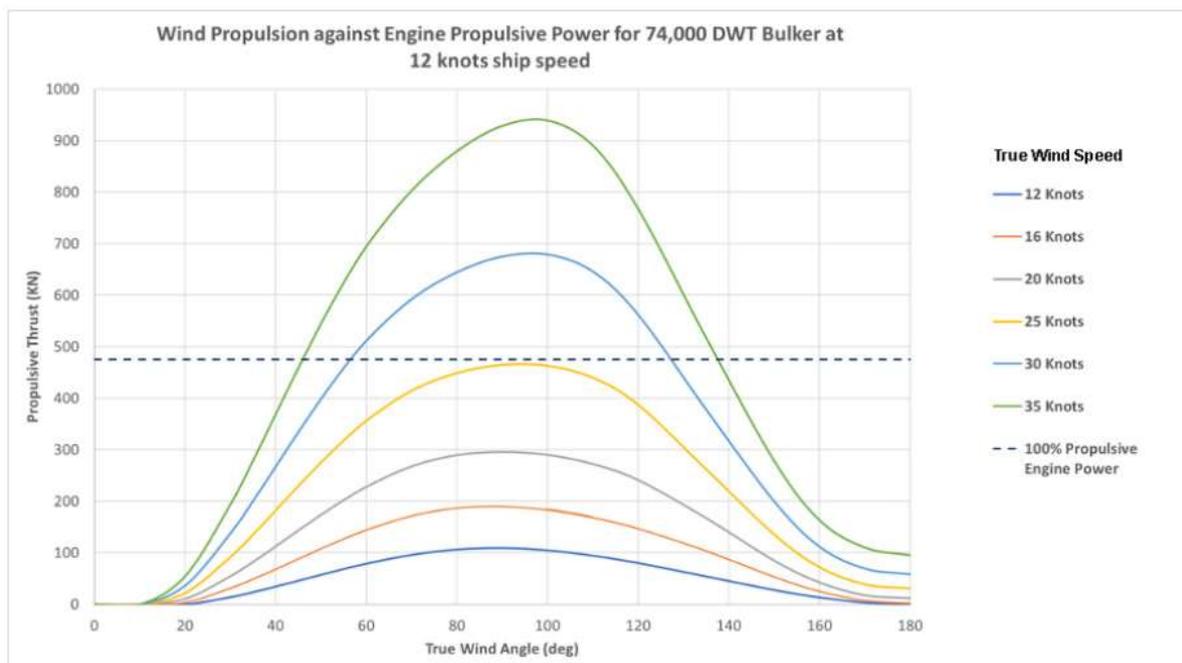


Ilustración 9: Propulsión del viento frente a la propulsión del motor principal

5.2 Placas solares

Otra opción a considerar es la instalación de placas solares en el buque. Actualmente, ya existen naves capaces de cruzar los océanos Atlántico y Pacífico, sin ninguna clase de combustible [43].

La energía solar se puede utilizar para lo siguiente:

- Para alimentar el motor de la embarcación.

- Para alimentar dispositivos y accesorios que requieran de energía eléctrica para su funcionamiento.

Este tipo de sistema permite menores costes de operación, y por lo tanto una mayor competitividad. Sabiendo esto, se ha planteado su instalación en el buque de proyecto para comprobar si resulta rentable o no.

En primer lugar, se ha establecido que las placas solares se instalen en el techo del puente de mando, el cual tiene aproximadamente 132 m².

El tipo de placa solar a instalar será una M6 144 *cells* 455W de la empresa *Sunrise Energy Co., Ltd.* La cual produce 455 W y está específicamente diseñada para su instalación en techos. Teniendo en cuenta que su medida será de 2,09 m de largo, 1,04 m de ancho y 35 mm de espesor, se podrá instalar un total de 60 paneles solares.

Esto implica que la potencia máxima a producir serán 27,3 kW o, en otras palabras, 2,95 MW/ida. Esto ya implicaría que las placas no satisfarían la potencia requerida en navegación, aunque en puerto, instalando una batería, podría suplir la potencia requerida para la condición de carga y descarga (1,30 MW/ida).

Finalmente, se ha realizado una última comprobación para saber si el sistema de placas solares es rentable en la ruta que realizará el buque. La ruta del buque tiene una energía solar media de 4,93 kWh/día (obtenido de la página web "*Weather Spark*" [44]). Sabiendo que cada placa solar tiene una eficiencia del 20,94%, se podría almacenar alrededor de 0,56 MWh/ida, por lo que en la realidad no podría satisfacer la condición de carga y descarga.

Debido a que la instalación solo de las placas solares no influirá en gran medida en los resultados del EEDI y de la eficiencia del buque, en apartados a continuación se aplicará la instalación de las placas junto con otras medidas.

5.3 Producción de electricidad e hibridación

En este apartado se desarrollará la instalación de un sistema PTO (*Power Take Off*), PTI (*Power Take In*) y WHRS (*Waste Heat Recovery System*) con batería.

5.3.1 Power Take Off (PTO)

Un generador acoplado a una PTO desde el motor principal permite la producción la energía eléctrica basándose en el bajo consumo específico de fuel y gas del motor principal. Tal y como afirman diferentes estudios como el realizado por la empresa *MAN Energy Solutions*, expuesto en el "*Project guide*" del motor MAN B&W S60ME-C10.5-GI, apartado 4 [13], la implementación de una PTO tiene un efecto positivo en el valor del EEDI obtenido.

En el caso de *Bulk Carriers* y Petroleros, así como otros buques con poca variación en su velocidad de crucero, la instalación de una PTO tendría las siguientes ventajas:

- Es simple y fiable.
- Tiene un sistema eléctrico simple.
- Obtención de la eficiencia más alta posible.
- Relativamente barato.
- Puede usarse como optimización de los sistemas auxiliares, consiguiendo un consumo de potencia menor.

Para la instalación de una PTO se deben tener en cuenta dos factores independientes, como son la sobrecarga térmica del motor y la estabilidad de la capacidad de las rpm. El primer aspecto se evalúa calculando la potencia de servicio máximo de la PTO, que según el documento de *MAN Energy Solutions* citado anteriormente, se hallaría de la siguiente forma:

$$PTO_M = \frac{PTO_E}{\eta_{PTO}}$$

Donde:

- PTO_M : Suministro de potencia mecánica a la PTO.
- PTO_E : Producción de energía eléctrica de la PTO.
- η_{PTO} : Rendimiento de la PTO.

Para determinar la estabilidad de la capacidad de las rpm, el apartado 17.06 del “*Project Guide*” mencionado, indica que para hallar la velocidad mínima a la que el PTO debe utilizarse y así mantener una estabilidad en el gobierno será necesario tener el valor de la SMCR y de la NMCR del motor principal junto con sus correspondientes velocidades, así como la energía eléctrica producida por la PTO y su eficiencia.

Este procedimiento de cálculo se realizará de manera más extendida, más adelante, una vez se tengan los datos de la PTO a instalar.

En relación con el diseño de los sistemas PTO, existen múltiples configuraciones que se pueden resumir en dos grupos: “*Aft-end*” (hacia el propulsor) y “*front-end*”. A continuación, se muestra los distintos tipos de configuración según MAN [13].

Position	Seating	Connection		Abbreviation
Front-end	On engine	Geared (with elastic coupling)		FEG
Front-end	On engine	Direct (no gear)		FED
Front-end	On tank top	Geared (with elastic coupling)		FTG
Front-end	On tank top	Direct (no gear)		FTD
Aft-end	Shaft-mounted	Direct (no gear)		ASM
Aft-end	Tunnel-geared	Geared (with elastic coupling)		ATG

Fig. 4.01.02: Types of PTO

Ilustración 10: Tipos de PTO

En este caso, se optará por una configuración “*Front-end*” ya que es mucho más flexible y cómodo para su instalación.

Una vez conocido todo esto, se procede a evaluar la instalación de la PTO para la Opción 2 con modo operativo de HFO+LNG (el cuál se estableció que era el óptimo en cuanto a la relación de consumo/precio). Para esta opción, se usará la PTO en la condición de navegación, de manera que los motores auxiliares estén apagados durante la travesía. Esto quiere decir que, el motor principal tendrá que suministrar los 10.004,32 kW de potencia para la propulsión y 564,40 kW para los sistemas auxiliares del buque. A este valor, habrá que aplicarle el rendimiento del motor eléctrico (en este caso PTO, que es 94,87%) y el rendimiento del convertidor de frecuencia (90%), dando una potencia final de 664,74 kW que será la

correspondiente a la potencia máxima necesaria. Sumando a la potencia de propulsión el valor obtenido, se tiene que el motor principal debe producir 10.669,34 kW.

Usando la aplicación de CEAS *engine calculation* de MAN [17] se obtienen las especificaciones expuestas en el Anexo VI.

La PTO a instalar, tendrá que ser capaz de producir como mínimo una potencia de 564,40 kW, por lo que tomando el catálogo de ABB “*Low Voltage Marine Series Generators*”, se establece como óptima la AMG 0400AA04 DBPM que da una potencia de 636 kW con una eficiencia del 94,34%. Por consiguiente, se puede hallar la velocidad mínima a la que debe trabajar la PTO (según lo establecido por MAN) de la siguiente forma:

- SMCR del motor principal: 10.004,32 kW a 95,1 rpm.
- NMCR del motor principal: 12.450 kW a 105 rpm.
- PTO_E: 636 kW con una eficiencia del 94,34%.
- PTO_M: se calcula utilizando la Ecuación 25. El resultado es 674,16 kW.
- Potencia mecánica relativa al NMCR (PTO_M/NMCR): 5%.
- La potencia relativa mínima del 5% corresponde al 40% de la velocidad NMCR para un propulsor FPP, según la figura 17.06.01 del “*Project Guide*” de MAN *Energy Solutions* [13]. La velocidad en rpm será (40% · 105 rpm) 42 rpm.
- La velocidad relativa a SMCR será (42 rpm/95,1 rpm) 44%, que corresponderá a la velocidad mínima a la cual la PTO puede ser utilizada.

Finalmente, se calcularán las emisiones de CO₂ producidas con la instalación de la PTO, así como los costes y el resultado del EEDI.

Las emisiones de CO₂ serán las siguientes:

- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con LFO: 1.687,91 T-CO₂.
- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con LNG: 1.685,00 T-CO₂.

Los costes para cada modo operativo son los siguientes:

- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con LFO: 186.911,17 \$/viaje.
- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con LNG: 187.397,83 \$/viaje.

Realizando una comparativa con los resultados anteriores, se observa como la implantación reduce un 1,39% las emisiones de CO₂ y un 5,90% los costes con respecto a la Opción 2 con el mismo modo operativo (HFO+LNG), lo que implica una mejora de la eficiencia comparándolo con la planta original:

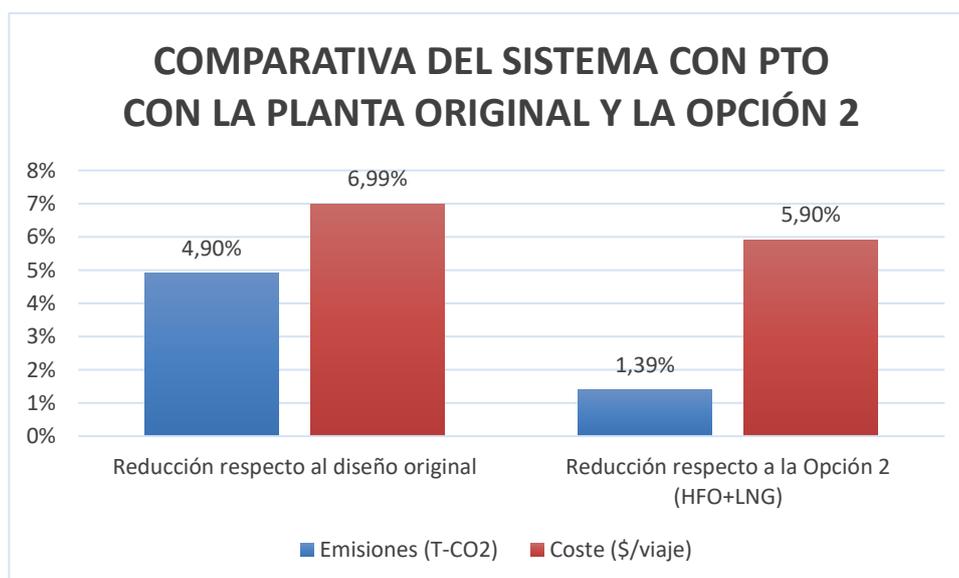


Gráfico 25: Comparativa del sistema con PTO con la planta original y la Opción 2

El EEDI obtenido será el presente en la tabla a continuación, que como se puede comprobar, continúa sin cumplir, aunque se ve reducido:

EEDI_{weather} obtenido (g/Tmn)	6,20			
Línea de referencia	6,10			
Factor de reducción (%)	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3
	-	10	20	30
EEDI prescrito	6,10	5,49	4,88	4,27
CUMPLE MEPC.203(62)	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 44: Resultados del EEDI (PTO)

Finalmente, como ya se mencionó en el apartado 5.2 “Placas solares” la implantación de las placas solares únicamente no sería rentable en el buque, pero junto con otros sistemas, estas placas pueden reducir el EEDI y disminuir las emisiones de CO₂.

Por lo tanto, la instalación de la PTO junto con las placas solares tendría los siguientes resultados:

Las emisiones de CO₂ serán las siguientes:

- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con LFO: 1.687,17 T-CO₂.
- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con LNG: 1.684,44 T-CO₂.

Los costes para cada modo operativo son los siguientes:

- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con LFO: 186.833,07 \$/viaje.
- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con LNG: 187.300,24 \$/viaje.

Por lo tanto, el valor del EEDI obtenido será el siguiente, que como se puede comprobar, continúa sin cumplir, aunque se ve reducido:

EEDI_{weather} obtenido (g/Tmn)	6,17			
Línea de referencia	6,10			
Factor de reducción (%)	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3
	-	10	20	30
EEDI prescrito	6,10	5,49	4,88	4,27
CUMPLE MEPC.203(62)	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 45: Resultados del EEDI (PTO con placas solares)

Finalmente, la diferencia de emisiones y coste entre la opción con solo PTO y la opción añadiéndole las placas solares es de menos de un 0,05%, sin embargo, en el EEDI tiene una gran influencia.

5.3.2 Power Take In (PTI)

En este caso, una PTI (*Power Take In*), se conoce como un motor de propulsión eléctrico, el cual trabaja como parte del sistema de propulsión. Este sistema tiene varias opciones de utilización:

- Modo eléctrico: Se suele utilizar para casos en los que la potencia requerida por la propulsión es baja como, por ejemplo, para salir de puerto o para “cero emisiones” (en caso de tener una batería de almacenamiento).
- Modo híbrido: Se usa normalmente para mejorar la propulsión del motor principal. Si la operación contiene cortos periodos de tiempo a potencia máxima o en caso de motores pequeños.

- Modo PTH (Power Take Home): puede aumentar la redundancia del sistema de propulsión, usando energía eléctrica, en caso de falta del motor principal.

Este tipo sistema, no sería compatible con el buque que se analiza en el documento ya que tendrá una potencia de servicio constante sin necesidad de un “*booster*” ni se tendrán unos motores auxiliares lo suficientemente potentes como para servir de redundancia del sistema de propulsión. El único modo que podría ser de utilidad en es el modo eléctrico con batería para las zonas cerca de ciudad, pero este factor no reduciría especialmente las emisiones totales ni el resultado del EEDI. A continuación, se presenta un esquema del documento “*PTI/PTO Hybrid Electrical Drives*” de *Ingeteam* [45], que representa la planta auxiliar y propulsora en modo eléctrico con una PTI.

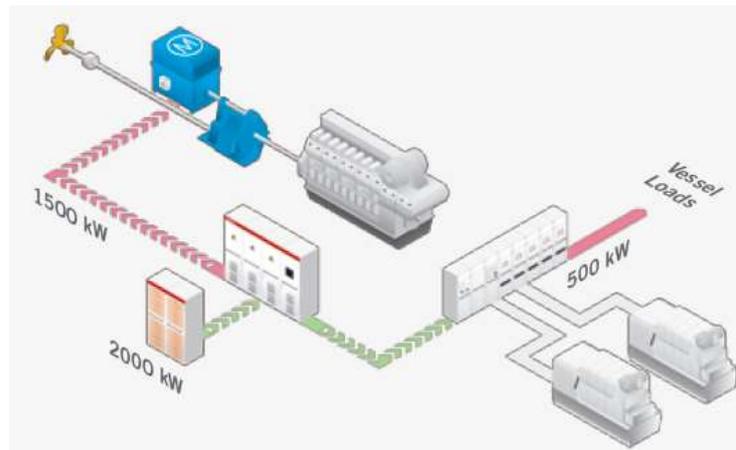


Ilustración 11: PTI-Modo eléctrico completo

5.3.3 Sistema de aprovechamiento de calor (WHRS)

Otra de las posibilidades para mejorar la eficiencia del buque es instalar uno o más sistemas utilizando parte de la energía de los gases de escape del motor principal, lo que, según el “*Project Guide*”, se determina como WHRS (*Waste Heat Recovery Systems*).

Dependiendo de cómo el sistema utilice el gas de escape, el WHRS se puede dividir en diferentes tipos:

- PTG (*Power Turbine Generator*): Turbina empujada por el gas de escape conectada a un generador a través de una reductora. Este sistema puede producir el equivalente a una 3,5% de la potencia (SMCR) del motor principal.
- STG (*Steam Turbine Generator*): Turbina empujada por vapor conectada a un generador a través de una reductora. El vapor se produce dentro de una caldera alimentada por los gases de escape. En este caso, este sistema puede producir de un 5% a un 7% dependiendo del sistema instalado.
- Turbinas combinadas: Normalmente la PTG se encuentra conectada a la STG mediante una reductora y la turbina de vapor está conectada a un generador, que absorbe la potencia de ambas turbinas. Esta combinación permite producir una potencia del 10% de la potencia SMCR.

Guidance output of WHR for S80ME-C10.5-GI engine rated in L ₁ at ISO conditions					
Cyl.	Engine power		PTG	STG	Full WHRS with combined turbines
	% SMCR	kW	kWe	kWe	
5	100	12,450	350	660	1,010
	75	9,338	290	400	690
6	100	14,940	420	800	1,220
	75	11,205	350	480	830
7	100	17,430	490	930	1,420
	75	13,073	400	580	960
8	100	19,920	560	1,060	1,620
	75	14,940	460	640	1,100

Note 1: The above given preliminary WHRS generator outputs is based on HP service steam consumption of 0.3 ton/h and LP service steam consumption of 0.7 ton/h for the ship at ISO condition.

Note 2: 75% SMCR is selected due to the EEDI focus on the engine load.

Ilustración 12: Guía de la potencia de salida para un sistema WHR

En el caso del buque *Bulk Carrier*, se presenta como propuesta de diseño, instalar una turbina combinada para generar la energía necesaria en la condición de navegación para la planta eléctrica, almacenando la energía sobrante en una batería para ser usada en puerto, y así tener cero emisiones mientras se esté atracado, sin realizar ninguna maniobra de carga o descarga. Esto significaría que al buque no le serían necesarios instalar dos motores ya que, como se ha mencionado anteriormente, según la normativa SOLAS, Capítulo 2, Parte D, Regla 41 [12] no es necesario tener motores de reserva en la estancia en puerto.

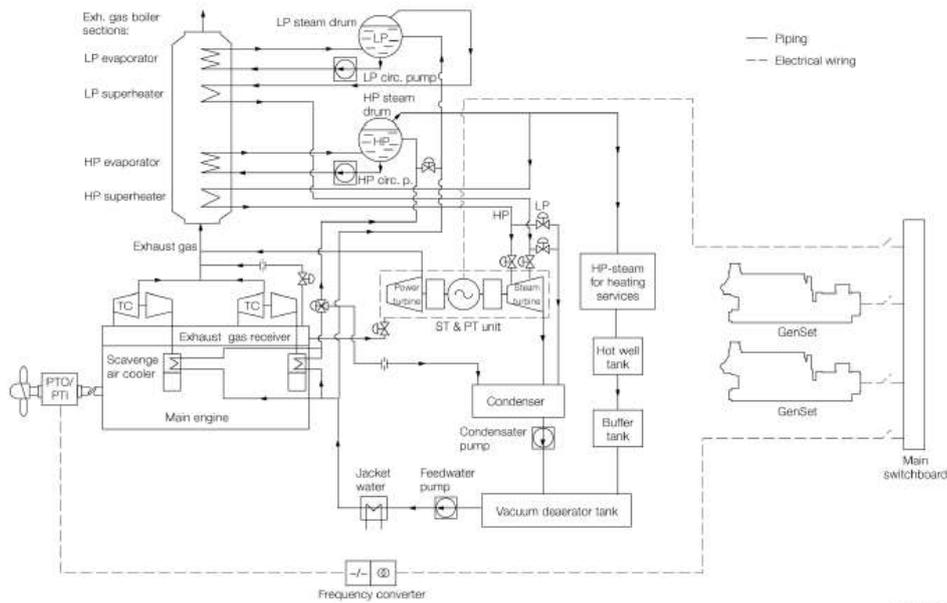


Ilustración 13: Esquema del WHRS de turbina de vapor y potencia combinado

Debido a esto se ha decidido cambiar los tres motores auxiliares de la planta original por uno que suministre como mínimo los 1.560,15 kW de energía necesarios para la condición de carga y descarga. El motor seleccionado será un Wärtsila *GenSet* 12V14 de 710 kW, con un peso de 7,8 T y unas dimensiones de 3,9 m de largo, 1,5 m de ancho y 1,9 m de alto. Esto implicaría una reducción en el peso del 85% y del 87% en espacio ocupado en la sala de máquinas, con respecto a la planta original.

Por otro lado, sabiendo que sólo se va a usar combustible para el motor principal en la condición de navegación y que solo habrá un motor auxiliar para cumplir con la redundancia que se especifica en el SOLAS, también se producirá una gran reducción en las toneladas de

combustibles consumidas, pasando de gastar 578 T de combustible en cada viaje (ida y vuelta incluyendo estancia en puerto), a gastar 497 T, es decir, un 14% menos.

Todo esto, sin haber hecho un estudio exhaustivo de cargas ni de espacio real de la sala de máquinas, juega favorablemente en la implantación del sistema de recuperación de calor combinado, así como en la instalación de la batería que, como se verá más adelante, son bastante pesadas y de gran tamaño.

Así pues, el sistema de turbinas combinado se aplicará en un primer lugar, para sustituir la potencia de navegación del buque. Para ello, se hará una estimación de la potencia que suministrará el sistema teniendo como base la potencia máxima del motor y su producción de vapor. El motor principal instalado consume una potencia de 10.004,32 kW y produce 1.610 kg/h por lo que interpolando con los datos de diseño del motor mostrados en la Ilustración 12, se obtiene que el sistema de combinación de turbinas es capaz de producir 758,52 kW.

Teniendo en cuenta que en navegación solo serán necesarios 564,40 kW para alimentar la planta eléctrica, el sistema de turbina combinada va a producir 194,12 kW de más. Estos kilovatios se van a usar de la siguiente forma:

- Usando batería de ion de litio: Con la instalación de una batería se podrá almacenar la energía sobrante de la navegación y ser usada posteriormente durante la estancia en puerto del buque. Como ya se ha establecido en los inicios de este documento, el buque consumirá 8 MWh/ida durante su condición de puerto y 1,3 MWh/ida. A continuación, se realiza un cálculo para hallar cuánta energía se podría almacenar con los 194,12 kW, a lo largo de la condición de navegación.
 - Duración del viaje (sin estancia en puerto): 216 h
 - Cantidad de energía posible para almacenar = $\frac{216 \cdot 194,12}{1.000} = 41,93$ MWh

Instalando una batería capaz de almacenar 9,3 MWh, seguirían sobrando 32,63 MWh (151,07 kW), energía que se explicará su aprovechamiento en el siguiente punto.

Según el documento "*Batteries on board ocean-going vessels*" de MAN Energy Solutions [46], una batería de ion de litio de 10 MWh puede pesar aproximadamente 110 T. Si bien el peso es bastante alto, debido a la reducción de éste realizada al cambiar el motor auxiliar y al disminuir el transporte de combustible, no supondría un gran cambio en cuanto a peso la instalación de la batería, de hecho, seguiría habiendo una reducción de 35,8T.

- Aplicando la potencia restante al motor principal: Como ya se ha citado, en el apartado en el que se habla de la PTI se especifica que no sería de utilidad para este tipo de buques, sin embargo, hay estudios como el realizado por MAN expuesto en el documento citado anteriormente, que indican que la instalación de una PTI es de gran utilidad para ayudar a pasar el "*barred speed range*" (velocidad del motor que crea una vibración torsional dañina) y ayudar en caso de tiempo adverso. Es por esto que la energía sobrante será transmitida a una PTI/PTO instalada al motor principal. La imagen que se muestra a continuación es un esquema de ejemplo con la configuración que tendría el sistema (con un solo motor auxiliar), obtenido de MAN Energy Solutions.

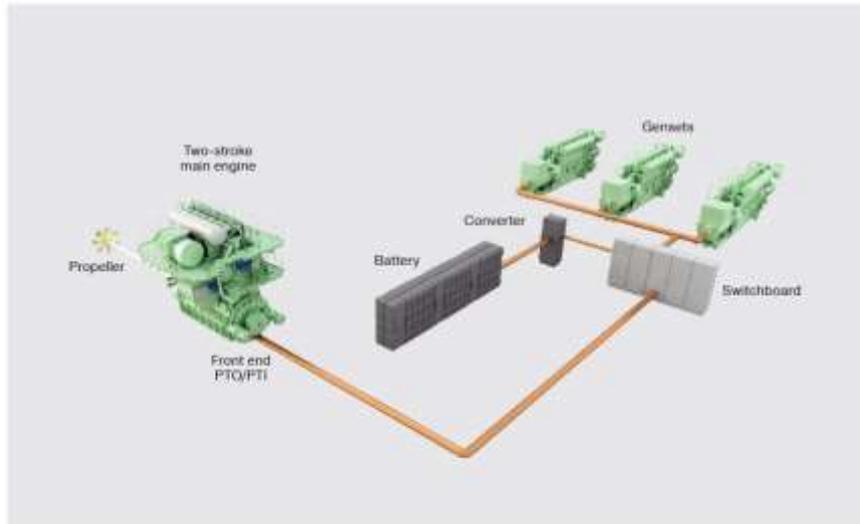


Ilustración 14: Propulsión híbrida en un buque mercante con PTO/PTI

Finalmente, al igual que se ha hecho en apartados anteriores, se presentarán los resultados de las emisiones de CO₂, costes de combustible y el EEDI obtenido.

Las emisiones de CO₂ serán las siguientes:

- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con MDO: 1.548,81 T-CO₂.

Los costes para cada modo operativo son los siguientes:

- Motor principal con HFO + Motores auxiliares con MDO: 171.570,51 \$/viaje.

Realizando una comparativa con los resultados anteriores, se observa como la implantación reduce un 8,08% las emisiones de CO₂ y un 8,45% los costes con respecto al diseño con PTO con el modo operativo HFO+LNG. Por ello, con respecto a la planta original se reducirán las emisiones un 12,58% y los costes un 14,85%.

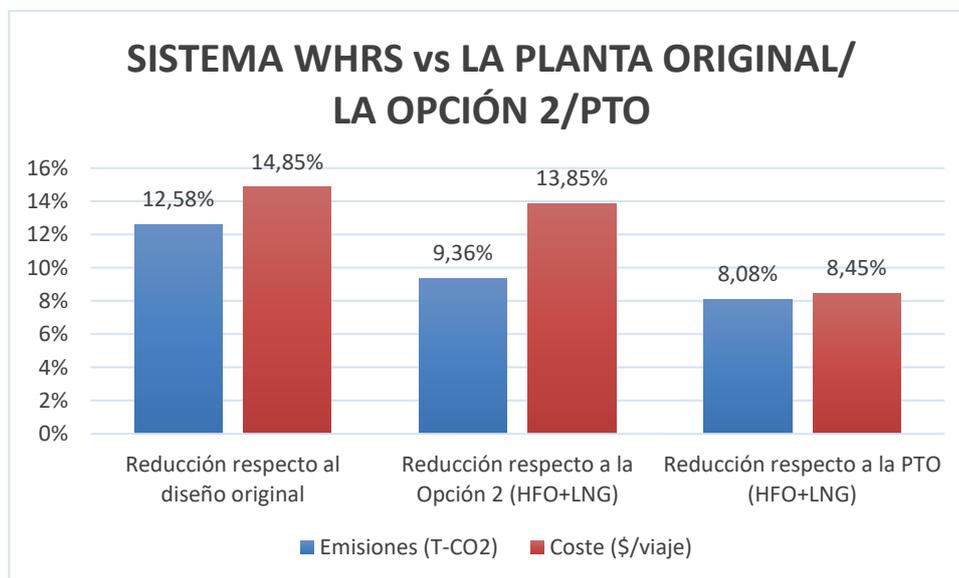


Gráfico 26: Comparativa del WHRS vs la planta original, la Opción 2 y PTO

Por último, el EEDI obtenido será el presente en la tabla a continuación. Para el cálculo de este EEDI se procederá de la misma forma en la que se calculó el EEDI de la planta original, añadiendo el factor de la potencia de las tecnologías innovadoras de eficiencia de la energía mecánica y de los motores auxiliares, debido al aprovechamiento de los gases de escape según los apartados 2.2.5.4. de la Resolución². En cuanto al factor f_{eff} su valor será 1 ya que,

tal y como indica la Resolución en el apartado 2.2.10 para los sistemas de recuperación de energía residual, como sería el WHRS, se considera que ese sería su valor.

EEDI_{weather} obtenido (g/Tmn)	5,499			
Línea de referencia	6,10			
Factor de reducción (%)	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3
	-	10	20	30
EEDI prescrito	6,10	5,49	4,88	4,27
CUMPLE MEPC.203(62)	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 46: Resultados del EEDI (WHRs)

En este caso, el EEDI cumpliría la primera fase del EEDI prescrito y estaría a punto de cumplir la Fase 2, por ello al igual que en el caso del sistema con PTO, se añadirán las placas solares. Esta implantación ayudará a reducir el EEDI, pero prácticamente no influirá en la reducción de emisiones ya que, aunque reduzca la potencia en el motor principal o en el auxiliar, su aportación es tan baja que no se ve reflejada en los resultados finales. Por el contrario, el EEDI obtenido quedaría de la siguiente forma.

EEDI_{weather} obtenido (g/Tmn)	5,47			
Línea de referencia	6,10			
Factor de reducción (%)	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3
	-	10	20	30
EEDI prescrito	6,10	5,49	4,88	4,27
CUMPLE MEPC.203(62)	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 47: Resultados del EEDI (WHRs con placas solares)

6 DISCUSIÓN

En este apartado se realizará una discusión de todos los resultados obtenidos a lo largo de este documento, mostrando una comparativa de estos.

En primer lugar, se presentarán los resultados de eficiencia energética conseguidos con todas las modificaciones, así como la reducción de costes de cada modelo.

	Consumo de HFO (T/viaje)	Consumo de LNG (T/viaje)	Consumo de MDO (T/viaje)	Consumo de LFO (T/viaje)
Planta original (HFO+MDO)	498,19	-	68,69	-
Opción 1 (HFO+MDO)	498,19	-	61,88	-
Opción 2 (LNG+LNG)	-	473,68	11,02	1,92
Opción 2 (HFO+LNG)	498,19	54,90	-	1,92
PTO (HFO+LNG)	537,20	4,13	-	0,19
PTO con placas solares (HFO+LNG)	537,20	3,93	-	0,19
WHRS (HFO+MDO)	497,31	-	-	-
WHRS con placas solares (HFO+MDO)	497,29	-	-	-

Tabla 48: Consumo de combustible total de todas las opciones de diseño de la planta

En esta primera tabla, cabe destacar el aumento en cantidad de combustible consumido por parte del motor principal en la opción con PTO (HFO+LNG). Esto es debido a que, si bien, la potencia y el tiempo de trabajo de los motores auxiliares se ve reducido gracias a la implantación de la PTO, lo que se ve traducido en una disminución del consumo, la potencia del motor principal aumenta para poder compensar la energía que demanda la planta eléctrica. Sin embargo, en el aspecto global, la instalación de una PTO continuaría disminuyendo el consumo.

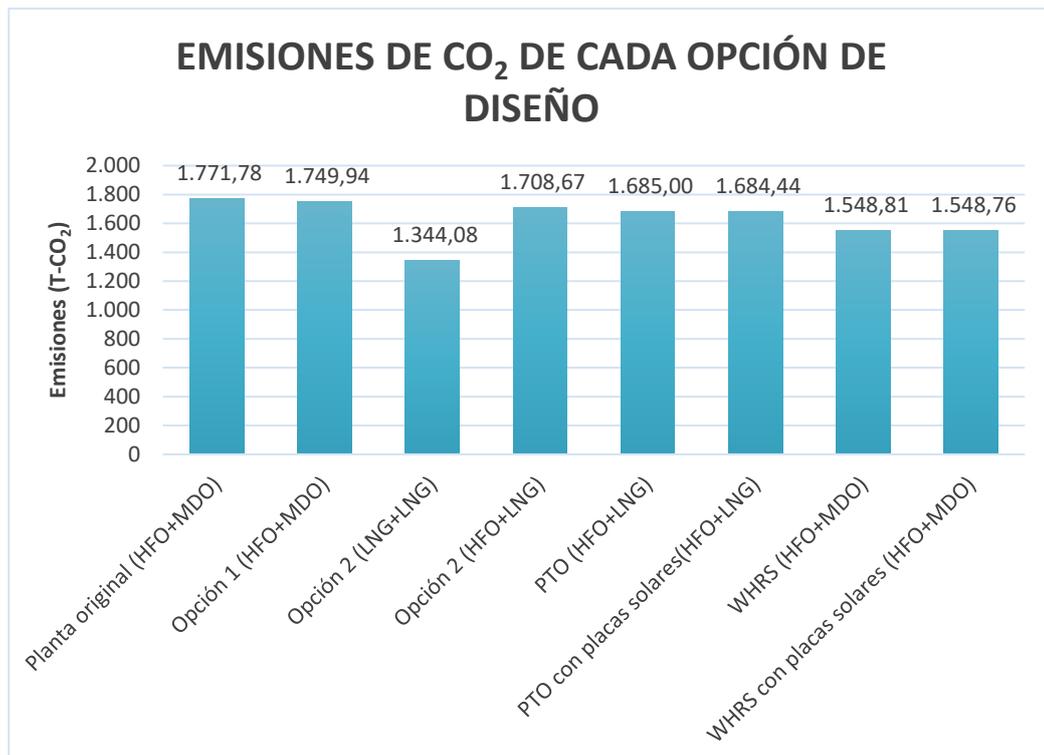


Gráfico 27: Emisiones de CO₂ de todas las opciones de diseño de la planta

En este caso, a excepción de la Opción 2 (LNG+LNG), las emisiones de combustible se ven reducidas con cada implantación de una nueva tecnología.

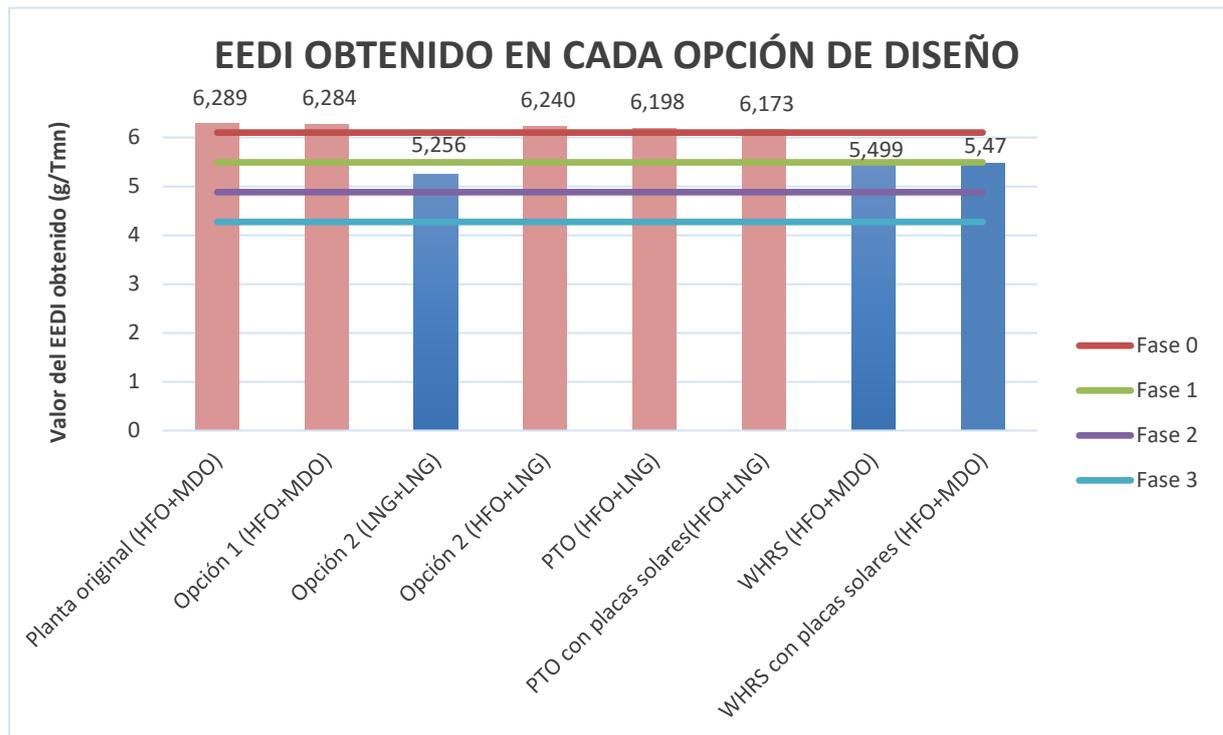


Gráfico 28: EEDI obtenido de cada opción de diseño de la planta

En cuanto al EEDI obtenido, los resultados no resultan tan claros como con los dos aspectos anteriores (consumo y emisiones), ya que su reducción no depende únicamente del consumo del motor, sino del peso que tenga la modificación de la planta propulsora y eléctrica en la Ecuación 4 del EEDI.

	Costes (\$/viaje)
Planta original (HFO+MDO)	201.481,29
Opción 1 (HFO+MDO)	198.544,40
Opción 2 (LNG+LNG)	235.123,21
Opción 2 (HFO+LNG)	199.141,90
PTO (HFO+LNG)	187.397,83
PTO con placas solares (HFO+LNG)	187.300,24
WHRS (HFO+MDO)	171.570,51
WHRS con placas solares (HFO+MDO)	171.565,31

Tabla 49: Costes de consumo de combustible de cada opción de diseño de la planta

Limitando los resultados a las opciones de diseño que cumplen con el EEDI prescrito, solo tres de las ocho opciones (en la gráfica se encuentran en rojo las que no cumplen) analizadas cumplirían con la Fase 0, y dos de ellas también cumplirían con la Fase 1.

Por lo tanto, analizando estas dos opciones, en primer lugar, y en cuanto a eficiencia energética se refiere, claramente la Opción 2, usando como combustible LNG tanto para el motor principal como para los auxiliares, es la más eficiente, pero como se puede observar en la Tabla 49 también es la más costosa. El sistema de recuperación de calor con placas solares sería, sin embargo, además de ser la segunda mejor opción en cuanto a eficiencia energética, también es la que menos costes supondría en cuanto al consumo de combustible, ahorrando después de 5 años de navegación unos 2.692.438,89 \$.

7 CONCLUSIONES

A lo largo de este documento, se ha realizado un análisis del consumo de un buque *Bulk Carrier* y cómo éste influye en las emisiones de CO₂ y la eficiencia, así como en el Índice de Eficiencia Energético (EEDI). Esta cuestión se ha tratado haciendo un rediseño de la planta eléctrica del buque, cambiando la iluminación instalada originalmente y recalculando de manera exhaustiva la ventilación y el aire acondicionado. La medida de rediseño se ha tomado con la premisa de que el sistema auxiliar tenía una demanda de potencia excesiva y que, en caso de tener que cambiar los motores, esta tarea sería la que más influiría en el consumo de potencia eléctrica.

Por un lado, cabe destacar que el cambio de las luminarias originales a otras que se ajusten más a las necesidades del buque y que supongan una emisión de calor menor, ha resultado sorprendentemente efectivo para la disminución del consumo de energía de la planta eléctrica y de los resultados de los cálculos de aire acondicionado. Ha supuesto una disminución del 54% en la potencia con respecto a las luminarias anteriores, además de una reducción máxima del 0,90% de la demanda de potencia total del buque.

Por otro lado, el rediseño del sistema de ventilación y aire acondicionado ha supuesto un factor crucial para poder cambiar los motores auxiliares ya que, inicialmente, este sistema suponía uno de los mayores consumidores de energía debido a un diseño sobredimensionado. Además de esto, ha permitido mejorar la calidad del aire interior ya que la extracción de aire, en un principio, se había omitido o sobredimensionado, y ahora se han realizado los cálculos correspondientes según normativa para tener una ventilación óptima, mejorando el confort de la tripulación, el funcionamiento de las máquinas y evitando enfermedades.

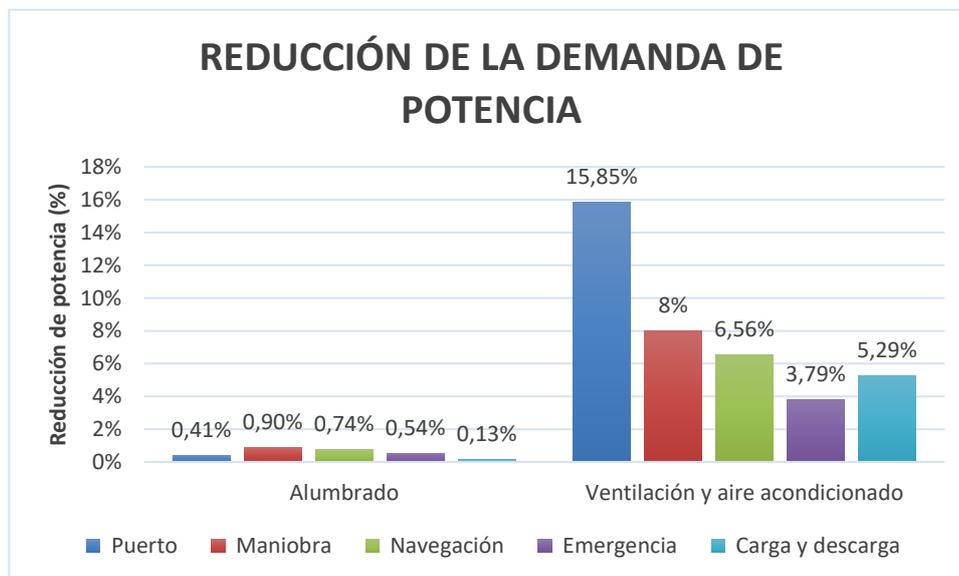


Gráfico 29: Reducción de la demanda de potencia total del buque (%)

Una vez conseguidas estas reducciones en el balance eléctrico del buque se han podido buscar otros motores auxiliares con un menor consumo de combustible y emisiones.

Inicialmente, se comenzó el análisis de estos motores nuevos con las siguientes predicciones:

- La reducción en el consumo de combustible supondrá una reducción notable en las emisiones de CO₂, siendo el modo LNG+LNG el que tendrá la mayor reducción.
- Las reducciones en las emisiones y consumos se verán traducidas en una disminución del EEDI.
- El modo LNG+LNG tendrá las menores emisiones y mayor reducción del EEDI, pero supondrá el coste final más alto.

Una vez realizados los análisis de las dos opciones de motores se pueden desgajar estas afirmaciones para comprobar si son ciertas o no:

- En todos los modos observados se produce una reducción del consumo de combustible de los motores auxiliares y, como era de esperar, también se reducen las emisiones. Si bien los resultados globales coinciden con las predicciones iniciales, se esperaba una diferencia notable entre el modo LNG+LNG y el resto de los modos, pero no ha sido así. Esto se debe a que el consumo de combustible se calcula a partir de la potencia del motor y dicha potencia no es muy alta en el caso de los motores auxiliares. Por lo tanto, a la hora de realizar los cálculos finales de las emisiones, los cuales se realizan sumando los resultados de estos motores con los del motor principal, las emisiones de CO₂ de los nuevos motores se ven “eclipsadas” por el valor obtenido en el motor principal.
- Como ya se ha desarrollado a lo largo de este proyecto, para realizar el cálculo del EEDI se siguen las guías descritas en la resolución MEPC.308(73), las cuales presentan una serie de valores y fórmulas estandarizadas. Un ejemplo claro de esto es el cálculo de la potencia de los motores auxiliares, la cual se calcula a partir de la potencia del motor principal y una serie de parámetros teóricos. Lo que ocurre con esto es que, aunque el motor instalado tenga una potencia y consumo menor que el original, si no se cambia la potencia del motor principal, la potencia calculada para el EEDI será siempre la misma. Como consecuencia, el motor MAN 6 L23/30H Mk2, al igual que el motor original, no cumple con el EEDI, ya que, en este caso, se usarán los mismos tanques que en el motor original. Esto implica que el combustible principal continuará siendo el líquido, ya que así fue diseñado el buque inicialmente y, por lo tanto, el EEDI prácticamente no tiene ninguna variación con respecto al original. La decisión de diseñar este motor con la configuración original se toma porque, la única ventaja que tendría instalar este motor frente al motor Wärtsila 6L20DF sería la económica, debido a que éste último supone una gran inversión inicial para cambiar la sala de máquinas y la disposición de los tanques.
- Finalmente, en cuanto a los costes, la instalación de los motores MAN 6 L23/30H Mk2 significaría mantener la distribución de los tanques originales, así como la sala de máquinas, lo que implica que el coste inicial de instalación será bajo. Este motor, además, disminuye los costes del consumo de combustible del motor original. La situación con el motor Wärtsila 6L20DF es más compleja. Como ya se ha establecido, si se establece como modo de operación principal el LNG+LNG, significaría la mayor disminución en cuanto al tema a tratar en este documento, la eficiencia energética y las emisiones, pero también supondría unos costes importantes inicialmente, ya que sería necesario rediseñar también toda la sala de máquinas para ajustarla a las nuevas necesidades de combustible. Esto podría no resultar rentable. Es por esto que se decide cambiar el modo de operatividad de los motores auxiliares a HFO+LNG, el cual no supondría una modificación sustancial de la sala de máquinas y, además, sus costes de consumo son menores que los de la planta original.

Con lo expuesto anteriormente se confirma, por un lado, la eficacia de rediseñar el sistema de ventilación y aire acondicionado, haciendo un análisis exhaustivo de este y sin sobredimensionar, ya que esto ha permitido mejorar la calidad del aire interior y disminuir considerablemente el consumo de energía del buque. Pero también refleja cómo esta reducción no tiene una gran influencia en los resultados del EEDI, ya que en ninguno de los casos se consigue cumplir con las cuatro fases del EEDI prescrito, y solo aquel con un cambio de combustible completo (LNG+LNG) logra disminuir el EEDI de forma que resulte rentable (en términos de reducción del Índice de Eficiencia Energética) su instalación.

Por otro lado, otro de los factores de importancia en el EEDI es la implantación de tecnologías innovadoras en el buque. En el último apartado de este trabajo, se muestra cómo influye la implantación de distintas tecnologías en el EEDI.

Si bien es cierto que, la reducción de las emisiones y de los costes de consumo es destacable en la implantación del sistema de recuperación de calor con batería y PTI, al compararla con la reducción de emisiones y de consumo de otros modos de operación de las opciones sin tecnologías innovadoras implantadas, se tiene lo siguiente:

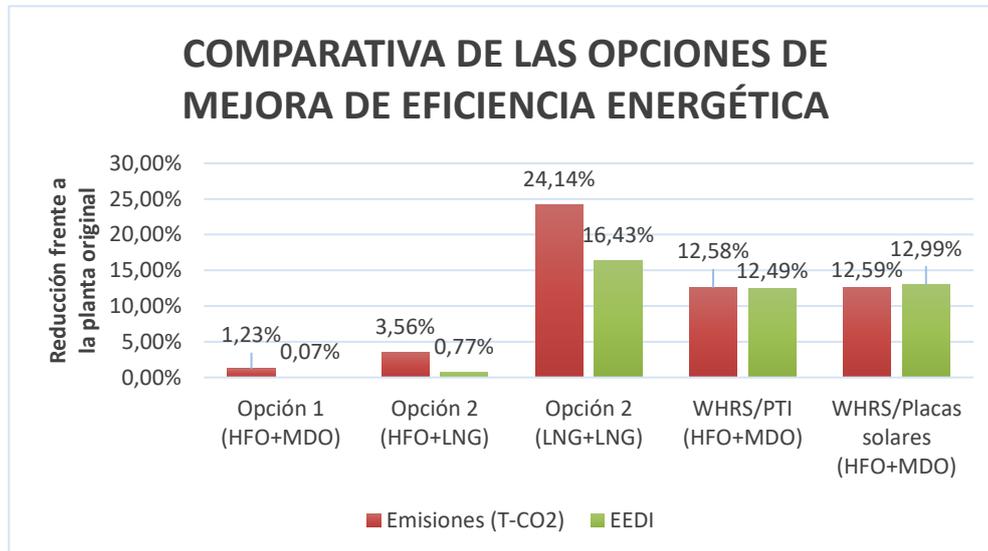


Gráfico 30: Comparativa de las opciones de mejora de eficiencia energética

Como se puede observar en el gráfico, hay una relación directa entre la reducción de emisiones y la reducción del valor de EEDI obtenido, lo que implica que las soluciones planteadas son válidas en cuanto a la eficiencia energética del buque. De otro modo, este resultado no se ve reflejado en el EEDI como se esperaba debiéndose a que gran porcentaje del peso de la fórmula del EEDI (y de las emisiones del buque) se atribuye al motor principal.

Para intentar disminuir el valor del EEDI se ha planteado la implantación de placas solares. En este caso ocurre un poco lo contrario, las emisiones y el consumo de combustible no se ve especialmente influenciado, sin embargo, el EEDI disminuye bastante, teniendo en cuenta la poca potencia que aportan las placas solares al sistema del barco.

Como conclusión, queda establecer que en los tipos de buque como los *Bulk Carrier* y petroleros, si bien atacar al sistema auxiliar, mejorando y afinando los cálculos de diseño de los distintos sistemas del buque, resulta útil para aumentar la eficiencia energética a bordo, en cuanto a normativa esto no se ve reflejado, incluso implantando tecnologías que permitan cero emisiones en puerto. Esto invita a reflexionar sobre la necesidad de tener una normativa más ajustada a buques mercantes con grandes reformas, permitiendo así prescindir de factores y líneas de referencia genéricos.

Puesto que este tipo de buques están dominados por el consumo y las emisiones del motor principal, sería necesario, además de hacer una reducción en la planta auxiliar, aplicar métodos de optimización de: propulsor, enfriadores y las bombas; además de reducir de la potencia propulsora requerida, entre otras medidas.

Finalmente, destacar que después de realizar este análisis de las nuevas medidas de diseño, se llega a la conclusión de que la implantación de un sistema de recuperación de calor (WHRS) con una batería y placas solares es la opción más eficiente y rentable, ya que reduce las emisiones y el EEDI considerablemente (cumpliendo este último con la Fase 1) y además es el diseño con menores costes en el consumo de combustible. Este último factor puede suplir la gran inversión inicial de instalar la batería y reacondicionar la cámara de máquinas,

todo ello sin tener en cuenta el continuo aumento de precio de los combustibles fósiles en los próximos debido a su escasez progresiva.

8 REFERENCIAS

- [1] International Maritime Organization (IMO), “Third IMO GHG Study 2014.” <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Greenhouse-Gas-Studies-2014.aspx> (accessed Feb. 17, 2021).
- [2] Statista, “International shipping: CO2 emissions by ship type 2020,” *January 27th, 2021*. <https://www.statista.com/statistics/216048/worldwide-co2-emissions-by-ship-type/> (accessed Feb. 17, 2021).
- [3] International Maritime Organization (IMO), “Energy Efficiency Measures.” <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx> (accessed Feb. 17, 2021).
- [4] International Maritime Organization (IMO), “IMO working group agrees further measures to cut ship emissions,” 2020. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/36-ISWG-GHG-7.aspx> (accessed Feb. 17, 2021).
- [5] International Maritime Organization (IMO), “IMO Action To Reduce GHG Emissions From International Shipping,” vol. 44, 2019.
- [6] International Maritime Organization (IMO), “Prevention of Air Pollution from Ships.” <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Air-Pollution.aspx> (accessed Feb. 17, 2021).
- [7] P. Ballester Falcón, “Proyecto básico de un buque bulkcarrier de 40.000 TPM,” *ULPGC*, p. 543, 2019.
- [8] Hellenic Shipping News Worldwide, “Australian Iron Ore Exports are Still Mostly China-Bound,” 2020. <https://www.hellenicshippingnews.com/australian-iron-ore-exports-are-still-mostly-china-bound/> (accessed Feb. 17, 2021).
- [9] El Comité de Protección del Medio Marino (MEPC), “Directrices de 2018 sobre el método de cálculo del Índice de Eficiencia Energética de Proyecto (EEDI) obtenido para buques nuevos,” *Resolución MEPC.308(73)*, no. October, 2018.
- [10] AENOR, “UNE-EN 12464,” vol. Parte 1: L, no. Iluminación, 2012.
- [11] “DIALux.” <https://www.dialux.com/es-ES/dialux> (accessed Feb. 18, 2021).
- [12] International Maritime Organization (IMO), “SOLAS Capítulo II-1,” *Construcción-Estructura, Compart. y estabilidad, Instal. máquinas e Instal. eléctricas*, vol. II-1, [Online]. Available: <http://personales.gestion.unican.es/martinji/Archivos/SolasCap2-1.pdf>.
- [13] MAN Energy Solutions, “MAN B&W S60ME-C10.5.GI,” 2020.
- [14] MAN Energy Solutions, “CEAS engine calculations.” <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/ceas-engine-calculations> (accessed Mar. 08, 2021).
- [15] MAN Energy Solutions, “MAN L23/30H Mk 2,” 2019.
- [16] WÄRTSILÄ, “Wärtsilä Auxpac Product Guide,” no. 1/2017, 2017.
- [17] MAN Energy Solutions, “CEAS Engine Calculations,” 2021. <https://marine.man-es.com/two-stroke/ceas>.
- [18] The Marine Environment Protection Committee (MEPC), “Guidelines For Voluntary Use Of The Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI),” *MEPC.1/Circ.684*, p. 12, 2009.

- [19] Ship & Bunker, “Global 20 Ports Average Bunker Price.” <https://shipandbunker.com/prices/av/global/av-glb-global-average-bunker-price#IFO380> (accessed Apr. 07, 2021).
- [20] The Marine Environment Protection Committee (MEPC), “Amendments to the 2018 guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships,” *Resolut. MEPC.322(74)*, 2019.
- [21] Gasnam and Sedigas, “Tabla de equivalencias.”
- [22] ISO 8217, “Fuel Standard for Marine Fuels,” 2017.
- [23] IPCC, “Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,” 2006. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (accessed Apr. 05, 2021).
- [24] ISO, “ISO 15550:2016 - Internal combustion engines - Determination and method for the measurement of engine power - General requirements,” 2016. <https://www.iso.org/standard/70030.html> (accessed Apr. 05, 2021).
- [25] ISO, “ISO 3046-1:2002 - Reciprocating internal combustion engines - Performance - Part 1: Declarations of power, fuel and lubricating oil consumptions, and test methods - Additional requirements for engines for general use,” 2002. <https://www.iso.org/standard/28330.html> (accessed Apr. 05, 2021).
- [26] MacGregor, “GLB cargo crane.” <https://www.macgregor.com/Products/products/cargo-cranes2/glb-cargo-crane/> (accessed Apr. 09, 2021).
- [27] International Maritime Organization (IMO), “Interim guidelines for the calculation of the coefficient fw for decrease in ship speed in a representative sea condition for trial use,” *MEPC.1-Circ.796*, no. Oct, 2012.
- [28] El Comité de Protección del Medio Marino (MEPC), “Directrices de 2013 para el cálculo de los niveles de referencia que se utilizarán para el Índice de Eficiencia Energética de Proyecto (EEDI),” *Resolución MEPC.231(65)*, no. May, 2013.
- [29] El Comité de Protección del Medio Marino (MEPC), “Enmiendas al anexo del protocolo de 1.997 que enmienda el convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1.973, modificado por el protocolo de 1978,” *Resolución MEPC.203(62)*, no. Julio, 2011.
- [30] AENOR, “UNE-EN ISO 8861:1998,” *Norma española*, 1999.
- [31] AENOR, “UNE 100020,” *Norma española*, 2005.
- [32] AENOR, “UNE-EN ISO 7730:2006 Ergonomía del ambiente térmico. Determina...” <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0037517> (accessed Jun. 20, 2021).
- [33] BRONSWERK, “Product Catalog: Innovation for optimal reliability,” *Mar. HVAC-R*.
- [34] SODECA, “HFW: Ventiladores tubulares galvanizados en caliente.”
- [35] DIN, “DIN 1946-4:2008-12 Ventilation and air conditioning - Part 4.” <https://tienda.aenor.com/norma-din-1946-4-2008-12-111137028> (accessed Jun. 20, 2021).
- [36] AENOR, “UNE-EN ISO 7547,” *Norma española*, 2005.
- [37] EuroFred Group, “Catálogo Climatización 2017,” 2017.
- [38] Vents, “Low-noise and energy-saving axial fans.” <https://ventilation-system.com/catalog/low-noise-energy-saving-axial-fans/235old229/214-370> (accessed Aug. 22, 2021).
- [39] D. Martínez Roman, “Cálculo y diseño de la instalación de aire acondicionado para un

- buque LNG,” *Proy. Fin Carrera; Univ. Cantab.*, 2013.
- [40] D. Suszanowicz, “Internal heat gain from different light sources in the building lighting systems,” *E3S Web Conf.*, vol. 19, 2017, doi: 10.1051/e3sconf/20171901024.
- [41] Eurofred Group, “Catálogo climatización 2021,” 2021.
- [42] Windship, “Solution - Windship Technology.” <https://windshiptechnology.com/solutions/> (accessed Sep. 09, 2021).
- [43] R. Terol, “El presente de los barcos solares,” *Solo barcos*. <https://www.solobarcos.es/el-presente-de-los-barcos-solares/> (accessed Sep. 09, 2021).
- [44] Weather Spark, “El clima en Singapur, el tiempo por mes, temperatura promedio (Singapur).” <https://es.weatherspark.com/y/114655/Clima-promedio-en-Singapur-durante-todo-el-año#Sections-Wind> (accessed Sep. 09, 2021).
- [45] Ingeteam, “PTI / PTO Hybrid Electrical Drives Hybrid Propulsion in Vessels Generator,” *INGEDRIVE H*.
- [46] MAN Energy Solutions, “Batteries on board ocean-going vessels,” 2019.

ANEXO I

En este anexo se presentarán los equipos del buque y sus consumos respectivos.

- Equipo de gobierno

	Potencia (kW)
Servo timón	124,64
Servo auxiliar del timón	57,53

Tabla 50: Potencia del equipo de gobierno

- Chigres y molinetes

	Potencia (kW)
Molinete	72,21
Chigres de amarre	76,56

Tabla 51: Potencia de los chigres y molinetes

- Bombas principales de achique de sentinas

	Potencia (kW)
Bombas principales de achique	44,4

Tabla 52: Potencia de las bombas principales de achique de sentinas

- Bomba de achique de emergencia

	Potencia (kW)
Bomba de achique de emergencia	14,45

Tabla 53: Potencia de la bomba de achique de emergencia

- Bomba de achique de la caja de cadenas

	Potencia (kW)
Bomba de achique de la caja de cadenas	3,62

Tabla 54: Potencia de la bomba de achique de la caja de cadenas

- Separador de sentinas

	Potencia (kW)
Separador de sentinas	0,31

Tabla 55: Potencia del separador de sentinas

- Bomba del separador de sentinas

	Potencia (kW)
Bomba separador de sentinas	0,47

Tabla 56: Potencia de la bomba del separador de sentinas

- Bomba de lastre alternativa

	Potencia (kW)
Bomba de achique de emergencia	14,45

Tabla 57: Potencia de la bomba de lastre alternativa

- Bombas contra incendios

	Potencia (kW)
Bomba contra incendios	6,15
Bomba de emergencia contra incendios	5,93

Tabla 58: Potencia de la bomba contra incendios

- Equipos de elevación

	Potencia (kW)
Brazos abatibles	5,45

Tabla 59: Potencia de los equipos de elevación

- Equipos de acceso

	Potencia (kW)
Chigres para maniobra de escalas reales	2
Pescante embarcación supervivencia	7,92
Montacargas	0,5

Tabla 60: Potencia de los equipos de acceso

- Puente grúa

	Potencia (kW)
Puente grúa motor principal	2,6
Grúa motores auxiliares	1,5

Tabla 61: Potencia del puente grúa

- Maquinaria del taller

	Potencia (kW)
Torno eléctrico	3
Taladro eléctrico	1,5
Esmeriladora	1
Unidad de soldadura	4
Sierra	2,5
Taller	12

Tabla 62: Potencia de la maquinaria del taller

- Compresor de aire

	Potencia (kW)
Compresor de aire de servicio y control	110

Tabla 63: Potencia del compresor de aire

- Equipos para el manejo de la carga

	Potencia (kW)
Central hidráulica para maniobra de escotillas	20
Grúas para la carga	220
Equipos de limpieza de las bodegas	12

Tabla 64: Potencia de los equipos para el manejo de la carga

- Servicios de habilitación

Maquinaria frigorífica

	Potencia (kW)
Maquinaria frigorífica para las gambuzas refrigeradas	10
Frigoríficos independientes	2,7
Fuentes frías y máquinas de autoservicio	7,8

Tabla 65: Potencia de la maquinaria frigorífica

Cocina y electrodomésticos

	Potencia (kW)
Cocina eléctrica	20
Horno	5
Amasadora	1
Parrillas eléctricas	3
Electrodomésticos para cocina	29

Tabla 66: Potencia de los electrodomésticos de cocina

Lavandería

	Potencia (kW)
Lavadora industrial	10,2
Secadora	2,7
Plancha	2,8

Tabla 67: Potencia de electrodomésticos de la lavandería

- Ventilación y aire acondicionado

	Potencia (kW)
Unidad de acondicionamiento de aire en acomodaciones	46,13
Unidad de acondicionamiento de aire en cabina de control de CM	4
Ventiladores de acomodación	15
Ventiladores axiales	69,3
Extractor centrífugo	36

Tabla 68: Potencia de la ventilación y el aire acondicionado

- Bombas y sistemas de servicio

	Potencia (kW)
Bombas de agua sanitaria fría	4,17
Bombas de agua sanitaria caliente	2,09
Equipo de potabilización de agua dulce	2
Planta de tratamiento de aguas residuales	14,23
Servicio de agua destilada	68,43

Tabla 69: Potencia de las bombas y sistemas de servicio

- Servicios de navegación, comunicaciones y automatizaciones

En el puente de mando se instalarán equipos de ayuda a la navegación, de comunicaciones.

- Radar.
- Piloto automático.
- Equipo ecosonda con capacidad de indicar profundidades de hasta 500m.
- Compás magnético instalado en el techo del puente.
- Girocompás.
- Receptor GPS
- Instalación radioeléctrica de ondas métricas que transmite y recibe en LSD.
- Receptor del servicio NAVTEX.
- Radiobaliza EPIRB.
- Sistemas de interfonos para comunicación interior.
- Sistema de altavoces

En total la potencia aproximada de todos estos equipos es de 40 kW.

Por otro lado, con respecto a los equipos de telecontrol y automatización, estos se encuentran en la sala de control en la sala de máquinas. Dentro de esta tendremos el cuadro principal y un sistema de control con indicadores de parámetros importantes, sistemas de alarma y panel de control remoto del propulsor. Haciendo un balance aproximado de todos estos elementos tendremos una potencia de 3 kW.

ANEXO II

	Nº		Pn (kW)	Pd (kW)	Estancia en puerto				Mariobra				Navegación				Emergencia				Carga y descarga			
	Instalados	Servicio			Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)
Sistema de combustible																								
Bomba de trasiego de HFO	2	1	9,6	10,08	1/2	0,20	0,10	1,01	1/2	1	0,5	5,04	1/2	1	0,5	5,04	1/2	0	0	0	1/2	0,20	0,1	1
Bomba de alimentación de las se paradoras de HFO	3	2	0,79	1,67	2/3	0,20	0,13	0,22	2/3	1	0,67	1,11	2/3	1	0,67	1,11	2/3	0	0	0	2/3	0,20	0,13	0,22
Separadora de HFO	3	2	12	25,20	2/3	0,20	0,13	3,36	2/3	1	0,67	16,80	2/3	1	0,67	16,80	2/3	0	0	0	2/3	0,20	0,13	3,36
Pre calentador separador HFO	2	1	33,84	35,53	1	1	1	35,53	1	1	1	35,53	1	1	1	35,53	1	0	0	0	1	1	1	35,53
Bombas de alimentación de combustible HFO	2	1	0,66	0,69	1/2	0,20	0,10	0,07	1/2	1	0,5	0,35	1/2	1	0,5	0,35	1/2	0	0	0	1/2	0,20	0,1	0,07
Bombas de circulación de combustible HFO	2	1	1,94	2,04	1/2	0,20	0,10	0,20	1/2	1	0,5	1,02	1/2	1	0,5	1,02	1/2	0	0	0	1/2	0,20	0,1	0,20
Calentador HFO	1	1	150	157,50	1	0,20	0,20	31,50	1	0,3	0,3	47,25	1	0,3	0,3	47,25	1	0	0	0	1	0,20	0,2	31,50
Bombas de alimentación de la separadora de MDO	2	1	0,0753	0,08	1/2	0,20	0,10	0,01	1/2	1	0,5	0,04	1/2	0,2	0,1	0,01	1/2	0,20	0,10	0,01	1/2	0,20	0,1	0,01
Separadora centrífuga de MDO	2	1	8	8,4	1/2	0,20	0,10	0,84	1/2	1	0,5	4,20	1/2	0,2	0,1	0,84	1/2	0,20	0,10	0,84	1/2	0,20	0,1	0,84
Bomba de circulación de MDO	2	1	0,29	0,3045	1/2	0,20	0,10	0,03	1/2	1	0,5	0,15	1/2	0,2	0,1	0,03	1/2	1	0,50	0,15	1/2	0,20	0,1	0,03
Bomba de trasiego MDO	2	1	0,09	0,0945	1/2	0,80	0,40	0,04	1/2	1	0,5	0,05	1/2	0	0	0	1/2	0,50	0,25	0,02	1/2	0,80	0,4	0,04
Bomba de lodos	2	1	2,65	2,78	1/2	1	0,50	1,39	1/2	1	0,5	1,39	1/2	1	0,5	1,39	1/2	0	0	0	1/2	1	0,5	1,39
TOTAL								74,20				112,93				109,37				1,02				74,20

Eficiencia Energética en un Buque Bulk Carrier de 40000 TPM

Paula Ballester Falcón

	Nº		Pn (kW)	Pd (kW)	Estancia en puerto				Mariobra				Navegación				Emergencia				Carga y descarga			
	Instalados	Servicio			Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)
Sistema de refrigeración y lubricación por aceite																								
Bombas de trasiego de aceite de cilindros	2	1	0,23	0,24	1/2	0,50	0,25	0,06	1/2	1	0,50	0,12	1/2	1	0,50	0,12	1/2	0	0	0	1/2	0,50	0,25	0,06
Bombas de circulación del aceite de cojinetes	2	1	39,53	41,51	1/2	0,50	0,25	10,38	1/2	1	0,50	20,75	1/2	1	0,50	20,75	1/2	0	0	0	1/2	0,50	0,25	10,38
Purificadora de aceite de cojinetes	1	1	7	7,35	1	0	0	0	1	1	1,00	7,35	1	0,5	0,50	3,68	1	0	0	0	1	0,00	0,00	0,00
Bombas de alimentación de purificadoras	2	1	0,47	0,49	1/2	0,50	0,25	0,12	1/2	1	0,50	0,25	1/2	0	0	0	1/2	0,20	0,10	0,05	1/2	0,50	0,25	0,12
Bomba circulación motores auxiliares	2	1	0,008	0,01	1/2	0,50	0,25	0,00	1/2	1	0,50	0,00	1/2	1	0,50	0,00	1/2	1	0,50	0,004	1/2	0,50	0,25	0,00
Purificadoras centrífugas de aceite de motores auxiliares	2	1	4	4,20	1/2	0,50	0,25	1,05	1/2	1	0,50	2,10	1/2	0	0	0	1/2	0,50	0,25	1,05	1/2	0,50	0,25	1,05
TOTAL								11,61				30,57				24,55				1,10				11,61

Eficiencia Energética en un Buque Bulk Carrier de 40000 TPM

Paula Ballester Falcón

Nº		Pn (kW)	Pd (kW)	Estancia en puerto				Mariobra				Navegación				Emergencia				Carga y descarga			
Instalados	Servicio			Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)

Sistema de refrigeración centralizado

Bombas de agua salada	2	1	52,3	54,915	1/2	0	0	0	1/2	1	0,50	27,46	1/2	0,80	0,40	21,97	1/2	0,20	0,10	5,49	1/2	0	0	0				
Bombas de agua dulce de baja temperatura	2	1	58,49	61,4145	1/2	0	0	0	1/2	1	0,50	30,71	1/2	0,80	0,40	24,57	1/2	0,20	0,10	6,14	1/2	0	0	0				
Bombas de agua salada (servicio de puerto)	2	1	20	21	1/2	1,00	0,50	10,50	1/2	0	0	0	1/2	0	0	0	1/2	0	0	0	1/2	1	0,50	10,50				
Bombas de agua dulce de baja temperatura (servicio de puerto)	2	1	7	7,35	1/2	0,80	0,40	2,94	1/2	0	0	0	1/2	0	0	0	1/2	0	0	0	1/2	0,80	0,40	2,94				
Bombas de agua dulce (alta temperatura) para refrigeración de camisas del motor principal	2	1	14,45	15,1725	1/2	0	0	0	1/2	1	0,50	7,59	1/2	0,80	0,40	6,07	1/2	0	0	0	1/2	0	0	0				
Bomba de agua dulce (alta temperatura) del precalenador de camisas	2	1	2,2	2,31	1/2	0,20	0,10	0,23	1/2	1	0,50	1,16	1/2	0,80	0,40	0,92	1/2	0	0	0	1/2	0,20	0,10	0,23				
TOTAL								13,67					66,91					53,52					11,63					13,67

Sistema de aire comprimido

Compresores principales	2	1	110	115,5	1/2	0,20	0,10	11,55	1/2	1	0,50	57,75	1/2	0	0	0	1/2	0	0	0	1/2	0,20	0,10	11,55				
Compresor de aire de emergencia (auxiliar)	1	1	90	94,5	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	94,50	1	0	0	0				
TOTAL								11,55					57,75					0,00					94,50					11,55

Eficiencia Energética en un Buque Bulk Carrier de 40000 TPM

Paula Ballester Falcón

Nº		Pn (kW)	Pd (kW)	Estancia en puerto				Mariobra				Navegación				Emergencia				Carga y descarga			
Instalados	Servicio			Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)

Sistema de vapor

Bombas de alimentación de agua de la caldera mixta	2	1	1,2	1,26	1/2	1	0,50	0,63	1/2	1	0,50	0,63	1/2	0	0	0	1/2	0,50	0,25	0,32	1/2	1	0,50	0,63
Bombas de extracción de condensado	2	1	1,5	1,575	1/2	1	0,50	0,79	1/2	1	0,50	0,79	1/2	0	0	0	1/2	0,50	0,25	0,39	1/2	1	0,50	0,79
TOTAL							1,42				1,42				0				0,71					1,42

Equipo de gobierno

Servo timón	1	1	124,64	130,872	1	0	0	0	1	1	1	130,87	1	0,50	0,50	65,44	1	0	0	0,00	1	0	0	0
Servo auxiliar del timón	1	1	57,53	60,4065	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	60,41	1	0	0	0
TOTAL							0				130,87				65,44				60,41					0

Equipo de fondeo, amarre y remolque

Molinete	3	2	72,21	151,641	2/3	0	0	0	2/3	1	0,67	101,09	2/3	0	0	0	2/3	0	0	0	2/3	0	0	0
Chigres de amarre	4	3	76,56	241,164	3/4	0,20	0,15	36,17	3/4	0	0	0	3/4	0	0	0	3/4	0	0	0	3/4	0,20	0,15	36,17
TOTAL							36,17				101,09				0				0					36

Servicio de lastre, achique y sentinas

Bombas principales de achique	3	2	44,4	93,24	2/3	0,20	0,13	12,43	2/3	0,50	0,33	31,08	2/3	0,20	0,13	12,43	2/3	0	0	0	2/3	0,20	0,13	12,43
Bomba de achique de la caja de cadenas	2	1	3,62	3,801	1/2	0,20	0,10	0,38	1/2	1	0,50	1,90	1/2	0,20	0,10	0,38	1/2	0	0	0	1/2	0,20	0,10	0,38
Separador de sentinas	1	1	0,31	0,3255	1	0,20	0,20	0,07	1	1	1	0,33	1	1	1	0,33	1	0	0	0	1	0,20	0,20	0,07
Bomba separador de sentinas	1	1	0,47	0,4935	1	0,50	0,50	0,25	1	1	1	0,49	1	1	1	0,49	1	0	0	0	1	0,50	0,50	0,25
Bomba de lastre	4	3	62,12	195,678	3/4	0,20	0,15	29,35	2/3	0,50	0,33	65,23	2/3	0,20	0,13	26,09	2/3	0,20	0,13	26,09	2/3	0,20	0,13	26,09
Bomba de achique de emergencia	1	1	14,45	15,1725	1	0,20	0,20	3,03	1	0,50	0,50	7,59	1	0	0	0,00	1	1	1	15,17	1	0,20	0,20	3,03
TOTAL							45,51				106,61				39,72				41,26				42,25	

Eficiencia Energética en un Buque Bulk Carrier de 40000 TPM

Paula Ballester Falcón

Nº		Pn (kW)	Pd (kW)	Estancia en puerto				Mariobra				Navegación				Emergencia				Carga y descarga			
Instalados	Servicio			Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)

Servicio de baldeo y contra incendios

Bomba contra incendios	2	2	6,15	12,915	1	0,50	0,50	6,46	1	0,50	0,50	6,46	1	0,50	0,50	6,46	1	0	0	0,00	1	0,50	0,50	6,46
Bomba de emergencia contra incendios	1	1	5,93	6,2265	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	6,23	1	0	0	0
TOTAL								6,46				6,46				6,46				6,23				6,46

Servicios de elevación, acceso y mantenimiento

Grúa brazos abatibles	2	2	5,45	11,445	1	0,20	0,20	2,29	1	0	0	0,00	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0,20	0,20	2,29
Chigres para maniobra de escalas reales	2	2	2	4,2	1	1	1	4,20	1	1	1	4,20	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	4,20
Pescante ambarc. supervivencia	2	2	7,92	16,632	1	1	1	16,63	1	0	0	0,00	1	0	0	0	1	1	1	16,63	1	0,50	0,50	8,32
Montacargas	2	1	0,5	0,525	1/2	0,20	0,10	0,05	1/2	0,20	0,10	0,05	1/2	0,80	0,40	0,21	1/2	0	0	0	1/2	0,20	0,10	0,05
Puente grua motor principal	1	1	2,6	2,73	1	0,20	0,20	0,55	1	0,20	0,20	0,55	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0,20	0,20	0,55
Grúa motores auxiliares	1	1	1,5	1,575	1	0,20	0,20	0,32	1	0,20	0,20	0,32	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0,20	0,20	0,32
Viga monorraíl del taller	1	1	1,5	1,575	1	0,20	0,20	0,32	1	0,20	0,20	0,32	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0,20	0,20	0,32
Taller	1	1	12	12,6	1	0,20	0,20	2,52	1	0,80	0,80	10,08	1	0,50	0,50	6,30	1	0	0	0	1	0,20	0,20	2,52
Compresor de aire de servicio y control	2	1	6	6,3	1/2	0,50	0,25	1,58	1/2	1	0,50	3,15	1/2	0	0	0	1/2	0	0	0	1/2	0,50	0,25	1,58
TOTAL								28,44				18,66				6,51				16,63				20,13

Servicios de carga

Central hidráulica para maniobra de escotillas	2	1	20	21	1/2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	21
Grúas para la carga	4	4	220	924	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	924
Equipos de limpieza de las bodegas	10	10	12	126	1/10	0,70	0,07	9	1/2	0	0	0	1/2	0,50	0,25	31,50	1/2	0	0	0	1/2	1	0	0
TOTAL								9				0				31,50				0				945

Eficiencia Energética en un Buque Bulk Carrier de 40000 TPM

Paula Ballester Falcón

N°		Pn (kW)	Pd (kW)	Estancia en puerto				Mariobra				Navegación				Emergencia				Carga y descarga			
Instalados	Servicio			Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)

Equipo de cocina y lavandería

Maquinaria frigorífica para las gambuzas refrigeradas	3	3	10	31,50	1	0,50	0,50	15,75	1	1	1	31,50	1	1	1	31,50	1	0,20	0	6,30	1	0,50	0,50	15,75
Frigoríficos independientes	5	5	2,7	14,18	1	0,50	0,50	7,09	1	1	1	14,18	1	1	1	14,18	1	0,20	0	2,84	1	0,50	0,50	7,09
Fuentes frías y máquinas de autoservicio	1	1	7,8	8,19	1	0,50	0,50	4,10	1/2	1	0,50	4,10	1/2	1	0,50	4,10	1/2	0	0	0	1/2	0,50	0,25	2,05
Electrodomésticos para cocina	1	1	29	30,45	1	0,50	0,50	15,23	1/2	1	0,50	15,23	1/2	1	0,50	15,23	1/2	0,20	0,10	3,05	1/2	0,50	0,25	7,61
Equipo de lavandería	1	1	25,9	27,20	1	0,50	0,50	13,60	1/2	0,80	0,40	10,88	1/2	0,80	0,40	10,88	1/2	0	0	0	1/2	0,50	0,25	6,80
TOTAL								55,76				75,87				75,87				12,18				39,30

Equipo de ventilación y aire acondicionado

Unidad de acondicionamiento de aire en acomodaciones	1	1	46,13	48,44	1	0,80	0,80	38,75	1	1	1	48,44	1	0,80	0,80	38,75	1	0,10	0,10	4,84	1	0,80	0,80	38,75
Unidad de acondicionamiento de aire en cabina de control de CM	2	1	4	4,20	1/2	0,80	0,40	1,68	1/2	1	0,50	2,10	1/2	0,80	0,40	1,68	1/2	0,20	0,10	0,42	1/2	0,80	0,40	1,68
Ventiladores de acomodación	2	1	15	15,75	1/2	0,50	0,25	3,94	1/2	1	0,50	7,88	1/2	0,80	0,40	6,30	1/2	0,10	0,05	0,79	1/2	0,50	0,25	3,94
Ventiladores axiales	2	1	69,3	72,77	1/2	0,50	0,25	18,19	1/2	1	0,50	36,38	1/2	0,80	0,40	29,11	1/2	0,20	0,10	7,28	1/2	0,50	0,25	18,19
Extractor centrífugo	1	1	36	37,80	1	0,80	0,80	30,24	1	1	1	37,80	1	0,80	0,80	30,24	1	0,20	0,20	7,56	1	0,80	0,80	30,24
TOTAL								92,80				132,59				106,08				20,89				92,80

Eficiencia Energética en un Buque Bulk Carrier de 40000 TPM

Paula Ballester Falcón

Nº		Pn (kW)	Pd (kW)	Estancia en puerto				Mariobra				Navegación				Emergencia				Carga y descarga			
Instalados	Servicio			Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)	Kn	Ksr	Ku	Pf (kW)

Servicio sanitario

Bombas de agua sanitaria fría	2	1	4,17	4,38	1/2	1	0,50	2,19	1/2	1	0,50	2,19	1/2	1	0,50	2,19	1/2	0,20	0,10	0,44	1/2	1	0,50	2,19				
Bombas de agua sanitaria caliente	4	2	2,09	4,39	1/2	1	0,50	2,19	1/2	1	0,50	2,19	1/2	1	0,50	2,19	1/2	0	0	0	1/2	1	0,50	2,19				
Equipo de potabilización de agua dulce	1	1	2	2,10	1	1	1	2,10	1	1	1	2,10	1	1	1	2,10	1	0,20	0,20	0,42	1	1	1	2,10				
Planta de tratamiento de aguas residuales	1	1	14,23	14,94	1	0,20	0,20	2,99	1/2	1	0,50	7,47	1/2	0,50	0,25	3,74	1/2	0,10	0,05	0,75	1/2	0,20	0,10	1,49				
Servicio de agua destilada	1	1	68,43	71,85	1	0	0	0	1/2	1	0,50	35,93	1/2	0,50	0,25	17,96	1/2	0	0	0	1/2	0	0	0				
TOTAL								9,47					49,88					28,18					1,60					7,98

Servicios de navegación, comunicación y automatización

Equipos de navegación y comunicaciones	1	1	40	42	1	0,20	0,20	8,40	1	1	1	42	1	1	1	42	1	1	1	42	1	0,20	0,20	8,40				
Equipos de control	1	1	3	3,15	1	1	1	3,15	1	1	1	3,15	1	1	1	3,15	1	1	1	3,15	1	1	1	3,15				
TOTAL								11,55					45,15					45,15					45,15					11,55

Imagen y sonido (ocio)

Televisión	10	10	0,4	4,20	4/5	0,80	0,64	2,69	0	0	0	0	4/5	0,70	0,56	2,35	0	0	0	0	1/2	0,20	0,10	0,42				
Música	3	3	0,45	1,42	2/3	0,80	0,53	0,76	0	0	0	0	2/3	0,70	0,47	0,66	0	0	0	0	1/3	0	0,07	0,09				
TOTAL								3,44					0					3,01					0					0,51

Servicios de alumbrado e iluminación

Luces de navegación	1	1	0,32	0,34	1	0,20	0,20	0,07	1	1	1	0,34	1	1	1	0,34	1	1	1	0,34	1	0,20	0,20	0,07				
Alumbrado exterior	1	1	1,28	1,34	1	0,20	0,20	0,27	1	1	1	1,34	1	1	1	1,34	1	0,20	0,20	0,27	1	0,20	0,20	0,27				
Alumbrado interior	1	1	13,93	14,63	1	0,20	0,20	2,93	1	1	1	14,63	1	0,50	0,50	7,31	1	0,20	0,20	2,93	1	0,20	0,20	2,93				
TOTAL								3,19					15,97					8,66					3,19					3,19

ANEXO III

Sala de máquinas	Tipo de lámpara	Número	Potencia (W)
Piso 1	PA8104 AIRLUME IV TEARDROP 1 LAMP F28W T5	90	2.700
Piso 2	SM530C L1170 OC LED40S/840 NO	42	1.218
Sala de control	SM530C L1170 OC LED40S/840 NO	4	96
Sala del servo	PA8104 AIRLUME IV TEARDROP 1 LAMP F28W T5	6	180
			4.194,00

Tabla 70: Iluminación de la sala de máquinas (diseño original)

Habilitación	Tipo de lámpara	Número	Potencia (W)
Camarote	RC464B G2 PSD W60L60 LED 80S/TWH NO	22	627
Baños camarotes	DN570B PSE-E C	22	259,60
Cocina	RC464B G2 PSD W60L60 LED 80S/TWH NO	9	256,50
Comedor	RC464B G2 PSD W60L60 LED 80S/TWH NO	8	228
Despensa	DN570B PSE-E C	1	11,80
Gambuzas frigoríficas	DN570B PSE-E C	2	70,80
Enfermería	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	4	96
Oficina	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	4	96
Vestuario	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	2	48
Lavandería	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	1	24
Pañol de ropa limpia	DN570B PSE-E C	1	11,80
Pañol general	8021CCLW WITH COMFORT CREAL REFLECTOR	2	62
Sala de recreación	RC464B G2 PSD W60L60 LED 80S/TWH NO	2	57
			1.848,50

Tabla 71: Iluminación de la habitación (diseño original)

Otros	Tipo de lámpara	Número	Potencia (W)
Taller	PA8104 AIRLUME IV TEARDROP 1 LAMP F28W T5	4	120
Sala del generador de emergencia	PA8104 AIRLUME IV TEARDROP 1 LAMP F28W T5	3	90
Puente mando	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	12	288
Pasillo	SM55-132-EB PHILIPS SM SERIES 1/32W T8	88	7.392
			7.890

Tabla 72: Iluminación de salas varias (diseño original)

Alumbrado exterior	Tipo de lámpara	Número	Potencia (W)
Cubierta principal	BVP650 LED100-4S/740 PSU OFA52 ALU	12	960
Cubierta 1	BVP650 LED100-4S/740 PSU OFA52 ALU	4	320
			1.280

Tabla 73: Iluminación exterior (diseño original)

Sala de máquinas	Tipo de lámpara	Número	Potencia (W)
Piso 1	DN570B LED20S/840 DIA-VLC-E C PG WH	90	1.332
Piso 2	SM530C L1170 OC LED40S/840 NO	42	1.218
Sala de control	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	4	96
Sala del servo	DN570B LED20S/840 DIA-VLC-E C PG WH	6	88,80
			2.734,80

Tabla 74: Iluminación de la sala de máquinas (diseño nuevo)

Habilitación	Tipo de lámpara	Número	Potencia (W)
Camarotes	RC464B G2 PSD W60L60 LED 80S/TWH NO	22	627
Baños camarotes	DN 560B LED12S/840 PSU-E C WH	22	215,60
Cocina	RC464B G2 PSD W60L60 LED 80S/TWH NO	9	256,50
Comedor	RC464B G2 PSD W60L60 LED 80S/TWH NO	8	228
Despensa	DN 560B LED12S/840 PSU-E C WH	1	9,80
Gambuzas frigoríficas	DN 560B LED12S/840 PSU-E C WH	2	19,60
Enfermería	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	4	96
Oficina	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	4	96
Vestuario	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	2	48
Lavandería	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	1	24
Pañol de ropa limpia	DN 560B LED12S/840 PSU-E C WH	1	9,80
Pañol general	DN 560B LED12S/840 PSU-E C WH	2	19,60
Sala de recreación	RC464B G2 PSD W60L60 LED 80S/TWH NO	2	57
			1.706,90

Tabla 75: Iluminación de la habitación (diseño nuevo)

Otros	Tipo de lámpara	Número	Potencia (W)
Taller	DN571B LED20S/840 PSU-E C WH	4	59
Sala del generador de emergencia	DN570B LED20S/840 DIA-VLC-E C PG WH	3	44,40
Puente mando	SM530C L1130 OC LED34S/840 NO	12	288
Pasillo	WT060C LED18S/840 PSU L600	88	1.320
			1.712

Tabla 76: Iluminación de salas varias (diseño nuevo)

Alumbrado exterior	Tipo de lámpara	Número	Potencia (W)
Cubierta principal	BVP650 LED100-4S/740 PSU OFA52 ALU	12	684
Cubierta 1	BVP650 LED100-4S/740 PSU OFA52 ALU	4	228
			912

Tabla 77: Iluminación exterior (diseño nuevo)

ANEXO IV

q_c (m ³ /s)	23,09
q_{dp} (m ³ /s)	19,92
P_{dp} (kW)	10.004,32
m_{ad} (kg/kW*s)	0,002
densidad (kg/m ³)	1,16
q_{dg} (m ³ /s)	2,56
P_{dg} (kW)	740
m_{ad} (kg/kW*s)	0,002
n	2
q_b (m ³ /s)	0,61
m_s (kg/s)	0,58
m_{fs} (kg/s*kW)	0,08
m_{af} (kg/kg)	15,70

Tabla 78: Datos para el cálculo de la ventilación de la sala de máquinas

Zonas		Superficie (m ²)	Número de personas	Popa/Proa	Babor/Estribor	Techo
Cubierta principal	Dispensa	6	1	6	9	6
	Vestuario	22	11	16,50	12	22
	Oficina	17,60	3	16,50	9,60	17,60
	Taller	22,50	5	15	13,50	22,50
	Enfermería	17,60	3	16,50	9,60	17,60
Cubierta 1	Camarote (x7)	124,32	1	116,55	67,20	124,32
	Baño privado (x7)	22,40	1	42	33,60	22,40
	Cocina	33,66	6	13,20	10,20	33,66
	Comedor	78,72	22	19,20	16,40	78,72
	Sala de recreación (x2)	45	9	27	30	45
Cubierta 2	Camarote (x10)	177,60	1	166,50	64	177,60
	Baño privado (x10)	32	1	60	48	32
	Lavandería (x2)	12	6	12	18	12
	Pañol ropa	3,75	1	7,50	4,50	3,75
Cubierta 3	Camarote (x5)	88,80	1	83,25	48	88,80
	Baño privado (x5)	16	1	30	24	16
	Oficina	23,98	6	7,99	12	23,98
Puente de mando		132,30	5	22,40	27,20	132,30

Tabla 79: Superficie de las zonas de habitación

- Cálculo completo del aire acondicionado en la habitación (invierno)

Popa								
Zonas	Incremento T ^a	Kv	Av	Kg	Ag	Total (W)	Total (kW)	
Cubierta principal	Enfermería	-	2,5	17	-	-	-	-
	Vestuario	5,00	2,5	17	-	-	206	0,21
	Taller	5,00	0,9	15	-	-	68	0,07
	Despensa	17,00	0,7	6	-	-	71	0,07
	Oficina	5,00	2,5	17	-	-	206,25	0,21
Cubierta 1	Camarote (x7)	5,00	0,9	116,6	-	-	524,48	0,52
	Baño privado (x7)	-	2,5	42,0	-	-	-	-
	Cocina	17,00	0,7	13,2	-	-	157,08	0,16
	Comedor	-	0,9	19,2	-	-	-	-
	Recreación (x2)	3,75	0,9	26,2	3,50	0,84	91,23	0,09
Cubierta 2	Camarote (x10)	5,00	0,9	166,5	-	-	749,25	0,75
	Baño privado (x10)	-	2,5	60,0	-	-	-	-
	Lavandería	17,00	0,9	12,0	-	-	184	0,18
	Pañol ropa limpia	17,00	0,9	7,5	-	-	114,75	0,11
Cubierta 3	Camarote (x5)	5,00	0,9	83,3	-	-	374,63	0,37
	Baño privado (x7)	-	2,5	30,0	-	-	-	-
	Oficina	3,75	0,9	8,0	-	-	26,98	0,03
Puente de mando	5,00	0,9	22,4	-	-	100,79	0,10	
Total							2,87	

Proa								
Zonas	Incremento T ^a	Kv	Av	Kg	Ag	Total (W)	Total (kW)	
Cubierta principal	Enfermería	-	2,5	16,5	-	-	-	-
	Vestuario	3,75	0,9	16,1	3,50	0,36	56	0,06
	Taller	5,00	0,9	15,0	-	-	68	0,07
	Despensa	5,00	0,9	6,0	-	-	27	0,03
	Oficina	3,75	0,9	14,8	3,50	1,68	55,90	0,06
Cubierta 1	Camarote (x7)	3,75	0,9	114,0	3,50	2,52	393,67	0,39
	Baño privado (x7)	-	2,5	42,0	-	-	-	-
	Cocina	5,00	2,5	13,2	-	-	165,00	0,17
	Comedor	5,00	2,5	19,2	-	-	240,00	0,24
	Recreación (x2)	5,00	2,5	27,0	-	-	337,50	0,34
Cubierta 2	Camarote (x10)	3,75	0,9	162,3	3,50	4,20	562,46	0,56
	Baño privado (x10)	-	2,5	60,0	-	-	-	-
	Lavandería	5,00	2,5	12,0	-	-	150	0,15
	Pañol ropa limpia	5,00	2,5	7,5	-	-	93,75	0,09
Cubierta 3	Camarote (x5)	3,75	0,9	79,1	3,50	4,20	281,49	0,28
	Baño privado (x5)	-	2,5	30,0	-	-	-	-
	Oficina	5,00	2,5	8,0	-	-	99,91	0,10

Puente de mando		3,75	0,9	11,2	3,50	11,20	77,00	0,08
Total								2,61
Babor								
Zonas		Incremento T^a	Kv	Av	Kg	Ag	Total (W)	Total (kW)
Cubierta principal	Enfermería	-	2,5	9,6	-	-	-	-
	Vestuario	-	2,5	12,0	-	-	-	-
	Taller	5,00	0,9	13,5	-	-	61	0,06
	Despensa	5,00	0,9	9,0	-	-	41	0,04
	Oficina	3,75	0,9	8,8	3,50	0,84	32,51	0,03
Cubierta 1	Camarote (x7)	-	0,9	66,8	3,50	0,36	1,26	0,00
	Baño privado (x7)	-	0,9	33,6	-	-	-	-
	Cocina	5,00	2,5	10,2	-	-	127,50	0,13
	Comedor	5,00	2,5	16,4	-	-	205,00	0,21
	Recreación (x2)	3,75	0,9	27,9	3,50	2,10	101,51	0,10
Cubierta 2	Camarote (x10)	-	0,9	63,6	3,50	0,36	1,26	0,00
	Baño privado (x10)	-	0,9	48,0	-	-	-	-
	Lavandería	5,00	2,5	18,0	-	-	225	0,23
	Pañol ropa limpia	5,00	2,5	4,5	-	-	56,25	0,06
Cubierta 3	Camarote (x5)	5,00	0,9	48,0	-	-	216,00	0,22
	Baño privado (x5)	-	0,9	24,0	-	-	-	-
	Oficina	3,75	0,9	10,4	3,50	1,61	40,70	0,04
Puente de mando		3,75	0,9	13,6	3,50	13,60	93,49	0,09
Total								1,20
Estribor								
Zonas		Incremento T^a	Kv	Av	Kg	Ag	Total (W)	Total (kW)
Cubierta principal	Enfermería	3,75	0,9	9,2	3,50	0,36	32,45	0,03
	Vestuario	3,75	0,9	11,6	3,50	0,36	41	0,04
	Taller	5,00	0,9	13,5	-	-	61	0,06
	Despensa	-	2,5	9,0	-	-	-	-
	Oficina	-	2,5	9,6	-	-	-	-
Cubierta 1	Camarote (x7)	-	0,9	66,8	3,50	0,36	1,26	0,00
	Baño privado (x7)	-	2,5	33,6	-	-	-	-
	Cocina	5,00	2,5	10,2	-	-	127,50	0,13
	Comedor	3,75	0,9	14,3	3,50	2,10	55,61	0,06
	Recreación (x2)	5,00	2,5	30,0	-	-	375,00	0,38
Cubierta 2	Camarote (x10)	-	0,9	63,6	3,50	0,36	1,26	0,00
	Baño privado (x10)	-	2,5	48,0	-	-	-	-
	Lavandería	5,00	2,5	18,0	-	-	225	0,23
	Pañol ropa limpia	5,00	2,5	4,5	-	-	56,25	0,06
Cubierta 3	Camarote (x5)	-	0,9	47,6	3,50	0,36	1,26	0,00
	Baño privado (x5)	-	2,5	24,0	-	-	-	-
	Oficina	5,00	2,5	12,0	-	-	149,99	0,15

Puente de mando		3,75	0,9	13,6	3,50	13,60	93,49	0,09
Total								1,22
Techo								
Zonas		Incremento T ^a	Kv	Av	Kg	Ag	Total (W)	Total (kW)
Cubierta principal	Enfermería	5,00	0,9	17,6	-	-	79,20	0,08
	Vestuario	5,00	0,9	22,0	-	-	99	0,10
	Taller	5,00	0,9	22,5	-	-	101	0,10
	Despensa	5,00	0,9	6,0	-	-	27	0,03
	Oficina	5,00	0,9	17,6	-	-	79,20	0,08
Cubierta 1	Camarote (x7)	-	0,9	124,3	-	-	-	-
	Baño privado (x7)	-	2,5	22,4	-	-	-	-
	Cocina	17,00	0,7	33,7	-	-	400,55	0,40
	Comedor	5,00	0,9	78,7	-	-	354,24	0,35
	Recreación (x2)	5,00	0,9	45,0	-	-	202,50	0,20
Cubierta 2	Camarote (x10)	-	0,9	177,6	-	-	-	-
	Baño privado (x10)	-	2,5	32,0	-	-	-	-
	Lavandería	5,00	0,9	12,0	-	-	54	0,05
	Pañol ropa limpia	5,00	0,9	3,8	-	-	16,88	0,02
Cubierta 3	Camarote (x5)	-	0,9	88,8	-	-	-	-
	Baño privado (x5)	-	2,5	16,0	-	-	-	-
	Oficina	5,00	0,9	24,0	-	-	107,90	0,11
Puente de mando		3,75	0,6	132,3	-	-	297,68	0,30
Total								1,82
Total Invierno								9,72

Tabla 80: Cálculo del aire acondicionado en habitación (invierno)

- Cálculo completo del aire acondicionado en la habitación (verano)

Zonas		Aporte personas				Aporte iluminación		Total
		Nº personas	Calor aportado persona	Flujo (W)	Flujo (kW)	Flujo (W)	Flujo (kW)	
Cubierta principal	Enfermería	3	120	360	0,36	7,7	0,008	0,86
	Vestuario	11	235	2.585	2,59	3,8	0,004	3,08
	Taller	5	235	1.175	1,18	4,7	0,005	1,34
	Despensa	1	120	120	0,12	0,8	0,001	0,17
	Oficina	3	120	360	0,36	7,7	0,008	0,86
Cubierta 1	Camarote (x7)	1	120	120	0,12	16,0	0,016	1,39
	Baño privado (x7)	1	120	120	0,12	5,49	0,01	1,39
	Cocina	6	235	1.410	1,41	20,5	0,021	1,54
	Comedor	22	120	2.640	2,64	18,2	0,018	2,87
	Recreación (x2)	9	120	1.080	1,08	4,6	0,005	1,66

		Aporte personas				Aporte iluminación		
Zonas		Nº personas	Calor aportado persona	Flujo (W)	Flujo (kW)	Flujo (W)	Flujo (kW)	Total
Cubierta 2	Camarote (x10)	1	120	120	0,12	22,8	0,023	1,94
	Baño privado (x10)	1	120	120	0,12	7,8	0,008	1,93
	Lavandería	6	120	720	0,72	1,9	0,002	0,85
	Pañol ropa limpia	1	120	120	0,12	0,8	0,001	0,20
Cubierta 3	Camarote (x5)	1	120	120	0,12	11,4	0,011	1,03
	Baño privado (x5)	1	120	120	0,12	3,9	0,004	1,02
	Oficina	6	120	720	0,72	7,7	0,008	0,81
Puente de mando		5	120,00	600,00	0,60	23,04	0,02	0,86
								23,83

Tabla 81: Cálculo del calor aportado por personas e iluminación

VERANO											
Popa											
Transmisión de calor								Aporte solar			
Zonas	ΔT	kv	Av	kg	Ag	Total (W)	Incremento TR	Gs	Total (W)	Total (kW)	
Cubierta principal	Enfermería	6	2,5	16,5	-	-	247,5	12	-	495	0,50
	Vestuario	2	2,5	16,5	-	-	82,5	12	-	495	0,50
	Taller	2	0,9	15	-	-	27	12	-	162	0,16
	Despensa	28	0,7	6	-	-	117,6	12	-	50,4	0,05
	Oficina	2	2,5	16,5	-	-	82,5	12	-	495	0,50
Cubierta 1	Camarote (x7)	2	0,9	116,6	-	-	209,8	12	-	1.258,7	1,26
	Baño privado (x7)	1	2,50	42	-	-	105	12	-	1.260	1,26
	Cocina	18	0,7	13,2	-	-	166,3	12	-	110,9	0,11
	Comedor	9,25	0,90	19,20	-	-	159,8	12	-	207,4	0,21
	Recreación (x2)	9,25	0,9	26,2	3,5	0,8	220,7	12	350	576,5	0,58
Cubierta 2	Camarote (x10)	2	0,90	166,50	-	-	299,7	12	-	1.798,2	1,80
	Baño privado (x10)	1	2,5	60	-	-	150	12	-	1.800	1,80
	Lavandería	11	0,90	12	-	-	118,8	12	-	129,6	0,13
	Pañol ropa limpia	11	0,9	7,5	-	-	74,3	12	-	81	0,08
Cubierta 3	Camarote (x5)	2	0,90	83,25	-	-	149,9	12	-	899,1	0,90
	Baño privado (x5)	1	2,5	30	-	-	75	12	-	900	0,90
	Oficina	9,25	0,90	7,99	-	-	66,5	12	-	86,3	0,09
Puente de mando		2	0,90	22,40	-	-	40,32	12	-	241,91	0,24
							2.393,2				11,05

Proa											
Zonas		Transmisión de calor						Aporte solar			
		ΔT	kv	Av	kg	Ag	Total (W)	Incremento TR	Gs	Total (W)	Total (kW)
Cubierta principal	Enfermería	6	2,5	16,5	-	-	247,5	12	-	495	0,50
	Vestuario	9,25	0,9	16,1	3,5	0,4	135,6	12	350	300,3	0,30
	Taller	2	0,9	15	-	-	27,0	12	-	162	0,16
	Despensa	2	0,9	6	-	-	10,8	12	-	64,8	0,06
	Oficina	9,25	0,9	14,8	3,5	1,7	129,3	12	350	748,1	0,75
Cubierta 1	Camarote (x7)	9,25	0,9	114	3,5	2,5	958,1	12	350	2.113,5	2,11
	Baño privado (x7)	1	2,5	42	-	-	105	12	-	1.260	1,26
	Cocina	2	2,5	13,2	-	-	66	12	-	396	0,40
	Comedor	2	2,5	19,2	-	-	96	12	-	576	0,58
	Recreación (x2)	2	2,5	27	-	-	135	12	-	810	0,81
Cubierta 2	Camarote (x10)	9,25	0,9	162,3	3,5	4,2	1.365,8	12	350	3.222,8	3,22
	Baño privado (x10)	1	2,5	60	-	-	150	12	-	1.800	1,80
	Lavandería	2	2,5	12	-	-	60	12	-	360	0,36
	Pañol ropa limpia	2	2,5	7,5	-	-	37,5	12	-	225	0,23
Cubierta 3	Camarote (x5)	9,25	0,9	79,1	3,5	4,2	672,8	12	350	2.323,7	2,32
	Baño privado (x5)	1	2,5	30	-	-	75	12	-	900	0,90
	Oficina	2	2,5	8	-	-	40	12	-	239,8	0,24
Puente de mando		9,25	0,9	11,2	3,5	11,2	132,4	12	240	2.808,8	2,81
Total							4.443,8				18,81

Babor											
Zonas		Transmisión de calor					Aporte solar				
Zonas		ΔT	kv	Av	kg	Ag	Total (W)	Incremento TR	Gs	Total (W)	Total (kW)
Cubierta principal	Enfermería	9,25	2,5	9,6	-	-	222	12	-	288	0,29
	Vestuario	2	2,5	12	-	-	60	12	-	360	0,36
	Taller	18	0,9	13,5	-	-	218,7	12	-	145,8	0,15
	Despensa	2	0,9	9	-	-	16,2	12	-	97,2	0,10
	Oficina	9,25	0,9	8,8	3,5	0,8	75,9	12	350	388,6	0,39
Cubierta 1	Camarote (x7)	2	0,9	66,8	3,5	0,4	121,6	12	350	847,9	0,85
	Baño privado (x7)	1	0,9	33,6	-	-	30,24	12	-	363	0,36
	Cocina	2	2,5	10,2	-	-	51	12	-	306	0,31
	Comedor	5	2,5	16,4	-	-	205	12	-	492	0,49
	Recreación (x2)	2	0,9	27,9	3,5	2,1	57,6	12	350	1.036,3	1,04
Cubierta 2	Camarote (x10)	2	0,9	63,6	3,5	0,4	115,8	12	350	813,3	0,81
	Baño privado (x10)	1	0,9	48	-	-	43,20	12	-	518	0,52
	Lavandería	11	2,5	18	-	-	495	12	-	540	0,54
	Pañol ropa limpia	2	2,5	4,5	-	-	22,5	12	-	135	0,14
Cubierta 3	Camarote (x5)	2	0,9	48	-	-	86,4	12	-	518,4	0,52
	Baño privado (x5)	1	0,9	24	-	-	21,60	12	-	259	0,26
	Oficina	2	0,9	10,4	3,5	1,6	24,3	12	350	675	0,68
Puente de mando		9,25	0,9	13,6	3,5	13,6	160,8	12	240	3.410,7	3,41
Total							2.027,8				11,19

Estribor											
Zonas		Transmisión de calor						Aporte solar			
		ΔT	kv	Av	kg	Ag	Total (W)	Incremento TR	Gs	Total (W)	Total (kW)
Cubierta principal	Enfermería	2	0,9	9,2	3,5	0,4	17,9	12	350	225,8	0,23
	Vestuario	2	0,9	11,6	3,5	0,4	22,2	12	350	251,7	0,25
	Taller	2	0,9	13,5	-	-	24,3	12	-	145,8	0,15
	Despensa	2	2,5	9	-	-	45	12	-	270	0,27
	Oficina	2	2,5	9,6	-	-	48	12	-	288	0,29
Cubierta 1	Camarote (x7)	2	0,9	66,8	3,5	0,4	121,6	12	350	847,9	0,85
	Baño privado (x7)	1	2,5	33,6	-	-	84	12	-	1.008	1,01
	Cocina	2	2,5	10,2	-	-	51	12	-	306	0,31
	Comedor	9,25	0,9	14,3	3,5	2,1	126,4	12	350	889,4	0,89
	Recreación (x2)	2	2,5	30	-	-	150,0	12	-	900	0,90
Cubierta 2	Camarote (x10)	2	0,9	63,6	3,5	0,4	115,8	12	350	813,3	0,81
	Baño privado (x10)	1	2,5	48	-	-	120	12	-	1.440	1,44
	Lavandería	2	2,5	18	-	-	90	12	-	540	0,54
	Pañol ropa limpia	2	2,5	4,5	-	-	22,5	12	-	135	0,14
Cubierta 3	Camarote (x5)	2	0,9	47,6	3,5	0,4	87	12	350	640,5	0,64
	Baño privado (x5)	1	2,5	24	-	-	60	12	-	720	0,72
	Oficina	2	2,5	12	-	-	60	12	-	360	0,36
Puente de mando		9,25	0,9	13,6	3,5	13,6	160,8	12	240	3.410,7	3,41
Total							1.406,5				13,19

Techo											
Zonas		Transmisión de calor					Aporte solar				
Zonas		ΔT	kv	Av	kg	Ag	Total (W)	Incremento TR	Gs	Total (W)	Total (kW)
Cubierta principal	Enfermería	2	0,9	17,6	-	-	31,7	16	-	253,4	0,25
	Vestuario	2	0,9	22	-	-	39,6	16	-	316,8	0,32
	Taller	2	0,9	22,5	-	-	40,5	16	-	324	0,32
	Despensa	2	0,9	6	-	-	10,8	16	-	86,4	0,09
	Oficina	2	0,9	17,6	-	-	31,7	16	-	253,4	0,25
Cubierta 1	Camarote (x7)	2	0,9	124,3	-	-	223,8	16	-	1.790,2	1,79
	Baño privado (x7)	1	2,5	22,4	-	-	56	12	-	672	0,67
	Cocina	28	0,7	33,7	-	-	659,7	16	-	377	0,38
	Comedor	2	0,9	78,7	-	-	141,7	16	-	1.133,6	1,13
	Recreación (x2)	2	0,9	45	-	-	81	16	-	648	0,65
Cubierta 2	Camarote (x10)	2	0,9	177,6	-	-	319,7	16	-	2.557,4	2,56
	Baño privado (x10)	1	2,5	32	-	-	80	12	-	960	0,96
	Lavandería	2	0,9	12	-	-	21,6	16	-	172,8	0,17
	Pañol ropa limpia	2	0,9	3,8	-	-	6,8	16	-	54	0,05
Cubierta 3	Camarote (x5)	2	0,9	88,8	-	-	159,8	16	-	1.278,7	1,28
	Baño privado (x5)	1	2,5	16	-	-	40	12	-	480	0,48
	Oficina	2	0,9	24	-	-	43,2	16	-	345,3	0,35
Puente de mando		9,25	0,6	132,3	-	-	734,3	16	-	1.270,1	1,27
Total							2.721,8				12,97
Total Verano							12.993,2				67,21

Tabla 82. Cálculo del aire acondicionado en habilitación (verano)

ANEXO V

- EEDI del motor MAN 6 L23/30H Mk2

		Datos	
GAS	$V_{\text{gas}} \text{ (m}^3\text{)}$		1.295,56
	$d_{\text{gas}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$		431
	$\text{LCV}_{\text{gas}} \text{ (kJ/kg)}$		48.000
	k_{gas}		0,95
LÍQUIDO	$V_{\text{HFO}} \text{ (m}^3\text{)}$		1.132,00
	$d_{\text{HFO}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$		944,30
	$\text{LCV}_{\text{HFO}} \text{ (kJ/kg)}$		42.700
	k_{HFO}		0,98
	$V_{\text{MDO}} \text{ (m}^3\text{)}$		109,93
	$d_{\text{MDO}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$		840
	$\text{LCV}_{\text{MDO}} \text{ (kJ/kg)}$		42.700
	k_{MDO}		0,98
$P_{\text{total}} \text{ (kW)}$			8.003,11
$P_{\text{gas}} \text{ (kW)}$			7.503

Tabla 83: Datos del cálculo del combustible primario (MAN 6 L23/30H Mk2)

Resultados	
f_{DFgas}	0,367
f_{DFliq}	0,633
HFO primario	

Tabla 84: Resultados del cálculo del combustible primario (MAN 6 L23/30H Mk2)

Emisiones del motor principal	3.281.760,09
Emisiones del motor auxiliar	311.850,69
Trabajo de transporte	571.825,29
Attained EEDIweather (g/Tmn)	6,28

Tabla 85: Resultados del cálculo del EEDI (MAN 6 L23/30H Mk2)

- EEDI del motor Wärtsilä 6L20DF

		Datos	
GAS	V_{gas} (m ³)		2.274,39
	d_{gas} (kg/m ³)		431
	LCV_{gas} (kJ/kg)		48.000
	k_{gas}		0,95
LÍQUIDO	V_{HFO} (m ³)		703,45
	d_{HFO} (kg/m ³)		944,30
	LCV_{HFO} (kJ/kg)		42.700
	k_{HFO}		0,98
	V_{LFO} (m ³)		63,09
	d_{LFO} (kg/m ³)		900
	LCV_{LFO} (kJ/kg)		42.700
	k_{LFO}		0,98
P_{total} (kW)			8.003,11
P_{gas} (kW)			8.003,11

Tabla 86: Datos del cálculo del combustible primario (Wärtsilä 6L20DF)

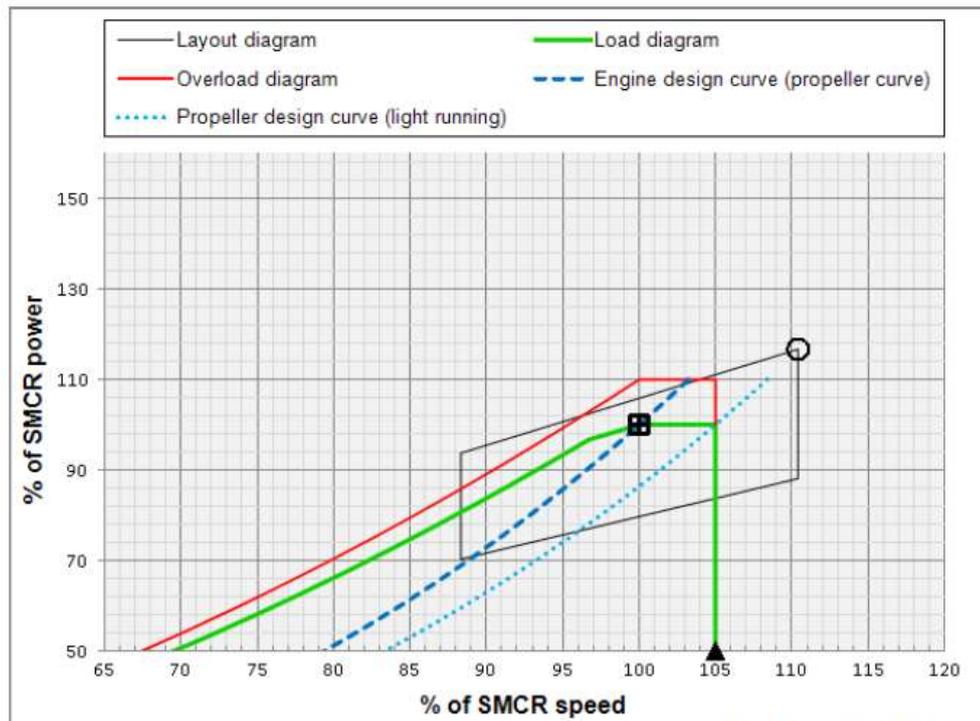
Resultados	
fDF_{gas}	0,597
fDF_{liq}	0,403
LNG primario	

Tabla 87: Resultados del cálculo del combustible primario (Wärtsilä 6L20DF)

Emisiones del motor principal	2.747.601,60
Emisiones del motor auxiliar	257.655,86
Trabajo de transporte	571.825,29
Attained EEDIweather (g/Tmn)	5,26

Tabla 88: Resultados del cálculo del EEDI (Wärtsilä 6L20DF)

ANEXO VI



The Light Running Margin (LRM) shown is 5%. Recommended value is 4-7%, for special cases up to 10%. The LRM should be evaluated for each ship project depending on for example: In-service increase of vessel resistance, ship manoeuvring requirements, additional engine load due to power take-out (PTO) and possible requirements related to a barred speed range (short passing time).

Point	Power kW	Speed r/min	MEP Bar
+ SMCR: Specified Maximum Continuous Rating (85.7% of NMCR)	10,669	95.1	19.8
□ NCR: Normal Continuous Rating (100.00% of SMCR)	10,669	95.1	19.8
Maximum over load (110% of SMCR)	11,736	-	-
▲ Maximum speed limit (105% of SMCR)	-	99.9	-
○ L1, NMCR: Nominal Maximum Continuous Rating	12,450	105.0	21.0

Further reading: [Basic principles of ship propulsion](#)

ISO ambient conditions (ambient air: 25 °C, scavenge air coolant: 25 °C)

Load % SMCR	Power kW	Speed r/min	SFOC g/kWh	Exh. gas kg/s	Exh. gas ¹ °C	Steam ²⁾ kg/h
100	10,669	95.1	162.3	18.8	259	1,770
95	10,136	93.5	161.1	18.3	242	1,450
90	9,602	91.8	160.1	17.7	228	1,140
85	9,069	90.1	159.4	17.2	215	880
80	8,535	88.3	157.3	16.0	212	780
75	8,002	86.4	155.4	14.9	211	720
70	7,468	84.4	154.3	14.1	210	690
65	6,935	82.4	153.7	13.3	211	670
60	6,401	80.2	154.4	12.6	214	680
55	5,868	77.9	155.3	11.8	217	700
50	5,335	75.5	156.4	11.0	222	720
45	4,801	72.9	157.5	9.8	233	790
40	4,268	70.1	158.8	8.5	246	840
35	3,734	67.0	160.2	7.3	262	900
30	3,201	63.7	161.6	7.0	234	610
25	2,667	59.9	163.2	5.8	241	580

Ilustración 15: CEAS Engine Data Report (PTO)

Eficiencia Energética en un Buque Bulk Carrier de 40000 TPM
 Paula Ballester Falcón

Type	H-class (120 K), ambient 45°C, continuous, p.f. 0.8																	
	50Hz								Efficiency	60 Hz								Efficiency
	380 V	380 V	400 V	400 V	415 V	415 V	440 V	440 V	(400 V)	415 V	415 V	440 V	440 V	460 V	460 V	480 V	480 V	(480 V)
	kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW	%	kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW	%
AMG 0400AA04 DBPM	755	604	795	636	795	636	710	568	94.34	820	656	875	700	915	732	950	760	94.60
AMG 0400BS04 DBPM	840	672	885	708	885	708	795	636	94.73	935	748	980	784	1025	820	1075	860	94.95
AMG 0400BB04 DBPM	885	708	935	748	935	748	840	672	94.87	970	776	1025	820	1075	860	1120	896	95.10
AMG 0400CS04 DBPM	1025	820	1075	860	1075	860	935	748	95.04	1120	896	1180	944	1235	988	1305	1044	95.27
AMG 0400CC04 DBPM	1110	888	1165	932	1165	932	1025	820	95.20	1215	972	1285	1028	1345	1076	1400	1120	95.45
AMG 0400DD04 DBPM	1335	1068	1400	1120	1400	1120	1240	992	95.57	1455	1164	1540	1232	1605	1284	1650	1320	95.81

Ilustración 16: Low Voltage Marine Series Generators

ANEXO VII: CÁLCULOS

- Cálculo del consumo de combustible de la planta original

Motor principal	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	(T/viaje)
HFO	153,7	1.153.211,10	1,15	498,19
GI	129,2	969.387,60	0,97	418,78
MDO Piloto	3,4	25.510,20	0,03	11,02

Motor auxiliar (MDO)	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	Navegación	Carga	Puerto
				(T/viaje)	(T/viaje)	(T/viaje)
100%	190	140.600,00	0,14	60,74	0,29	6,46
85%	190	119.510,00	0,12	51,63	0,25	5,49
75%	189	104.895,00	0,10	45,31	0,22	4,82
50%	195	72.150,00	0,07	31,17	0,15	3,31
25%	220	40.700,00	0,04	17,58	0,08	1,87

kW	377,51	549,08	517,59
Consumo (g/kWh)	194,76	188,92	190,21
Consumo total (g/h)	73.523,27	103.732,37	98.452,91
T/h	0,07	0,10	0,10
T/viaje	31,76	0,22	4,52

Bulk Carrier						
Viaje (i)	Consumo de combustible en el mar y en puerto (T)				Carga (T)	Distancia (MN)
	HFO	LNG	MDO (Piloto)	MDO		
Ida	249	209,39	5,51	34,43	40000	3251
Vuelta	249	209,39	5,51	34,26	0	3251
Viaje	498,19	418,78	11,02	68,69		

- Cálculo del consumo de combustible de la Opción 1

Motor principal	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	(T/viaje)
HFO	153,7	1.153.211,10	1,15	498,19
GI	129,2	969.387,60	0,97	418,78
HFO Piloto	3,4	25.510,20	0,03	11,02

Motor auxiliar (MDO)	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	Navegación	Carga	Puerto
				(T/viaje)	(T/viaje)	(T/viaje)
100%	188,3	160.431,60	0,16	69,31	0,33	7,37
85%	188,3	136.366,86	0,14	58,91	0,28	6,26
75%	188,2	120.259,80	0,12	51,95	0,25	5,52
50%	194,5	82.857,00	0,08	35,79	0,17	3,80
25%	219,6	46.774,80	0,05	20,21	0,10	2,15

kW	705,50	780,07	435,55
Consumo (g/kWh)	188,28	188,30	194,22
Consumo total (g/h)	132.830,51	146.887,74	84.590,74
T/h	0,13	0,15	0,08
T/viaje	57,38	0,31	3,88

Consumo original navegación	63,52
REDUCCIÓN DE CONSUMO MDO NAVEGACIÓN	10%
Consumo original carga	0,66
Reducción consumo carga	7%
Consumo original en puerto	4,52
Reducción de consumo puerto	14%

Bulk Carrier						
Viaje (i)	Consumo de combustible en el mar y en puerto (T)				Carga (T)	Distancia (MN)
	HFO	LNG	MDO (Piloto)	MDO		
Ida	249	209,39	5,51	31,02	40000	3251
Vuelta	249	209,39	5,51	30,86	0	3251
Viaje	498,19	418,78	11,02	61,88		

- Cálculo del consumo de combustible de la Opción 2

Motor principal	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	(T/viaje)
HFO	153,7	1.153.211,10	1,15	498,19
GI	129,2	969.387,60	0,97	418,78
HFO Piloto	3,4	25.510,20	0,03	11,02

Motor auxiliar (LNG)	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	Navegación	Carga	Puerto
				(T/viaje)	(T/viaje)	(T/viaje)
100%	157,1946796	150.906,89	0,15	65,19	0,31	6,93
85%	162,0314389	132.217,65	0,13	57,12	0,28	6,07
75%	165,8605401	119.419,59	0,12	51,59	0,25	5,48
50%	177,9524385	85.417,17	0,09	36,90	0,18	3,92
25%	187,80	45.070,86	0,05	19,47	0,09	2,07

kW	705,50	780,07	435,55
Consumo (g/kWh)	166,59	163,46	179,78
Consumo total (g/h)	117.530,25	127.514,19	78.300,55
T/h	0,12	0,13	0,08
T/viaje	50,77	0,27	3,60

Piloto	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	Navegación	Carga	Puerto
				(T/viaje)	(T/viaje)	(T/viaje)
100%	3,7	3.552,00	0,004	1,53	0,01	0,16
85%	4,8	3.916,80	0,004	1,69	0,01	0,18
75%	5,5	3.960,00	0,004	1,71	0,01	0,18
50%	8,2	3.936,00	0,004	1,70	0,01	0,18
25%	10,30485	2.473,16	0,002	1,07	0,01	0,11

kW	705,50	780,07	435,55
Consumo (g/kWh)	5,66	4,82	8,70
Consumo total (g/h)	3.995,33	3.763,21	3.789,30
T/h	0,004	0,00	0,00
T/viaje	1,73	0,01	0,17

LFO	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	Navegación	Carga	Puerto
				(T/viaje)	(T/viaje)	(T/viaje)
100%	194,4	186.624,00	0,187	80,62	0,39	8,57
85%	194	158.304,00	0,158	68,39	0,33	7,27
75%	195	140.400,00	0,140	60,65	0,29	6,45
50%	203	97.440,00	0,097	42,09	0,20	4,47
25%	218,22	52.371,83	0,052	22,62	0,11	2,40

kW	705,50	780,07	435,55
Consumo (g/kWh)	195,48	193,00	204,48
Consumo total (g/h)	137.913,80	150.552,19	89.061,25
T/h	0,138	0,15	0,09
T/viaje	59,58	0,31	4,09

Bulk Carrier								
Viaje (i)	Consumo de combustible en el mar y en puerto (T)						Carga (T)	Distancia (MN)
	HFO	LNG M.P	MDO (Piloto)	LNG AUX	LFO (Piloto)	LFO		
Ida	249	209,39	5,51	27,52	0,96	32,23	40000	3251
Vuelta	249	209,39	5,51	27,38	0,96	32,07	0	3251
Viaje	498	418,78	11,02	54,90	1,92	64,30		

- Cálculo del consumo de combustible del sistema con PTO

	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	(T/viaje)
HFO	155,4	1.243.511,58	1,24	537,20

Motor auxiliar (LNG)	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	Navegación	Carga	Puerto
				(T/viaje)	(T/viaje)	(T/viaje)
100%	157,1946796	150.906,89	0,15	65,19	0,31	6,93
85%	162,0314389	132.217,65	0,13	57,12	0,28	6,07
75%	165,8605401	119.419,59	0,12	51,59	0,25	5,48
50%	177,9524385	85.417,17	0,09	36,90	0,18	3,92
25%	187,80	45.070,86	0,05	19,47	0,09	2,07

kW		780,07	435,55
Consumo (g/kWh)		163,46	179,78
Consumo total (g/h)	-	127.514,19	78.300,55
T/h	-	0,13	0,08
T/viaje	-	0,27	3,60

Piloto	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	Navegación	Carga	Puerto
				(T/viaje)	(T/viaje)	(T/viaje)
100%	3,7	3.552,00	0,004	1,53	0,01	0,16
85%	4,8	3.916,80	0,004	1,69	0,01	0,18
75%	5,5	3.960,00	0,004	1,71	0,01	0,18
50%	8,2	3.936,00	0,004	1,70	0,01	0,18
25%	10,30485	2.473,16	0,002	1,07	0,01	0,11

kW	-	780,07	435,55
Consumo (g/kWh)	-	4,82	8,70
Consumo total (g/h)	-	3.763,21	3.789,30
T/h	-	0,00	0,00
T/viaje	-	0,01	0,17

Bulk Carrier					
Viaje (i)	Consumo de combustible en el mar y en puerto (T)			Carga (T)	Distancia (MN)
	HFO	LNG AUX	LFO (Piloto)		
Ida	269	2,13	0,10	40000	3251
Vuelta	269	1,99	0,09	0	3251
Viaje	537	4,13	0,19		

- Cálculo del consumo de combustible del sistema con WHRS

	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	(T/viaje)
HFO	153,428077	1.151.170,86	1,15	497,31

Motor auxiliar (MDO)	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	Navegación	Carga	Puerto
				(T/viaje)	(T/viaje)	(T/viaje)
100%	195,3	312.480,00	0,31	134,99	0,65	14,35
85%	194,5	264.520,00	0,26	114,27	0,55	12,15
75%	194,7	233.640,00	0,23	100,93	0,49	10,73
50%	200,6	160.480,00	0,16	69,33	0,33	7,37
25%	212,51	85.002,53	0,09	36,72	0,18	3,90

kW			
Consumo (g/kWh)	212,40	189,97	224,41
Consumo total (g/h)	-	-	-
T/h	-	-	-
T/viaje	-	-	-

Bulk Carrier

Viaje (i)	Consumo de combustible en el mar y en puerto (T)	Carga (T)	Distancia (MN)
	HFO		
Ida	249	40000	3251
Vuelta	249	0	3251
Viaje	497,31		

- Cálculo del consumo de combustible del sistema con PTO y placas solares

	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	(T/viaje)
HFO	155,4	1.243.511,58	1,24	537,20

Motor auxiliar (LNG)	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	Navegación	Carga	Puerto
				(T/viaje)	(T/viaje)	(T/viaje)
100%	157,1946796	150.906,89	0,15	65,19	0,31	6,93
85%	162,0314389	132.217,65	0,13	57,12	0,28	6,07
75%	165,8605401	119.419,59	0,12	51,59	0,25	5,48
50%	177,9524385	85.417,17	0,09	36,90	0,18	3,92
25%	187,80	45.070,86	0,05	19,47	0,09	2,07

kW		755,40	410,87
Consumo (g/kWh)		164,45	180,79
Consumo total (g/h)	-	124.224,17	74.280,37
T/h	-	0,12	0,07
T/viaje	-	0,26	3,41

Bulk Carrier					
Viaje (i)	Consumo de combustible en el mar y en puerto (T)			Carga (T)	Distancia (MN)
	HFO	LNG AUX	LFO (Piloto)		
Ida	269	2,03	0,10	40000	3251
Vuelta	269	1,90	0,09	0	3251
Viaje	537	3,93	0,19		

- Cálculo del consumo de combustible del sistema con WHRS y placas solares

	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	(T/viaje)
HFO	153,4234268	1.151.135,97	1,15	497,29

Motor auxiliar (MDO)	Consumo específico (g/kWh)	Consumo total (g/h)	(T/h)	Navegación	Carga	Puerto
				(T/viaje)	(T/viaje)	(T/viaje)
100%	195,3	312.480,00	0,31	134,99	0,65	14,35
85%	194,5	264.520,00	0,26	114,27	0,55	12,15
75%	194,7	233.640,00	0,23	100,93	0,49	10,73
50%	200,6	160.480,00	0,16	69,33	0,33	7,37
25%	212,51	85.002,53	0,09	36,72	0,18	3,90

kW			
Consumo (g/kWh)	212,40	189,97	224,41
Consumo total (g/h)	-	-	-
T/h	-	-	-
T/viaje	-	-	-

Bulk Carrier				
Viaje (i)	Consumo de combustible en el mar y en puerto (T)		Carga (T)	Distancia (MN)
	HFO			
Ida	249		40000	3251
Vuelta	249		0	3251
Viaje	497,29			

- Cálculo de las emisiones de CO₂ de la planta original

$$\text{Average EEOI} = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj})}{\sum_i (m_{\text{carga},i} \times D_i)}$$

EEOI	(t of CO ₂ /tMN)			
	HFO	LNG	MDO (piloto)	MDO
	1,19314E-05	8,85599E-06	2,63934E-07	1,694E-06

	t-CO2			
Denominador Ida	775,78	575,82	17,16	110,39
Denominador Vuelta	775,78	575,82	17,16	109,84
Denominador viaje	1551,554201	1151,632469	35,33142292	220,23

Divisor Ida	130040000
Divisor Vuelta	0

Viaje HFO+MDO	Viaje LNG+MDO
1.771,78	1.407,19

- Cálculo de las emisiones de CO₂ de la Opción 1

	(t of CO2/tMN)			
	HFO	LNG	MDO (piloto)	MDO
EEOI	1,19314E-05	8,85599E-06	2,71697E-07	1,526E-06

	t-CO2			
Denominador Ida	775,78	575,82	17,67	99,44
Denominador Vuelta	775,78	575,82	17,67	98,94
Denominador viaje	1.551,55	1.151,63	35,33	198,38

Divisor Ida	130040000
Divisor Vuelta	0

Viaje HFO+MDO	Viaje LNG+MDO
1.749,94	1.385,35

- Cálculo de las emisiones de CO₂ de la Opción 2

	(t of CO2/tMN)					
	HFO	LNG	MDO (piloto)	LNG AUX	LFO (Piloto)	LFO
EEOI	1,19314E-05	8,85599E-06	2,71697E-07	1,161E-06	4,72285E-08	1,55796E-06

	t-CO2					
Denominador Ida	775,78	575,82	17,67	75,68	3,08	101,55
Denominador Vuelta	775,78	575,82	17,67	75,30	3,06	101,04
Denominador viaje	1.551,55	1.151,63	35,33	150,97	6,14	202,60

Divisor Ida	130040000
Divisor Vuelta	0

Viaje HFO+LFO	Viaje HFO+LNG	Viaje LNG+LNG	Viaje LNG+LFO
1.754,15	1.708,67	1.344,08	1.389,56

- Cálculo de las emisiones de CO₂ del sistema con PTO

	(t of CO2/tMN)		
	HFO	LNG AUX	LFO (Piloto)
EEOI	1,28656E-05	8,727E-08	4,67616E-09

	t-CO2		
Denominador Ida	836,52	5,87	0,31
Denominador Vuelta	836,52	5,48	0,30
Denominador viaje	1.673,05	11,35	0,61

Viaje HFO+LNG
1.685,00

- Cálculo de las emisiones de CO₂ del sistema con WHRS

	(t of CO2/tMN)
	HFO
EEOI	1,19103E-05

	t-CO2
Denominador Ida	774,40
Denominador Vuelta	774,40
Denominador viaje	1.548,81

- Cálculo de las emisiones de CO₂ del sistema con PTO y placas solares

	(t of CO2/tMN)		
	HFO	LNG AUX	LFO (Piloto)
EEOI	1,28656E-05	8,307E-08	4,57157E-09

	t-CO2		
Denominador Ida	836,52	5,59	0,30
Denominador Vuelta	836,52	5,22	0,29
Denominador viaje	1.673,05	10,80	0,59

Viaje HFO+LFO	Viaje HFO+LNG
---------------	---------------

1.687,17	1.684,44
----------	----------

- Cálculo de las emisiones de CO₂ del sistema con WHRS con placas solares

(t of CO2/tMN)	
HFO	
EEOI	1,19099E-05

t-CO2	
Denom Ida	774,38
Denom Vuelta	774,38
Denom viaje	1.548,76

Viaje HFO+MDO	
	1.548,76

- Cálculo de los costes de la planta original

Combustible	Coste (\$/viaje)
HFO	171.874,58
LNG	203.106,09
MDO piloto	4.749,80
MDO aux	29.606,71

HFO+MDO	LNG+MDO
201.481,29	237.462,60

- Cálculo de los costes de la Opción 1

Combustible	Coste (\$/viaje)
HFO	171.874,58
LNG	203.106,09
MDO (Piloto)	4.749,80
MDO (AUX)	26.669,82

HFO+MDO	LNG+MDO
198.544,40	234.525,71

- Cálculo de los costes de la Opción 2

Combustible	Coste (\$/viaje)
HFO	171.874,58
LNG MP	203.106,09
LNG AUX	26.626,34
MDO Piloto	4.749,80
LFO	21.513,26
LFO Piloto	640,98

HFO+LFO	HFO+LNG	LNG+LNG	LNG+LFO
193.387,84	199.141,90	235.123,21	229.369,15

- Cálculos de los costes del sistema con PTO

Combustible	Coste (\$/viaje)
HFO	185.332,97
LFO	1.578,21
LFO Piloto	63,46

HFO+LNG
187.397,83

- Cálculos de los costes del sistema con WHRS

Combustible	Coste (\$/viaje)
HFO	171.570,51

	Coste (\$/viaje)
Reducción respecto al diseño original	14,85%
Reducción respecto a la Opción 2 (HFO+LNG)	13,85%
Reducción respecto a la PTO (HFO+LNG)	8,45%

- Cálculo de los costes del sistema con PTO y placas solares

Combustible	Coste (\$/viaje)
HFO	185.332,97
LNG AUX	1.905,23
LFO Piloto	62,04

HFO+LNG
187.300,24

- Cálculo de los costes del sistema con WHRS y placas solares

Combustible	Coste (\$/viaje)
HFO	171.565,31

- Cálculo del EEDI de la Opción 1

Main engine emissions		3.281.760,09	
fj	1,00		
Pme (kW)	7.503,00	LNG	Piloto HFO
Cfme	3,114	2,75	3,206
SFCme	153,70	129,2	3,4

Auxiliary engines emissions		311.850,69	
Pae	500,11	kW	
Cfae	3,21		
SFCae*	194,50	g/kWh	

Transport work		571.825,29	
fi	1,02		
LWT rosca	8.162,37	T	
Capacity	40.482,39	T	
Vref	15,00	nudos	
fw	0,75		
Desplazamiento	48.596,73		
Peso muerto	40.482,39		
fc	1,00		
fl	1,24		
fcranes	1,24		
fcargalateral	1		
froro	1		
fm	1		

EEDI	6,28			
Reference Line	6,10			
Required	6,10	5,49	4,88	4,27
Estimated index	7,86			
	Fase 0 (2014)	Fase 1 (2019)	Fase 2 (2024)	Fase 3 (2025)
	-	10,00	20,00	30,00

- Cálculo del EEDI de la Opción 2 (LNG+LNG)

Main engine emissions		2.747.601,60	
fj	1,00		
Pme (kW)	7.503,00	LNG	Piloto MDO
Cfme	3,11	2,75	3,206
SFCme	153,70	129,2	3,4

Auxiliary engines emissions		257.655,86	
Pae (kW)	500,11	LNG	Piloto LFO
Cfae	3,151	2,75	3,151
SFCae*	203,00	177,95	8,2

EEDI	5,26			
Reference Line	6,10			
Required	6,10	5,49	4,88	4,27
Estimated index	7,86			
	Fase 0 (2014)	Fase 1 (2019)	Fase 2 (2024)	Fase 3 (2025)
	-	10,00	20,00	30,00

	Motor dual	LNG/HFO
	fDFgas	0,597
	Vgas_total	2.274,39
	Vgas	2.084,82
	dgas	431
	LCVgas	48000
	Kgas	0,95
	Vgas_aux	189,57
	Vliq_total	771,01
no DUAL	Vhfo	703,45
	dhfo	944,3
	LCVhfo	42700
LFO Aux	Khfo	0,98
	Vlfo	63,09
	dlfo	900
LFO piloto	LCVlfo	42700
	Klfo	0,98
	Vlfo	4,47
	dlfo	900
	LCVlfo	41200
	Klfo	0,98
	Ptotal	8.003,11
	Pgasfuel	8.003,11

- Cálculo del EEDI de la Opción 2 (HFO+LNG)

Main engine emissions		3.268.900,13	
fj	1,00		
Pme (kW)	7.503,00	LNG	Piloto MDO
Cfme	3,11	2,75	3,206
SFCme	153,70	129,2	3,4

Auxiliary engines emissions		299.572,00	
Pae (kW)	500,11	LNG	Piloto LFO
Cfae	3,206	2,75	3,151
SFCae*	203,00	177,95	8,20

	Motor dual	LNG/HFO
	fDFgas	0,382
	Vgas_total	1.485,13
	Vgas	1.295,56
	dgas	431
	LCVgas	48000
	Kgas	0,95
	Vgas_aux	189,57
	Vliq_total	1.304,73
no DUAL	Vhfo	1.132,00
	dhfo	944,3
	LCVhfo	42700
	Khfo	0,98
LFO Aux	Vlfo	66,20
	dlfo	900
	LCVlfo	42700
	Klfo	0,98
LFO piloto	Vlfo	106,53
	dlfo	900
	LCVlfo	41200
	Klfo	0,98
	Ptotal	8.003,11
	Pgasfuel	8.003,11

EEDI	6,24			
Reference Line	6,10			
Required	6,10	5,49	4,88	4,27
Estimated index	7,86			
	Fase 0 (2014)	Fase 1 (2019)	Fase 2 (2024)	Fase 3 (2025)
	-	10,00	20,00	30,00

- Cálculo del EEDI del sistema con PTO

Main engine emissions		3.287.815,42	
fj	1,00		
Pme (kW)	7.525,01	LNG	Piloto MDO
Cfme	3,11	2,75	3,206
SFCme	155,40	129,2	3,4
PTO (kW)	636,00		

Auxiliary engines emissions		256.509,58	
Pae (kW)	516,73	LNG	Piloto LFO
Cfae	3,206	2,75	3,151
SFCae*	203,00	177,95	8,20

	Motor dual	LNG/HFO
	fDFgas	0,399242
	Vgas_total	1.630,93
	Vgas	1.295,56
	dgas	431
	LCVgas	48000
	Kgas	0,95
	Vgas_aux	335,37
	Vliq_total	1.225,48
no DUAL	Vhfo	1.220,61
	dhfo	944,3
	LCVhfo	42700
	Khfo	0,98
LFO Aux	Vlfo	
	dlfo	
	LCVlfo	
	Klfo	
LFO piloto	Vlfo	4,88
	dlfo	900
	LCVlfo	41200
	Klfo	0,98
	Ptotal	8.041,74
	Pgasfuel	8.041,74

EEDI	6,20			
Reference Line	6,10			
Required	6,10	5,49	4,88	4,27
Estimated index	7,90			
	Fase 0 (2014)	Fase 1 (2019)	Fase 2 (2024)	Fase 3 (2025)
	-	10,00	20,00	30,00

- Cálculo del EEDI del sistema con WHRS

Main engine emissions		3.297.294,44	
fj	1,00		
Pme (kW)	7.503,00	LNG	Piloto MDO
Cfme	3,11	2,75	3,206
SFCme	153,42	129,2	3,4
PTO (kW)	-		

Auxiliary engines emissions		319.060,80	
Pae (kW)	500,10		
Cfae	3,206		
SFCae*	199,00		

Shaft generators/motors emissions		-
		387.555,84
fj	1,00	
Ppti	-	kW
feff	1,00	
Paeff	607,46	kW
Cfae	3,21	3,206
SFCae	199,00	199,00

Efficiency technologies		85.577,55
feff	1,00	
Peff	153,69	kW
Cfme	3,16	
SFCme	176,21	g/kWh

	Motor dual	LNG/HFO
	fDFgas	0,343
	Vgas_total	1.295,56
	Vgas	1.295,56
	dgas	431
	LCVgas	48000
	Kgas	0,95
no DUAL	Vhfo	1.129,92
	dhfo	944,3
	LCVhfo	42700
	Khfo	0,98
MDO Aux	Vlfo	256,92
	dlfo	840
	LCVlfo	42700
	Klfo	0,98
	Ptotal	8.003,10
	Pgasfuel	7.503,00

EEDI	5,497			
Reference Line	6,10			
Required	6,10	5,49	4,88	4,27
Estimated index	7,86			
	Fase 0 (2014)	Fase 1 (2019)	Fase 2 (2024)	Fase 3 (2025)
	-	10,00	20,00	30,00

- Cálculo del EEDI del sistema con PTO y placas solares

Main engine emissions		3.287.815,42	
fj	1,00		
Pme (kW)	7.525,01	LNG	Piloto MDO
Cfme	3,11	2,75	3,206
SFCme	155,40	129,2	3,4
PTO (kW)	636,00		

Auxiliary engines emissions		256.509,58	
Pae (kW)	516,73	LNG	Piloto LFO
Cfae	3,206	2,75	3,151
SFCae*	203,00	177,95	8,20

Shaft generators/motors emissions		- 14.465,45
fj	1,00	
Ppti	-	kW
feff	1,00	
Paeff	24,67	kW
Cfae	2,75	3,206
SFCae	177,95	203,00

EEDI	6,17			
Reference Line	6,10			
Required	6,10	5,49	4,88	4,27
Estimated index	7,90			
	Fase 0 (2014)	Fase 1 (2019)	Fase 2 (2024)	Fase 3 (2025)
	-	10,00	20,00	30,00

- Cálculo del EEDI del sistema con WHRS y placas solares

Main engine emissions		3.297.294,44	
fj	1,00		
Pme (kW)	7.503,00	LNG	Piloto MDO
Cfme	3,11	2,75	3,206
SFCme	153,42	129,2	3,4
PTO (kW)	-		

Auxiliary engines emissions		319.060,80
Pae (kW)	500,10	
Cfae	3,206	
SFCae*	199,00	

Shaft generators/motors emissions		- 401.647,15
fj	1,00	
Ppti	-	kW
feff	1,00	
Paeff	629,55	kW
Cfae	3,21	3,206
SFCae	199,00	199,00

Efficiency technologies		85.555,28
feff	1,00	
Peff	153,65	kW
Cfme	3,16	
SFCme	176,21	g/kWh

EEDI	5,472			
Reference Line	6,10			
Required	6,10	5,49	4,88	4,27
Estimated index	7,86			
	Fase 0 (2014)	Fase 1 (2019)	Fase 2 (2024)	Fase 3 (2025)
	-	10,00	20,00	30,00