

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Sección de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval

Trabajo de Fin de Grado de
Tecnologías Marinas

**Estudio comparativo de recuperación de
calor de gases de escape de un buque en
puerto**

Presentado por

Jacobo Rodríguez Negrín

Santa Cruz de Tenerife, 20 de septiembre de 2022

AUTORIZACIÓN

Pedro Rivero Rodríguez, Profesor Titular de Universidad del área de conocimiento de Construcciones Navales del Departamento de *Ingeniería Civil, Náutica y Marítima* de la Universidad de La Laguna hace constar que:

Jacobo Rodríguez Negrín, ha realizado bajo mi dirección el trabajo de fin de grado titulado: *Estudio comparativo de recuperación de calor de gases de escape de un buque en puerto.*

Revisado dicho trabajo, estimo que reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que le sea designado.

Para que conste a los efectos oportunos, firmo el presente documento en Santa Cruz de Tenerife, a 16 de septiembre de 2022.

Fdo.: Pedro Rivero Rodríguez
-Tutor del trabajo-

Agradecimientos

Quiero agradecer al profesor Pedro Rivero Rodríguez por su ayuda y apoyo a la hora de llevar a cabo este trabajo de fin de grado. A la tripulación de la cámara de máquinas del buque OPDR CANARIAS, por facilitarme todos los datos e información necesaria para la ejecución de este trabajo. Por último, a mi familia por el apoyo diariamente.

1. Resumen

El Trabajo de Fin de Grado en Tecnologías Marinas está basado en el estudio del buque OPDR CANARIAS, especialmente en el sistema de aceite térmico para realizar los cálculos correspondientes para la instalación de una caldera de gases de escape.

En primer lugar, se describe a que empresa pertenece, la carga que transporta y la ruta comercial que realiza el buque. Luego se describe a donde va a ir enfocado el trabajo de fin de grado.

En segundo lugar, con un análisis de los objetivos, se consigue la recopilación de la información necesaria a bordo del buque. Seguidamente se hace una descripción más detallada de la sala de máquinas, así como de todas las partes principales del buque.

Por último, se describe la caldera de aceite térmico, el tipo de aceite que utiliza, junto con las ventajas y desventajas que tiene esta frente a la caldera de vapor y sus propiedades. Teniendo en cuenta todos los datos, se planteó hacer el cálculo de si existe la posibilidad de la instalación de una caldera de gases de escape tomando los diferentes datos de los motores auxiliares, los cálculos necesarios y la temperatura a la que debe estar el aceite térmico para mantener un rendimiento adecuado cuando se está en puerto.

Abstract

The Final Degree Project in Marine Technologies is based on the study of the ship OPDR CANARIAS, especially in the thermal oil system to carry out the corresponding calculations for the installation of an exhaust gas boiler.

In the first place, it is described to which company it belongs, the cargo it transports and the commercial route that the ship carries out. Then it is described where the final degree project is going to focus.

Secondly, with an analysis of the objectives, the collection of the necessary information on board the ship is achieved. Following is a more detailed description of the engine room, as well as all the main parts of the ship.

Finally, the thermal oil boiler is described, the type of oil it uses, together with the advantages and disadvantages it has compared to the steam boiler and its properties. Taking into account all the data, it was proposed to calculate if there is the possibility of installing an exhaust gas boiler taking the different data of the auxiliary engines, the necessary calculations and the temperature at which the thermal oil should be. to maintain adequate performance when in port.

Índice general

1. Resumen	7
Lista de figuras	13
Lista de tablas	17
2. Revisión y antecedentes	21
3. Objetivos	23
4. Metodología	25
5. Características del buque	31
a. Conceptos generales	31
6. Descripción de la sala de máquinas del buque OPDR CANARIAS	38
a. Local técnico de proa	38
i. Planta séptica	39
ii. Compresores de aire acondicionado	39
iii. Compresores de Gambuza	40
iv. Hidróforos	40
v. Bomba contra-incendios de emergencia	41
vi. Hélice de maniobra de proa	41
b. Local técnico de popa	41
i. Tanque de compensación (HT)	42
ii. Tanque de compensación del sello de bocina	42
iii. Armarios de disparo del sistema de CO ₂	43
iv. Cajón de equipo de bombero	43
v. Servicio de operativa	43
c. Generador de emergencia	44
d. Sistema hidráulico de maquinillas-rampa	44
e. Servo-timón	44
f. Cámara de máquinas	45
i. Tecla superior	46
ii. Tecla inferior	53

7. Sistema de aceite térmico	62
a. Componentes	63
i. Aceite térmico	63
ii. Caldera de aceite térmico	64
iii. Bomba de transferencia HFO/MDO	67
iv. Caldera de recuperación	67
v. Enfriador de aceite térmico	70
vi. Tanque desaireador	71
vii. Bomba de Circulación	72
viii. Tanque de expansión	73
ix. Tanque de Almacén	74
x. Bomba de llenado	74
b. Dispositivos de Seguridad	75
i. Dispositivos de seguridad de la caldera de aceite térmico y caldera de recuperación	75
c. Funcionamiento del sistema	76
i. Ventajas	76
8. Resultados	80
9. Conclusiones	90
10. Bibliografía	92

Índice de figuras

Figura 1: Imagen del buque M/V OPDR CANARIAS.	21
Figure 2: Disposición del sistema de calefacción de tanques de combustible.	26
Figure 3: Curvas de consumo y potencia de los motores auxiliares.	29
Figura 4: Plano del buque M/V OPDR CANARIAS.	32
Figura 5: Superestructura del buque M/V OPDR CANARIAS.	33
Figura 6: Cubierta de pasaje M/V OPDR CANARIAS.	33
Figura 7: Cubierta principal del buque M/V OPDR CANARIAS.	34
Figura 8: Cubierta A del buque M/V OPDR CANARIAS.	35
Figura 9: Cubierta B del buque M/V OPDR CANARIAS.	35
Figura 10: Puente de mando del buque M/V OPDR CANARIAS.	36
Figura 11: Local técnico de proa del buque M/V OPDR CANARIAS.	39
Figura 12: Compresores de aire acondicionado del buque M/V OPDR CANARIAS.	40
Figura 13: Hélice de proa del buque M/V OPDR CANARIAS.	41
Figura 14: Local técnico de popa del buque M/V OPDR CANARIAS.	42
Figura 15: Tanque de HT del buque M/V OPDR CANARIAS.	42
Figura 16: Tanque compensación de bocina del buque M/V OPDR CANARIAS. ...	43
Figura 17: Generador de emergencia del buque M/V OPDR CANARIAS.	44
Figura 18: Servo-timón del buque M/V OPDR CANARIAS.	45
Figura 19: Cámara de máquinas del buque M/V OPDR CANARIAS.	48
Figura 20: Consumo del buque M/V OPDR CANARIAS.	46
Figura 21: Cuadro de acoplamiento del buque M/V OPDR CANARIAS.	47
Figura 22: Cuadro del cola del buque M/V OPDR CANARIAS.	47
Figura 23: Control de máquinas del buque M/V OPDR CANARIAS.	48
Figura 24: Cámara de auxiliares del buque M/V OPDR CANARIAS.	49
Figura 25: Cuarto de depuradoras del buque M/V OPDR CANARIAS.	50
Figura 26: Módulo de combustible del buque M/V OPDR CANARIAS.	50
Figura 27: Sistema de aire comprimido del buque M/V OPDR CANARIAS.	51

Figura 28: Sistema de aire de servicio del buque M/V OPDR CANARIAS	52
Figura 29: Generador de agua del buque M/V OPDR CANARIAS.....	52
Figura 30: Enfriador de HT del buque M/V OPDR CANARIAS.....	53
Figura 31: Bomba de alimentación de la depuradora de fueloil del buque M/V OPDR CANARIAS.....	54
Figura 32: Bomba de servicio generales del buque M/V OPDR CANARIAS.....	54
Figura 33: Bomba de contra incendios del buque M/V OPDR CANARIAS.....	55
Figura 34: Bomba de lastre del buque M/V OPDR CANARIAS.....	55
Figura 35: Bombas de agua salada del buque M/V OPDR CANARIAS.....	56
Figura 36: Bomba de trasiego de F.O y gasoil del buque M/V OPDR CANARIAS....	56
Figura 37: Bomba de trasiego de lodos del buque M/V OPDR CANARIAS.....	57
Figura 38: Bomba de sentina del buque M/V OPDR CANARIAS.....	57
Figura 39: Enfriador de baja temperatura (LT) del buque M/V OPDR CANARIAS..	58
Figura 40: Bomba del evaporador del buque M/V OPDR CANARIAS.....	58
Figura 41: Los fondos del buque M/V OPDR CANARIAS.....	59
Figura 42: Motor principal del buque M/V OPDR CANARIAS	59
Figura 43: Sistema hidráulico de CPP del buque M/V OPDR CANARIAS.....	60
Figura 44: Esquema de sistema de aceite térmico	62
Figura 45: Caldera de aceite térmico.....	64
Figura 46: Esquema de Caldera mechero.....	65
Figura 47: Mantenimiento de la caldera.....	66
Figura 48: Caldera de recuperación.....	68
Figura 49: Limpieza de caldera de recuperación.....	70
Figura 50: Enfriador de aceite térmico	71
Figura 51: Tanque desaireador	71
Figura 52: Bomba de circulación	72

Figura 53: Tanque de expansión	73
Figura 54: Tanque de almacén	74
Figura 55: Diagrama de consumo y carga del motor auxiliar MAN D2842 LE301...	81
Figura 56: Diagrama de potencia y carga del motor auxiliar MAN D2842 LE301...	81

Índice de tablas

Tabla 1: Características nominales de los MMAA en función de la carga.	28
Tabla 2: Datos del buque M/V OPDR CANARIAS.	31
Tabla 3: Referencias del plano del buque M/V OPDR CANARIAS	32
Tabla 4: Características de los motores auxiliares del buque M/V OPDR CANARIAS.	49
Tabla 5: Características del motor principal del buque M/V OPDR CANARIAS.	60
Tabla 6: Características de la caldera de aceite térmico.	64
Tabla 7: Características de la Bomba de transferencia.	67
Tabla 8: Características de la caldera de recuperación.	68
Tabla 9: Características del enfriador.	70
Tabla 10: Características de la bomba de circulación	72
Tabla 11: Características del tanque de expansión.	73
Tabla 12: Características de la bomba de llenado.	74
Tabla 13: Características nominales de los MMAA en función de la carga.	80
Tabla 14: Datos del quemador	82
Tabla 15: Tiempo de funcionamiento del quemador	82
Tabla 16: Consumo del quemador	83
Tabla 17: Costo del consumo.	83
Tabla 18: Costo del consumo mínimo anual.	84
Tabla 19: Costo del consumo medio anual.	84
Tabla 20: Costo del consumo máximo anual	84
Tabla 21: Resultados finales.	88

Simbología

M/V: Motor Vessel.

HT: High temperature.

LT: Low temperature.

ERA: Equipo de respiración autónoma.

CPP: Controllable pitch propeller.

2. Revisión y antecedentes

Durante mi etapa de alumno he tenido la suerte de embarcarme a bordo del buque M/V OPDR CANARIAS que pertenece a la empresa prestigiosa BERNHARD SCHULTE CANARIAS, S.A.U. El tipo de buque corresponde a RO/RO container, diseñado para transportar carga rodada y contenedores. Este buque se dedica a transportar en su bodega remolques frigoríficos, así como cualquier maquinaria pesada, vehículos, etc. En su cubierta principal, cualquier tipo de carga en contenedores, como cargas peligrosas.

A su vez, la empresa cuenta con otro buque gemelo, llamado M/V OPDR ANDALUCIA, que junto a el M/V OPDR CANARIAS realizan la ruta comercial entre Canarias y Sevilla. Estos buques pertenecen a la sociedad clasificadora de la Germanisher Lloyd, tienen bandera española y están registrados en el puerto de Santa Cruz de Tenerife, en el registro especial. (Tabla 1)

En cuanto a los diferentes equipos que componen la cámara máquinas, me llamó la atención el sistema de calentamiento mediante aceite térmico. Debido a que lo normal en los buques con fuel en los que he navegado, trabajan con caldera de vapor.

Por lo tanto, en este trabajo de fin de grado describiré el buque y sus diferentes equipos, pero me centrare en un estudio más detallado del sistema de aceite térmico. De esta forma, se estudiará si existe la posibilidad de instalar una caldera para recuperar el calor de los motores auxiliares, evitando así tener que arrancar la caldera de aceite térmico en puerto. Se realizarán los cálculos correspondientes con la intención de comprobar si esta instalación es viable y existe la posibilidad de instalar una caldera de gases de escape.



Figura 1: Imagen del buque M/V OPDR CANARIAS

Fuente: [6]

3. Objetivos

Los objetivos generales que podemos destacar en este trabajo son:

- Identificar las diferentes zonas del buque.
- Ampliar conocimientos sobre los diferentes equipos de los que está compuesta la cámara de máquinas de un buque RO-RO.
- Revisar las características de distintas calderas de recuperación.

En cuanto a los objetivos específicos:

- Ampliación de conocimientos sobre el funcionamiento de un sistema de aceite térmico a bordo de un buque.
- Analizar las demandas térmicas del buque en puerto.
- Estudiar alternativas para cubrir dichas demandas térmicas.
- Comprobar si existe una solución válida, tanto técnica como económicamente.

4. Metodología

A continuación, se plantea el proceso de análisis desarrollado para cumplir los objetivos específicos de este trabajo. Se pretende determinar la viabilidad de recuperar el calor de los gases de combustión de los motores auxiliares para generar aceite térmico que cubra las demandas del buque en puerto. Para ello, se parte de la determinación de las demandas térmicas del buque en puerto, para luego calcular la producción térmica de la actual caldera de aceite térmico. Posteriormente se estudia el calor generado por los gases de escape de los motores auxiliares en puerto, analizando su régimen óptimo de funcionamiento. De la comparación entre las demandas y la producción, se deducirá la viabilidad de la idea que se propone. Se determinan también los costes de combustible asociados al funcionamiento de la actual caldera de aceite térmico y los del sistema propuesto de recuperación de calor de los motores auxiliares.

3.1 Determinación de las demandas térmicas del buque en puerto

Para el cálculo de estas demandas térmicas se ha tenido en cuenta los consumidores más significativos, que son los correspondientes a calefacción de tanques de fueloil de:

- servicio diario
- decantación
- almacén

Para cada uno de estos sistemas se ha determinado su demanda térmica haciendo uso de las siguientes expresiones:

$$q_i^{tk} = m_i c_c^e (t_c^f - t_c^i) \quad (1)$$

q_i^{tk} : calor necesario para elevar la temperatura del tanque i desde t_c^f hasta t_c^i , en kJ

m_i : masa de combustible almacenada en el tanque correspondiente, kg
 c_c^e : calor específico del combustible almacenado en los tanques calefactados, $kJ/kg^{\circ}C$

t_c^f : temperatura final de calentamiento del tanque, $^{\circ}C$

t_c^i : temperatura inicial de calentamiento del tanque, $^{\circ}C$

La demanda térmica total se calculará sumando las correspondientes a todos los tanques, de forma que:

$$q_{tot}^{tk} = \sum_i q_i^{tk} \quad (2)$$

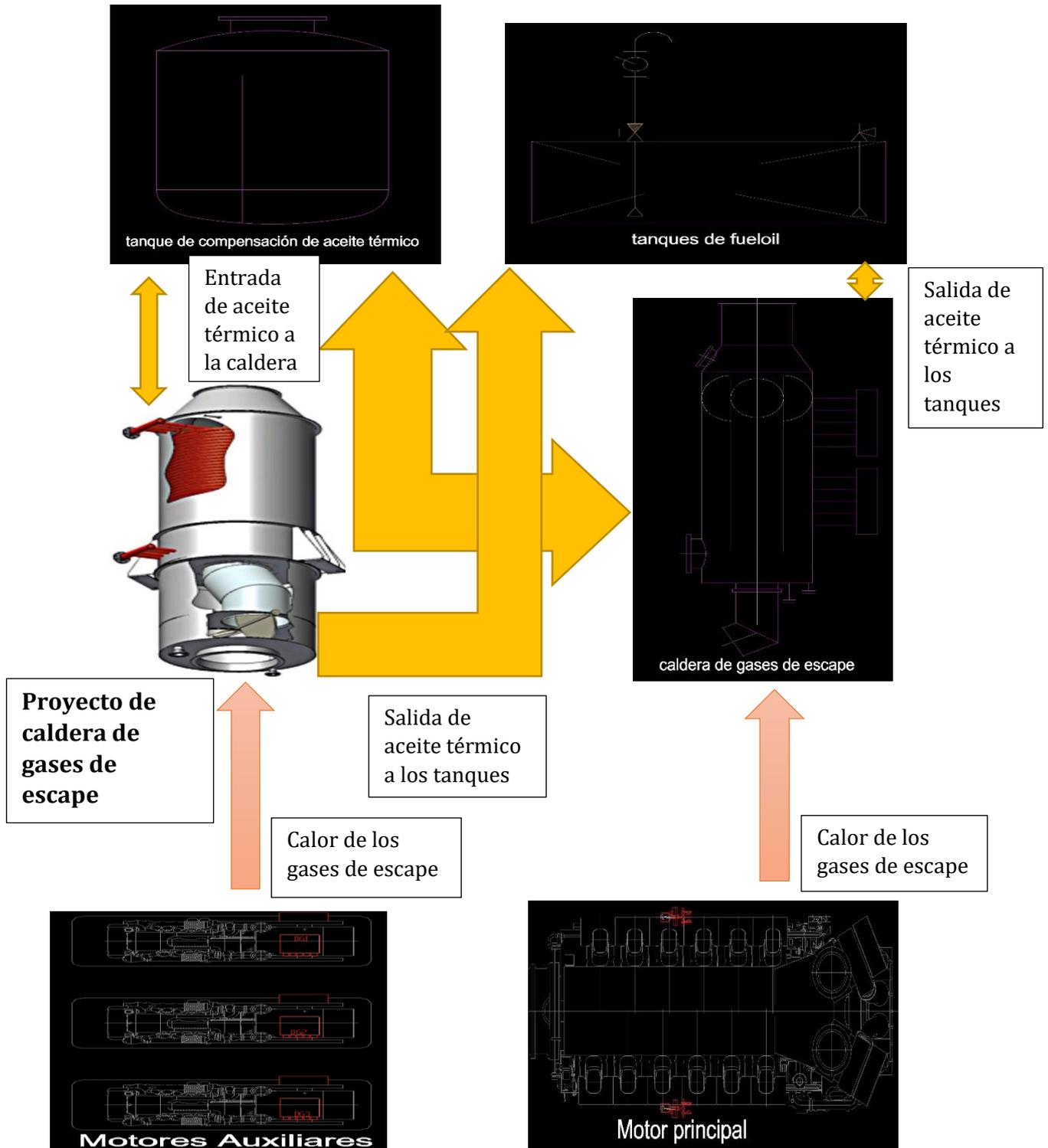


Figure 2: Disposición del sistema de calefacción de tanques de combustible
Fuente: [6]

q_{tot}^{tk} : calor necesario para elevar la temperatura de todos los tanques considerados, en kJ

Finalmente, para determinar la potencia térmica necesaria para el calentamiento de los tanques, se divide esta cantidad por el tiempo requerido para elevar la temperatura en el rango especificado. Así, quedará:

$$q_{tot}^{tk} = \frac{q_{tot}^{tk}}{3600T_{tk}} \quad (3)$$

q_{tot}^{tk} : potencia térmica necesaria, en kW

T_{tk} : tiempo requerido para el calentamiento de los tanques entre las temperaturas especificadas, en h

3.2 Obtención de la potencia térmica de la caldera de aceite térmico

Para determinar la potencia térmica disponible en la caldera auxiliar en puerto mediante el uso de un quemador de combustible, se plantea la siguiente expresión:

$$\dot{q}_{at} = \dot{m}_{ac} c_{ac}^e (t_s^{ac} - t_e^{ac}) \quad (4)$$

\dot{m}_{ac} : caudal másico de aceite térmico producido por la caldera, en kg/s . Este caudal másico puede obtenerse a través del caudal volumétrico, que es el dato disponible a bordo:

$$\dot{m}_{ac} = \rho_{ac} \dot{v}_{ac} \quad (5)$$

ρ_{ac} : densidad del aceite térmico, en kg/m^3

\dot{v}_{ac} : caudal volumétrico del aceite térmico, en m^3/kg

c_{ac}^e : calor específico del aceite térmico, $kJ/kg^{\circ}C$

t_s^{ac} : temperatura del aceite térmico a la salida de la caldera, $^{\circ}C$

t_e^{ac} : temperatura del aceite térmico de retorno a la entrada a la caldera, $^{\circ}C$

\dot{q}_{at} : potencia térmica producida por la caldera de aceite térmico, calentando el aceite desde la temperatura t_e^{ac} hasta t_s^{ac} , en kJ

Por otra parte, se puede obtener el caudal de combustible empleado por la caldera de aceite térmico de la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{com}^{at} = \frac{\dot{q}_{at}}{\Phi_{at} q_{pci}} \quad (6)$$

\dot{m}_{com}^{at} : caudal másico de combustible consumido por la caldera de aceite térmico, en kg/s

q_{pci} : poder calorífico del combustible que quema la caldera de aceite térmico, en kJ/kg

Φ_{at} : rendimiento de la caldera de aceite térmico, en tanto por uno, que se estima en 0,85

3.3 Potencia térmica disponible de los motores auxiliares en puerto en función de la carga

Para determinar la potencia térmica disponible en los gases de escape de cada motor auxiliar en puerto, se recurre a sus datos nominales [cita del manual de instrucciones]. La información más destacable de interés para este trabajo es la que se recoge en la tabla 1.

Carga %	Consumo específico g/kWh	Potencia el. kW	Potencia térm. kWt
50	216	341	180
75	217	511,5	270
100	225	682	360

Table 1: Características nominales de los MMAA en función de la carga

En dicha tabla, y a falta de otra información, se ha determinado la potencia eléctrica y la potencia térmica recuperable de los gases de combustión a distintas cargas, considerando una variación lineal respecto al 100%, es decir:

$$P_{n\%}^{ter} = \frac{n}{100} P_{100\%}^{ter} \quad (7)$$

n : porcentaje de carga considerado (%), que oscila entre 50 y 100%

$P_{n\%}^{ter}$: potencia térmica calculada para la carga $n\%$, en kW.

$P_{100\%}^{ter}$: potencia térmica nominal al 100% de carga, en kW.

Para determinar la potencia térmica total disponible se deberá considerar el número de motores auxiliares en servicio en ese momento, considerándose que se repartirán la carga por igual:

$$P_{tot}^{ter} = k P_{n\%}^{ter} \quad (8)$$

k : número de motores auxiliares en funcionamiento

P_{tot}^{ter} : potencia térmica total de los motores auxiliares en servicio, para la carga $n\%$, en kW.

Determinación de la carga óptima de funcionamiento de los motores auxiliares

Si se comprobara que $P_{tot}^{ter} > \dot{q}_{tot}$, ser a necesario determinar el valor de n que optimiza el funcionamiento de la instalación, es decir, aquel que hace que el consumo de combustible sea mínimo (mínimo consumo específico, fig.2).

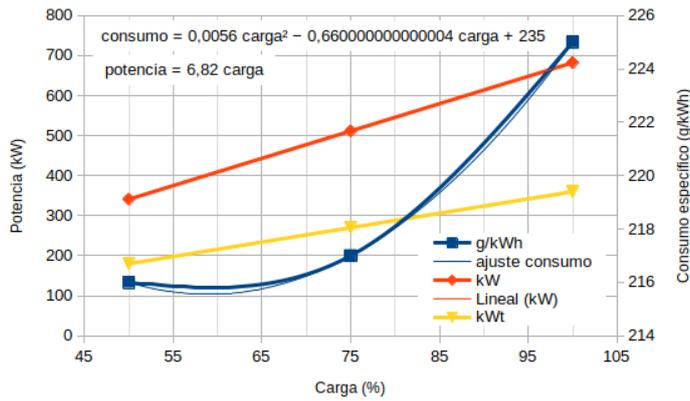


Figure 3: Curvas de consumo y potencia de los motores auxiliares
Fuente: elaboración propia

Para ello, y haciendo uso de los datos de la tabla 1, puede obtenerse en hoja de cálculo la función de ajuste que relaciona carga con consumo específico:

$$c_{com}^e = 0,0056 n^2 - 0,66 n + 235 \quad (9)$$

c_{com}^e : consumo específico de combustible, en g/kWh

Además, puede determinarse el valor que hace óptimo este consumo específico, realizando la primera derivada:

$$\frac{d(c_{com}^e)}{d(n)} = 0,0112 n - 0,66 \quad (10)$$

Para obtener el valor que minimiza el consumo específico, se iguala a cero la deriva primera:

$$0,0112 n - 0,66 = 0 \quad (11)$$

$$n = \frac{0,66}{0,0112} = 58,92 \% \quad (12)$$

Se comprueba que la derivada segunda es positiva,

$$\frac{d^2(c_{com}^e)}{d(n)^2} = 0,0112 \quad (13)$$

por lo que el valor que anula la derivada primera es el mínimo de la función, es decir, la carga a la que se consigue el mínimo consumo específico.

Por otro lado, la potencia eléctrica que se obtiene del grupo moto-generador se determina, partiendo de los datos nominales y haciendo uso de las herramientas disponibles en hoja de cálculo, como:

$$P_{ma}^{el} = 6,82 n \quad (14)$$

Determinación de costes de operación

Se considerará únicamente el coste de combustible como coste de operación. Este coste total de combustible se establece partiendo del precio del combustible diésel y del consumo específico de combustible de los motores auxiliares.

$$C_{com}^{mmaa} = \frac{1000 p_{com}^{vol}}{p_{com}} \frac{c_{com}^e}{1000} K P_{n\%}^{el} T_{ma} \quad (15)$$

$$= \frac{p_{com}^{vol}}{p_{com}} c_{com}^e K P_{n\%}^{el} T_{ma} \quad (16)$$

C_{com}^{mmaa} : Coste total de combustible de los motores auxiliares a la carga $n\%$ para un tiempo de funcionamiento T_{ma} en *Euro*

p_{com}^{vol} : precio del combustible en unidades de volumen, en *Euro*

$P_{n\%}^{el}$: potencia eléctrica del grupo auxiliar, a la carga $n\%$, en *kW*

T_{ma} : tiempo de funcionamiento de los motores auxiliares, en *h*

Además, se usará el consumo de combustible de la caldera de aceite térmico como punto de comparación de los dos escenarios (recuperación de gases de los motores auxiliares en puerto, frente a caldera de aceite térmico). Se puede calcular el coste de combustible equivalente de la caldera de aceite térmico con la expresión:

$$C_{com}^{at} = \dot{m}_{com}^{at} \frac{1000 p_{com}^{vol}}{p_{com}} 3600 T_{at} \quad (17)$$

C_{com}^{at} : Coste total de combustible de la caldera de aceite térmico, para un tiempo de funcionamiento T_{at} , en *Euro*

T_{at} : tiempo de funcionamiento de la caldera de aceite térmico, en *h*

5. Características del buque

5.1. Conceptos generales

El M/V OPDR CANARIAS, con número de IMO 9331191, fue construido en los astilleros Mawei Shipyard en China. Pertenece a la sociedad clasificadora de la Germanisher Lloyd, es de bandera española y está registrado en el puerto de Santa Cruz de Tenerife, en el registro especial.

El casco del buque es de acero con un bulbo a proa y dos hélices transversales, una a proa y otra a popa para poder realizar las maniobras de atraque en puerto. Tiene una sola hélice de paso variable junto con un solo timón. (Ver tabla 1).

Durante el último paso del buque por el astillero, éste cambió de nombre. Ahora llamándose “Canarias express”, sustituyendo su nombre anterior “OPDR Canarias”. Al igual que su gemelo “Andalucía express”, siendo su nombre anterior “OPDR Andalucía”. [1]

Principales detalles del buque Especificaciones

Nombre:	M/V OPDR CANARIAS
Numero de IMO:	9331191
Bandera:	Española
Registro:	Registro especial
Puerto de registro:	Santa Cruz de Tenerife
Sociedad clasificadora:	Germanisher Lloyd
Tipo de buque:	RO-RO Container
Fecha de construcción:	21/12/2006
Astillero de construcción:	Fujian Mawei Shipyard (China)
Distintivo de llamada:	ECKY
Eslora total:	145 metros
Eslora entre perpendiculares:	136,7 metros
Manga:	22 metros
Puntal:	13,9 metros
Casco:	Hull n” VMW 433-1
Tonelaje bruto:	11.197 Tn
Tonelaje neto:	3.359 Tn
Desplazamiento máximo:	12.658 Tn
Peso muerto:	7.238 Tn
Calado de verano:	6,013 metros
Cadena de ancla:	10 grilletes (1 grillete=27,5metros)

Tabla 2: Datos del buque M/V OPDR CANARIAS

La tripulación está formada por 16 personas a bordo, donde se divide en personal de puente, máquinas, marinería y fonda. En el puente se encuentra, el Capitán, primer oficial, segundo oficial y el alumno de puente. Seguidamente, en la máquina tenemos, al jefe de máquina, primer oficial, mecánico, electricista y el alumno de máquina. Luego, en la marinería están, el contraamaestre junto con cuatro marineros. Y, por último, en la fonda, el cocinero y el camarero.

Este buque se divide de la siguiente manera: a proa está la superestructura (1), luego un poco más a popa está la cubierta principal (6). Seguidamente, debajo de la cubierta principal se tiene, la bodega principal (3) y el bodeguín (4). Y, finalmente, a popa del buque, la cámara de máquinas (8) (Ver figura 4).

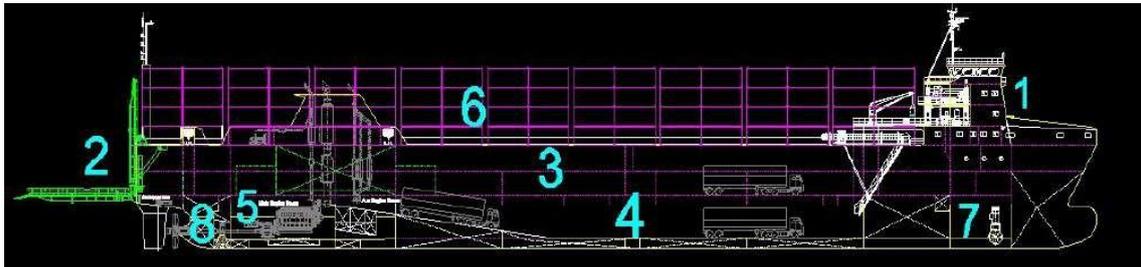


Figura 4: Plano del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

Referencias del plano del buque	Numeración
Superestructura	1
Rampa de popa	2
Bodega principal	3
Bodeguín	4
Hélice de maniobra de popa	5
Cubierta principal	6
Hélice de maniobra de proa	7
Cámara de máquinas	8

Tabla 3: Referencias del plano del buque M/V OPDR CANARIAS

En la bodega principal, para poder realizar la entrada de la carga rodada, el buque cuenta con una rampa de popa (2). Con ello la carga entra a la bodega principal y puede dirigirse a tres lugares. Primero, al bodeguín, abriendo las tapas móviles y bajando por medio de una rampa interior. Segundo, a la bodega principal, cerrando las tapas y dirigiéndose al fondo de la bodega. Tercero, con la ayuda de un ascensor, se sube a la cubierta principal. Donde también se cargan contenedores con la ayuda de las grúas de puerto.

En cuanto a la Superestructura, está formada por un local técnico que se encuentra en la parte inferior de la misma. Incluye cuatro cubiertas halladas en la parte superior y en lo más alto del puente de mando. (Ver figura 5)

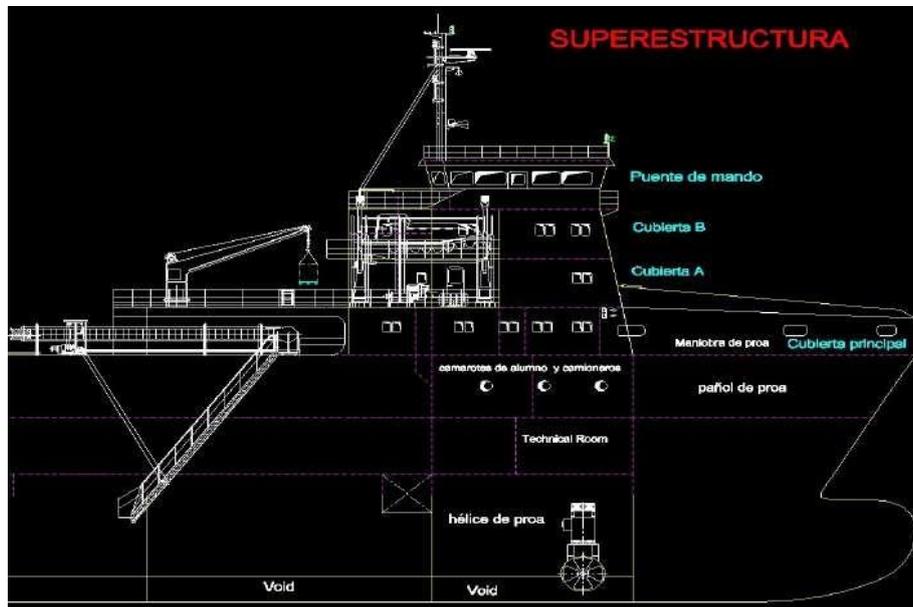


Figura 5: Superestructura del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

La primera cubierta, en orden ascendente, es la cubierta de pasaje. Allí se habilitan los camarotes de los alumnos, para conductores; lavandería; vestuario para marineros; y también dispone de un pequeño gimnasio. (Figura 6)

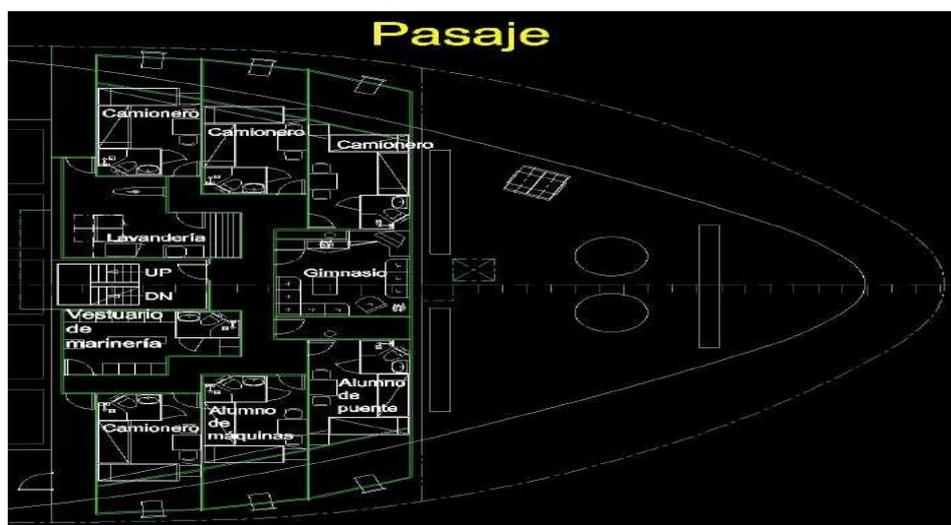


Figura 6: Cubierta de pasaje M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

Respecto a la segunda cubierta (o cubierta principal en el lado de babor entrando por la parte exterior a la superestructura) está el pañol de la pintura, y, en la parte interior, se encuentra la cocina, la gambuza, el pañol de la comida, el pañol de limpieza y el pañol de la ropa de trabajo junto con los EPI'S. Seguidamente, hay tres comedores. Uno está a babor de la cocina, donde se sirve a conductores o empresas de mantenimiento de tierra. Los otros dos comedores restantes, se ubican a estribor; uno más a popa, para la marinería, camarero y cocinero; y, el más a proa para capitán, jefe, oficiales y alumnos a bordo. Estos dos salones también están equipados con una zona de ocio para las horas de descanso de la tripulación a bordo. Por último, a la salida de los dos salones hay un aseo de uso general. (Figura 7)

Los otros dos comedores restantes, se ubican a estribor; uno más a popa, para la marinería, camarero y cocinero; y, el más a proa para capitán, jefe, oficiales y alumnos a bordo. Estos dos salones también están equipados con una zona de ocio para las horas de descanso de la tripulación a bordo. Por último, a la salida de los dos salones hay un aseo de uso general. (Figura 7)

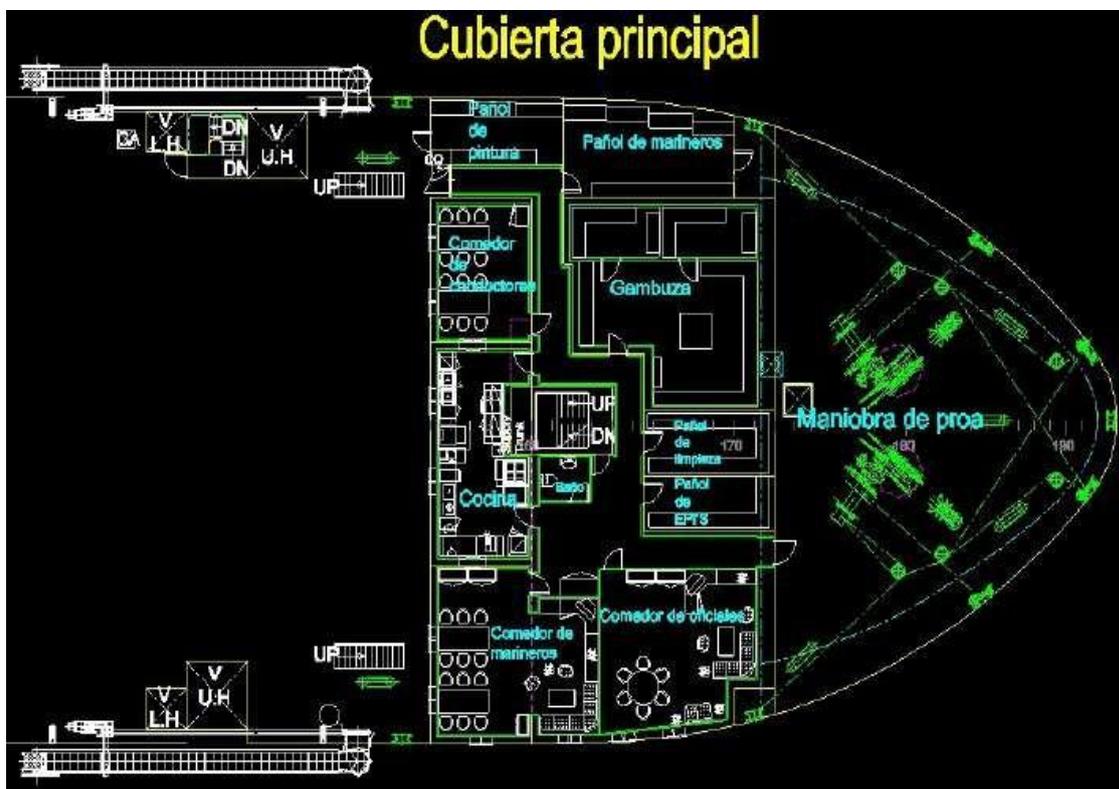


Figura 7: Cubierta principal del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

En la tercera cubierta (o cubierta A de la superestructura), podemos encontrar los camarotes de los marineros, el local del aire acondicionado y el hospital. En la parte exterior tenemos el bote de rescate, el punto de reunión y la grúa para subir la provisión a bordo (Figura 8).

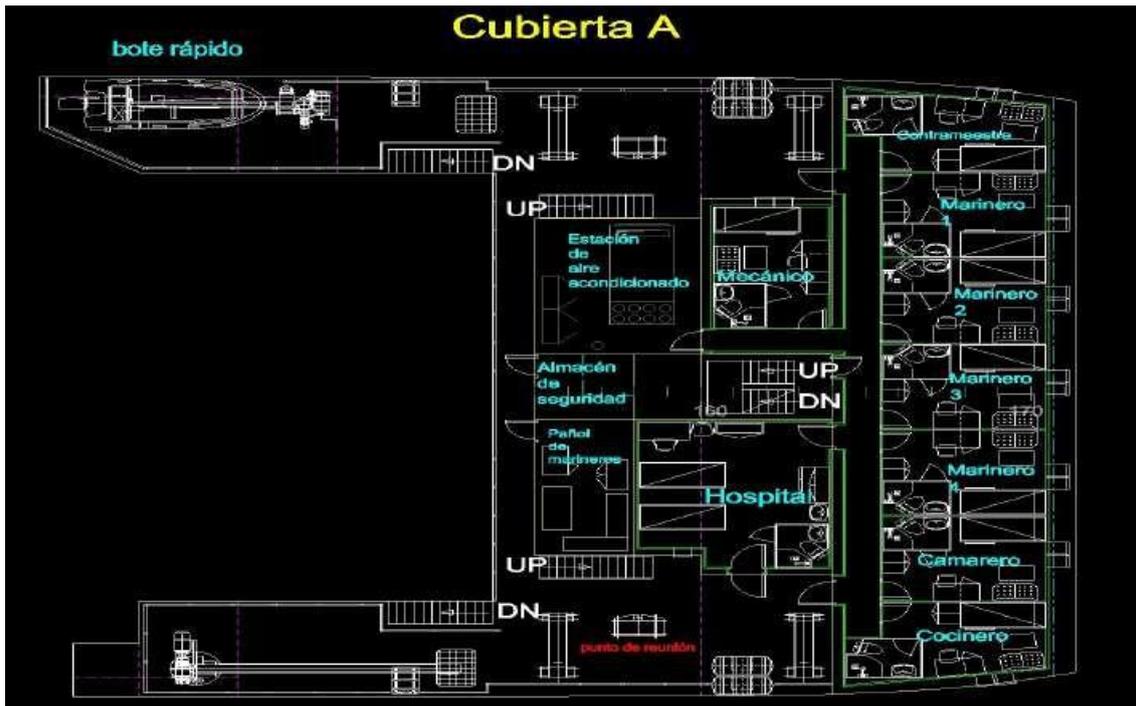


Figura 8: Cubierta A del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

A continuación, en la cuarta cubierta (o cubierta B de la superestructura), se albergan los camarotes del capitán, jefe de máquinas, oficiales y mecánico. También tiene una sala de reunión, y los dos botes de rescate se localizan en el exterior, uno a cada banda. (Figura 9)



Figura 9: Cubierta B del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

Finalmente, en la última cubierta de la superestructura, está situado el puente de mando, con toda la instrumentación náutica y los equipos necesarios para la navegación. (Figura 10)



Figura 10: Puente de mando del buque M/V OPDR CANARIAS

Fuente: [6]

6. Descripción de la sala de máquinas del buque OPDR CANARIAS

El buque cuenta con diferentes locales de equipos en su parte exterior, donde podemos encontrar: el local técnico de proa; el local técnico de popa; y el motor de emergencia junto con los equipos hidráulicos.

- a) En el local técnico de proa hay diferentes equipos, como pueden ser: planta de tratamiento de aguas residuales, equipos de aire acondicionado y gambuzas, hidróforos, bomba contra incendios, y hélice de maniobra de proa.
- b) En cambio, en el local técnico de popa se halla: el tanque de compensación de agua de alta temperatura HT, el tanque de aceite de bocina, diferentes locales de CO₂ para la sala de máquinas, y un baño para la tripulación cuando se encuentra trabajando en la operación del buque.
- c) El motor de emergencia se encuentra en la cubierta superior en la banda de estribor. En cuanto a los sistemas hidráulicos del buque, se dispone de maquinillas de maniobra a proa y popa, junto con el servo-timón.

La cámara de máquinas del buque M/V OPDR Canarias está situado en la parte de popa. Para poder acceder a ella, se hace a través del tronco de escalera que se encuentra en el passwey, bajando por el guarda calor de los motores auxiliares.

6.1. Local técnico de proa

El local técnico de proa se localiza justo debajo de la cubierta de pasaje donde se alojan los camioneros y los alumnos. En él podemos dar con los diferentes equipos esenciales para la vida a bordo y para las maniobras de atraque. (Figura 11)

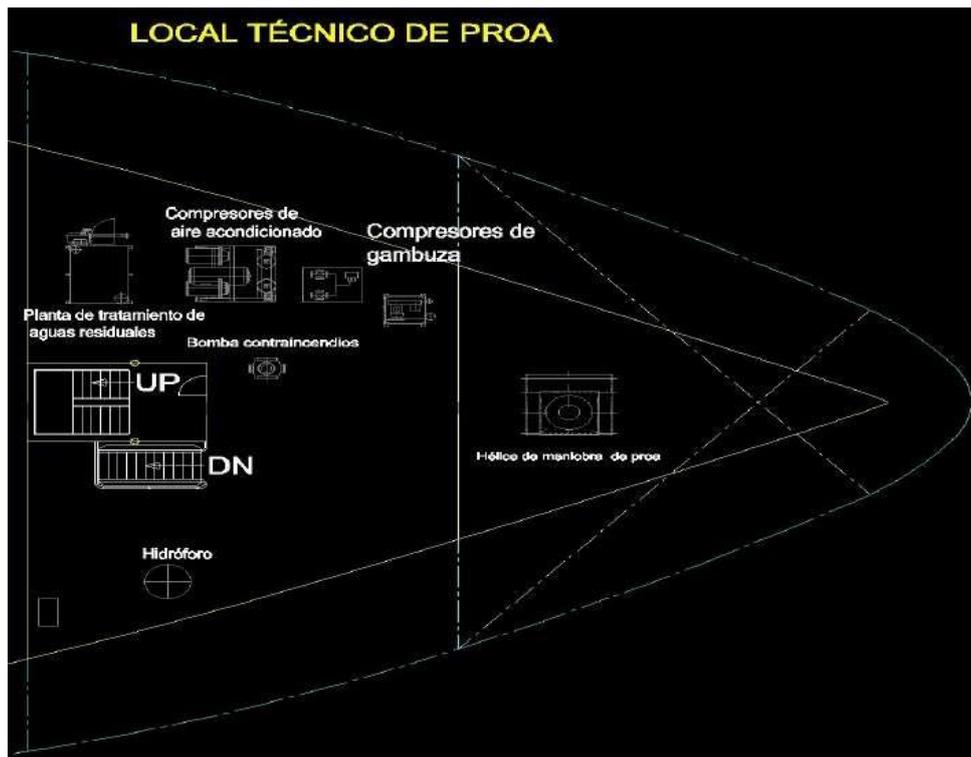


Figura 11: Local técnico de proa del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.1.1. Planta séptica

Referente a la planta séptica, allí tiene lugar el envío de las aguas grises de los diferentes baños. Está dividida en tres tanques: el primero, de aireación; el segundo, de decantación; y, en el tercero, se le aplica al agua un tratamiento a base de cloro. La unidad cuenta con un compresor y una bomba propias.

6.1.2. Compresores de aire acondicionado

El sistema de climatización de la habitación consta de una planta frigorífica compuesta por dos compresores conectados en paralelo de 152 kW de capacidad frigorífica. El gas refrigerante de la planta frigorífica es R-404. El aire frío producido es mandado a la habitación mediante un ventilador. El condensador de fluido refrigerante de la planta de frío es refrigerado por el sistema de agua dulce de refrigeración LT. (Figura 12)



Figura 12: Compresores de aire acondicionado del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.1.3. Compresores de Gambuza

Los compresores de gambuza son dos: uno de respeto, y otro en funcionamiento, que se alternan cada mes. Trabajan con un motor eléctrico acoplado mediante un sistema de correas. El motor eléctrico tiene una potencia de 6,6 kW. El gas refrigerante que se utiliza es R-488-A.

6.1.4. Hidróforos

Podemos encontrar dos tipos de hidróforos: uno de agua fría, y otro con una resistencia para el agua caliente. El hidróforo cuenta con dos bombas multi-etapas con una potencia de 3,6 kW. A su vez, cada hidróforo tiene una válvula de seguridad tarada a 6,5 bar, y, semanalmente, se realiza una revisión de aire y agua junto con el cambio de bombas de trabajo.

6.1.5. Bomba contra-incendios de emergencia

La bomba contra-incendios cuenta con una potencia de 51 kW a 440 voltios. Todos los fines de semana se hace un arranque para su prueba y mantenimiento. También se utiliza para achicar el pocete de proa.

6.1.6. Hélice de maniobra de proa

El buque cuenta con dos hélices de maniobra (una a proa y otra a popa), localizadas en la cámara de máquinas a popa del motor principal. La hélice de proa se diferencia de la de popa en que tiene mayor potencia debido a que necesita mayor potencia para despegar el buque de puerto. Además, tienen un gran consumo eléctrico, y se alimentan del generador de cola. (Figura 13)



Figura 13: Hélice de proa del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.2. Local técnico de popa

El local técnico de popa se encuentra en el pasillo corredor de estribor, justo antes de bajar a la bodega. En el podemos conseguir diferentes tanques y equipos para la cámara de máquinas, como pueden ser: (Figura 14)



Figura 14: Local técnico de popa del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.2.1. Tanque de compensación (HT)

El tanque de compensación (HT), es un tanque de agua dulce de refrigeración del motor principal de la parte de alta temperatura. Es un tanque que se mira su nivel en la ronda diaria para ver si existe posibles pérdidas. Siempre lo llevamos al nivel de 550 litros. (Figura 15)



Figura 15: Tanque de HT del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.2.2. Tanque de compensación del sello de bocina

Es un tanque de aceite que también se mira en la ronda diaria donde su función es mantener el nivel para lubricar la parte del sello de la bocina. (Figura 16)



Figura 16: Tanque compensación de bocina del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.2.3. Armario de disparo del sistema de CO₂

Es un armario donde se alojan las válvulas del disparo de CO_2 de diferentes zonas de la cámara de máquinas como son: zona de motor principal, zona de motores auxiliares.

6.2.4. Cajón de equipo de bombero

En este local también se aloja un traje de bombero con un equipo de respiración autónoma (ERA), en el cual se utiliza para una vez sofocado el fuego con CO_2 poder intervenir para valorar y ver el estado en que ha quedado la cámara de máquinas.

6.2.5. Servicio de operativa

Es un baño que se encuentra muy bien ubicado, ya que se utiliza mucho en las operativas de carga y descarga tanto para los operarios de cubierta como los de la bodega.

6.3. Generador de emergencia

El generador de emergencia es un motor diésel de 4 tiempos, de 6 cilindros en línea de la marca SISUDIESEL. Tiene un arranque mediante baterías y otro con un sistema de arranque manual por si fallan las baterías. En cuanto a su refrigeración, se basa en un circuito cerrado de agua dulce, que es refrigerado por aire a través de un radiador junto con su ventilador correspondiente. Todos los domingos se le hace un arranque junto con su revisión de niveles. (Figura 17)



Figura 17: Generador de emergencia del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.4. Sistema hidráulico de maquinillas-rampa

La hidráulica de las maquinillas tanto de proa como de popa está compuesta por un tanque de compensación junto con sus dos bombas correspondientes para hacer girar a ambas maquinillas. También tiene un tanque de almacén de aceite para su correspondiente relleno.

Por otro lado, tanto en la rampa como en el ascensor, tiene las mismas bombas que utiliza el sistema de hidráulica que en las maquinillas, pero este cuenta con un grupo completo.

6.5. Servo-timón

El servo-timón es el encargado de dirigir la pala del timón, su funcionamiento se basa en recibir señales emitidas desde el puente de mando a través del tele motor y a su vez mandar una señal a los motores hidráulicos del servo para que muevan la pala del timón. El tiempo de reacción del timón es de 25 a 30 segundos.

El sistema hidráulico está compuesto por: dos bombas, dos pistones hidráulicos de doble acción, una cruceta del pistón y otra del timón junto con la chumacera de apoyo. (Figura 18)



Figura 18: Servo-timón del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.6. Cámara de máquinas

La cámara de máquinas se divide en dos pisos donde el piso superior lo llamamos tecele superior que es donde se encuentra la mayoría de los equipos y el piso inferior lo llamamos tecele inferior que es donde se encuentra la parte baja del motor principal. (Figura 19)



Figura 19: Cámara de máquinas del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.6.1. Tecele superior

En el tecele superior tenemos: la cabina de control de máquinas, la sala de motores auxiliares, local de depuradoras, sala de motor principal y los diferentes equipos.

6.6.1.1. Cabina de control

En la cabina de control es donde controlamos todos los parámetros principales de la cámara de máquinas. Dentro se divide en varias zonas como pueden ser:

Zona de trasiego y achique: Tenemos un cuadro donde están los diferentes trasiegos y otro cuadro donde se realiza los achiques. En el cuadro de trasiego se refleja dos tanques de almacén de fueloil, que se trasiega a dos tanques de sedimentación que a su vez se depura para un único tanque de diario. En cuanto a los tanques de gasoil, cuenta con dos almacenes que se trasiega y depura a dos de servicio de diario.

El consumo de combustible a bordo se realiza normalmente cada tres semanas, tanto en el puerto de SC de Tenerife como en el puerto de Las Palmas de Gran Canaria. El consumo por viaje es de 52 toneladas en fueloil y unas 5 toneladas en gasoil. El viaje comienza de Sevilla a Tenerife donde vamos con dos auxiliares a parte del generador de cola. En cambio, una vez de Tenerife a Las Palmas de Gran Canaria y luego a Sevilla vamos sin auxiliares, por lo tanto, en la navegación de retorno es cuando no llevamos auxiliares.

Las cantidades que se piden para hacer consumo oscila entre 290 toneladas a 300 toneladas de fueloil, en cambio de gasoil es de 20 a 30 toneladas. Cada tres semanas realizamos consumo. (Figura 20)

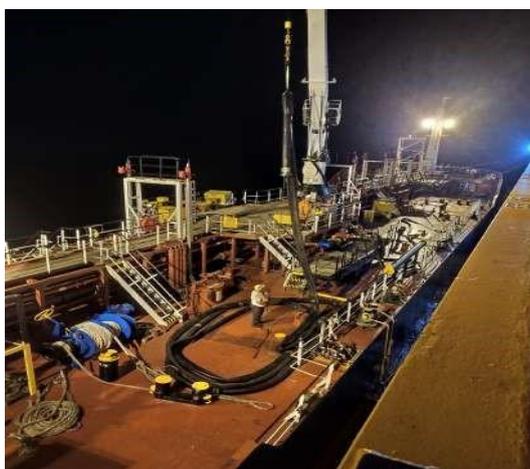


Figura 20: Consumo del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

Dentro del mismo cuadro de trasiego también tenemos los dos tanques de almacén de agua dulce generada por el evaporador.

En cambio, en el cuadro de achique están los diferentes pocetes que se pueden achicar tanto de la bodega como del bodeguín. Se suele realizar un achique diario después de haber cargado la mercancía en ambas bodegas.

Zona de cuadros eléctricos: Cuenta con diferentes cuadros eléctricos, que van desde un lateral de la cabina hacia el otro. En el centro tenemos por un lado los cuadros de los tres auxiliares y por otro, el cuadro del generador de cola. En medio de los dos tenemos un cuadro de acoplamiento que es muy importante debido a que divide los dos lados. (Figura 21)



Figura 21: Cuadro de acoplamiento del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

Funciona de la siguiente manera, la primera es dar corriente solo con los auxiliares a todos los consumidores, la segunda es dar corriente con el cola a todos los consumidores y la tercera es dividir los consumidores de los auxiliares y los consumidores del cola. Lo que los diferencia una del otro aparte de su potencia es que el cola se encarga de siempre suministrarle corriente a las hélices de maniobra. (Figura 22)



Figura 22: Cuadro del cola del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

Zona de manuales y documentación: En esta zona es donde contamos con todos los manuales de los equipos de la máquina y de los motores. También tenemos un ordenador que hace de oficina, donde se lleva la documentación al día como pueden ser, por ejemplo: los mantenimientos diarios, los contadores de los equipos etc.

Zona de control de la máquina: En la zona de control es donde tenemos el gobierno del motor principal y los diferentes parámetros del motor principal, que se pueden ver reflejados a través de un ordenador. También tenemos una zona de arranque de bombas y ventilación a remoto para cuando se inicia el arranque del motor principal. Por último, tenemos un aparato que indica las alarmas de incendio del buque y también el water mist donde se encarga de las diferentes zonas de los rociadores. (Ver figura 6.13)

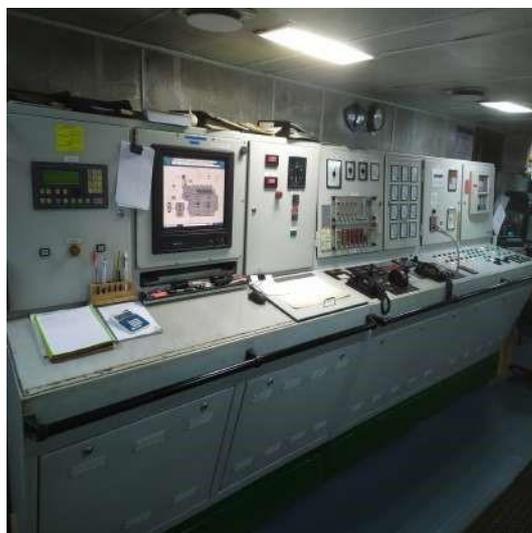


Figura 23: Control de máquinas del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.6.1.2. Cámara de motores auxiliares

Los auxiliares en este buque se encuentran justo al salir de la cabina de control. Este buque cuenta con tres auxiliares, por supuesto cada uno con su respectivo alternador donde genera una potencia de unos 550 kW. Son motores de gasoil de la casa MAN, cuatro tiempos, doce cilindros en forma de V. Tienen cárter húmedo y su arranque se efectúa a través de aire comprimido. A su vez cuenta con un cuadro de control local con indicadores de: presión y temperatura de aceite, temperatura de agua de refrigeración y las revoluciones del motor.

También tiene la opción para hacer un arranque y parada manualmente, junto con las alarmas de las diferentes temperaturas y presión del motor. (Figura 24)



Figura 24: Cámara de auxiliares del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

Características del motor auxiliar

Fabricante	MAN Diesel Engine
Modelo	D2842LE301
RPM	1800
Potencia	682 kW
Nº de ciclos	4 tiempos
Cilindro	12 V
Temperatura a la salida del agua	75°C -80°C
Presión de aceite	7 bar
Temperatura de gases	400°C

Tabla 4: Características de los motores auxiliares del buque M/V OPDR CANARIAS

6.6.1.3. Cuarto de depuradoras

La cámara de máquinas cuenta con tres depuradoras que son: depuradora de aceite, depuradora de gasoil y depuradora de fueloil. Tanto la depuradora de aceite como la depuradora de fueloil trabajan 24 horas al día excepto cuando se hace mantenimiento. La depuradora de gasoil solo se utiliza cuando se hace el trasiego desde el tanque de almacén al tanque de servicio diario. También cuenta con un sistema de calefacción para si por alguna urgencia no se puede utilizar la de fueloil,

esta pueda sustituirla. El funcionamiento del trasiego de la depuradora de fueloil es el siguiente: 1) aspira el fueloil desde la bomba de alimentación, 2) a través del centrifugado, separa los lodos y las impurezas debido a su densidad y la fuerza centrífuga. 3) Las impurezas van al tanque de lodos, así el fueloil que queda en el centro del tambor es enviado al tanque de servicio diario de fueloil. Cuenta con un calentador con ayuda de aceite térmico, que ayuda a mantener una viscosidad adecuada. (Figura 25)



Figura 25: Cuarto de depuradoras del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.6.1.4. Módulo de combustible

El combustible pasa por las bombas de circulación, luego por una serie de filtros y por último llega al tanque de mezcla. Desde el tanque de mezcla va a las bombas que elevan su presión para que el combustible llegue con la presión adecuada. Después el fueloil pasa por los calentadores y antes de salir del módulo, el combustible pasa por un viscosímetro. Luego se dirige a los filtros calientes de combustible para finalmente entrar al motor principal donde será quemado en cada cilindro. (Figura 26)



Figura 26: Módulo de combustible del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.6.1.5. Sistema de aire comprimido

El sistema de aire comprimido del buque se divide en el sistema de aire de arranque para el motor principal y motores auxiliares y el sistema de aire de servicios.

Sistema de aire de arranque: el sistema de aire de arranque cuenta con dos botellas de aire, una de 250 litros y otra de 500 litros con una presión de 30 bar.

El aire entra en el motor principal y llega a un colector de aire y luego a un distribuidor que se encarga de distribuir el aire a todos los cilindros. Por otra parte el aire de las botellas va a una reductora de presión para dar servicio a otros equipos a menor presión como puede ser el detector de niebla.

El sistema de aire cuenta dos compresores en servicio y un compresor de emergencia. Compresor de aire: Son compresores alternativos que producen aire a 30 bar, tienen dos cilindros de distinto tamaño, uno para aire de alta presión y otro para aire de baja presión. El aire comprimido al salir de los compresores se dirige a un secador de aire, allí se elimina la humedad (Figura 27)



Figura 27: Sistema de aire comprimido del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

Sistema de aire de servicio: es un compresor de baja presión, que comprime el aire hasta 8 bar y tiene su propio secador de aire. El aire generado se utiliza para trincar la carga tanto del bodeguín, bodega y cubierta principal. (Figura 28)



Figura 28: Sistema de aire de servicio del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.6.1.6. Generador de agua

El generador de agua dulce o evaporador cuenta con una bomba de agua salada y un fondo único situado al costado del buque. El agua es aspirada del mar pasa por un filtro y a través de la bomba de agua salada se dirige al evaporador, donde el agua se calienta hasta evaporarse. Para ello el evaporador tiene un eyector para generar el vacío en su interior, por lo tanto, el agua salada hervir a una temperatura inferior a los 100°C. Una vez generada el agua dulce se bombea a través de una bomba a los tanques almacén de agua. (Figura 29)



Figura 29: Generador de agua del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.6.1.7. Enfriador de HT

El enfriador de HT es la línea de agua que trabaja con el motor principal, el precalentamiento, el enfriador de la caldera y el evaporador. Para poder bajar la temperatura se ayuda del agua de LT, que viene del enfriador que está en el cuarto de bombas. (Figura 30)



Figura 30: Enfriador de HT del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.6.2. Tecele inferior

6.6.2.1. Cuarto de bombas

En el tecele inferior justo debajo de la cabina de control tenemos el cuarto de bombas. En el tenemos todas las diferentes bombas para el uso adecuado de la máquina.

1-Bomba de alimentación de la depuradora de fueloil: se encarga de hacerle llegar el combustible a la depuradora de fueloil. (Figura 31)



Figura 31: Bomba de alimentación de la depuradora de fueloil del buque M/V OPDR CANARIAS

Fuente: [6]

2-Bomba de servicios generales: es una bomba de reserva que sirve para achicar los diferentes pocetes y también para el lastre. (Figura 32)



Figura 32: Bomba de servicio generales del buque M/V OPDR CANARIAS

Fuente: [6]

3-Bomba contra incendios: se utiliza para los diferentes hidrantes que están en la sala máquinas cuando se origina un fuego. (Figura 33)



Figura 33: Bomba de contra incendios del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

4-Bomba de lastre: son dos bombas muy importantes sobre todo cuando el barco se encuentra en operativa de carga de remolques y contenedores, para compensar las diferentes cargas. (Figura 34)



Figura 34: Bomba de lastre del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

5-Bombas de agua salada: son dos bombas encargadas de darle la refrigeración necesaria a la máquina, principalmente al enfriador de baja temperatura (LT). (Figura 35)



Figura 35: Bombas de agua salada del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6-Bomba de trasiego de F.O y gasoil: son dos bombas encargadas del trasiego de fueloil desde el tanque de almacén al de servicio. Siempre se trabaja con una cada mes. (Figura 36)



Figura 36: Bomba de trasiego de F.O y gasoil del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

7-Bomba de trasiego de lodos: es una bomba utilizada para los trasiegos al tanque de lodos y a su vez para vaciar el tanque de lodos a tierra, a través de una cuba. (Figura 37)



Figura 37: Bomba de trasiego de lodos del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

8- Bomba de sentinas: es una bomba que se utiliza para achicar los diferentes pocetes de la máquina. (Figura 38)



Figura 38: Bomba de sentina del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

9-Enfriador de baja temperatura (LT): refrigera el agua dulce de todos los equipos de la máquina, que es refrigerada por agua salada. hay dos enfriadores, uno trabajando y el otro en reposo. En las conexiones de agua de los enfriadores se

puede invertir el flujo del agua salada, para realizar las limpiezas del enfriador a contraflujo. Esto ayuda a arrastrar todas las incrustaciones. (Figura 39)



Figura 39: Enfriador de baja temperatura (LT) del buque M/V OPDR CANARIAS

Fuente: [6]

10-Bomba del evaporador: es una bomba aparte del sistema de agua salada que se encarga de bombear agua salada para generar agua destilada. (Figura 40)



Figura 40: Bomba del evaporador del buque M/V OPDR CANARIAS

Fuente: [6]

11- Los fondos: para la entrada de agua salada junto con el enfriador de baja temperatura. Luego tenemos una zona de trabajo que se utiliza para limpiar los diferentes filtros de la máquina. (Figura 41)



Figura 41: Los fondos del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

6.6.2.2. Motor principal

El motor principal del buque OPDR CANARIAS es un motor MAK 12VM32C, que pertenece a la casa Caterpillar. Es un motor de 4 tiempos no reversible, formado por 12 cilindros en forma de V. Tiene una potencia de 6000kW y trabaja con fueloil a unas 750 rpm. El bloque motor es una pieza de acero fundido que viene montado los cojinetes de levas, cojinetes de eje de cigüeñal, la cámara de aire de barrido. El motor lleva montado un sistema de parada de emergencia, evitando así posibles peligros para el equipo de máquinas como daños en el motor. Este sistema actuar frente a: presión de aceite, presión del agua de refrigeración, niebla en el cárter, exceso de velocidad de giro, temperatura de aceite, temperatura del agua, temperatura de los gases de escape. (Figura 42)



Figura 42: Motor principal del buque M/V OPDR CANARIAS
Fuente: [6]

Características del motor principal

Fabricante	MAK/Carterpillar
Modelo	MAK 12VM32C
RPM	750
Potencia 6000 kW N.º de ciclos	4 tiempo
Cilindro	12 V
Temperatura a la salida del agua	75°C -80°C
Cilindrada	33.8L/cil

Tabla 5: Características del motor principal del buque M/V OPDR CANARIAS

6.6.2.3 Sistema hidráulico CPP

El sistema hidráulico de CPP controla el paso de la hélice, tiene dos bombas hidráulicas bañadas en aceite hidráulico. A su vez el paso de la hélice está controlado por un PLC (Programmable Logic Control). Este regula las funciones del sistema hidráulico del motor y coordina sus componentes. También permite calibrar la carga del motor y la intensidad de la señal eléctrica. (Figura 43)



Figura 43: Sistema hidráulico de CPP del buque M/V OPDR CANARIAS

Fuente: [6]

7. Sistema de aceite térmico

El sistema de calentamiento térmico supone una revolución tecnológica. Los usos industriales del aceite térmico aportan una multitud de ventajas, permitiendo sistemas de control del calor, un rendimiento y ahorro mucho mayor, que puede adaptarse a las necesidades específicas y concretas de cada actividad industrial.[9]

Los sistemas que utilizan la tecnología del fluido térmico son capaces de funcionar con temperaturas muy elevadas, sin que necesiten altas presiones de trabajo para mantener estas temperaturas. Esto significa que el aceite térmico tiene muchas ventajas y beneficios, en cuanto a la seguridad respecto a otros sistemas de calentamiento de procesos.[9]

El aceite térmico evita los riesgos de formación de incrustaciones y corrosión, respecto a otros sistemas térmicos, proporcionando diferentes operaciones automáticas que pueden ayudar a conseguir la eficiencia óptima del sistema. [9]



Figura 44: Esquema de sistema de aceite térmico
Fuente: [6]

El buque OPDR CANARIAS cuenta con un sistema de aceite térmico a bordo que se basa en dos calderas: la caldera de gases de escape, que se utiliza durante la navegación y la caldera de mechero, para dar servicio en puerto.

Tiene un modo de trabajo en automático, lo que garantiza el trabajo de las calderas una vez ajustados los parámetros.

Entre la línea de suministro a los consumidores y la línea de retorno hay una válvula para mantener un flujo mínimo a través de las calderas. El flujo generado es mediante la bomba de circulación.

Para poder optimizar la eficiencia de las calderas, operan en paralelo. Lo que sirve como un calentador de respaldo cuando no se pueden mantener las temperaturas establecidas de salida.

Por lo tanto, cuando la temperatura ha bajado 10°C de la seleccionada, la caldera comienza automáticamente a elevar la temperatura a aproximadamente 5-10°C por encima del punto de referencia. El rango en el que funciona evitará que el quemador tenga un número excesivo de ciclos de arranque y parada, con una mayor durabilidad del quemador y menos mantenimiento.

El control de temperatura de la capacidad de calentamiento de la caldera de gases de escape se logra mediante el sistema de enfriamiento de descarga. Cuenta con un enfriador que se encarga del calor excesivo, cuando el consumo de calor disminuya por debajo de lo que genera la caldera de gases de escape.

7.1. Componentes

Dentro de los componentes principales del sistema térmico tenemos:

7.1.1. Aceite térmico

El aceite térmico una vez calentado, es un fluido utilizado para llevar calor desde un lugar a otro. Su procedencia se encuentra en la destilación del petróleo a partir de unas bases minerales refinadas que pueden sufrir ligeras modificaciones que varían la viscosidad y temperatura de servicio o congelación.

Tiene una gran utilidad en los procesos que requieren de altas temperaturas entre 180°C y 280°C, pero con un funcionamiento de bajas presiones, así como en procesos en los que se necesite calentamiento y enfriado en el mismo equipo.

En la práctica, tiene la ventaja de permitir sistemas avanzados de control del calor que proporcionan un rendimiento mucho mayor y un importante ahorro económico. Eso es debido a que las características del aceite térmico evitan la corrosión o formación de incrustaciones en las tuberías que lo transportan.

El ahorro de combustible por medio de aceite térmico se cifra entre un 20-25 por ciento en relación con el uso del vapor. Por lo tanto, estamos ante un sistema eficiente, avanzado y económico. [8]

7.1.2. Caldera de aceite térmico

La caldera está construida de acuerdo con la norma DIN 4754 y las normas de recipientes a presión. Está diseñada como una caldera vertical con una superficie de calefacción de convención sucesiva.

El sistema de tuberías está formado por tubería de caldera y revestido por una camisa de chapa de acero soldada estanca a los gases, aislamiento de lana mineral y finalmente una cubierta de chapa de acero galvanizado.

Una cámara de combustión bien dimensionada garantiza una larga vida útil del calentador debido a que la llama no entra en contacto con el sistema de tuberías y, por lo tanto, no se sobrecarga la superficie de calentamiento. El módulo de la caldera se fija en un marco de base sólida. (Figura 45)



Figura 45: Caldera de aceite térmico

Fuente: [6]

Características de la caldera de aceite térmico

Fabricante	GESAB
Modelo	TOH 100 V 40
Capacidad	1000 kW
Viscosidad Máxima del combustible	380 cSt at 50°C/ Diesel oil.
Corriente eléctrica	3x440V-60 Hz
Temperatura de entrada/ salida de aceite térmico	160/200°C .
Caudal de Aceite térmico	46 m ³ /h

Tabla 6: Características de la caldera de aceite térmico

7.1.2.1. Funcionamiento

Está compuesta por uno o más serpentines por los que circula el fluido y entre los que se hacen pasar los gases de la combustión, producidos por el quemador. Gracias a este contacto, se realiza la cesión de calor al aceite térmico, el cual llegará por medio de una bomba de circulación hasta el consumidor. Una vez cedido el calor al consumidor, se retornará el fluido a la caldera.[7]

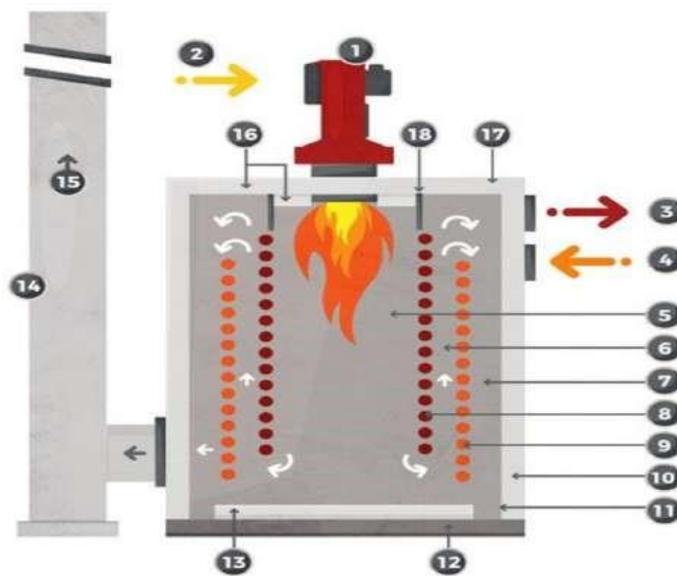


Figura 46: Esquema de Caldera mechero

Fuente: [6]

-
- 1- Quemador
 - 2- Alimentación de combustible
 - 3- Fluido térmico, salida a consumos
 - 4- Fluido térmico, retorno
 - 5- Cámara de combustión. Gases de combustión primer paso
 - 6- Gases de combustión, segundo paso
 - 7- Gases de combustión, tercer paso
 - 8- Fluido térmico. Serpentín interior
 - 9- Fluido térmico. Serpentín exterior
 - 10- Aislamiento térmico del cuerpo de caldera
 - 11- Envoltorio interior
 - 12- Base de la caldera

- 13- Cierre inferior cámara de combustión. Solera cerámica/hormigón refractario
- 14- Chimenea
- 15- Salida de gases de combustión
- 16- Aislamiento térmico de caldera y de cámara de combustión
- 17- Tapa de caldera
- 18- Cierre superior de la cámara de combustión

7.1.2.2. Mantenimiento

La limpieza de la caldera mechero se lleva a cabo a través de las tomas de limpieza de la tapa, situada en la parte superior. Los pasos a seguir son:

- 1- Retirar los tapones de las tomas de limpieza y abrir los drenajes, tantos el drenaje de fondo como el drenaje de chimenea.
- 2- Limpiar las superficies de los serpentines de tubería con una lanza de alta presión para limpiar entre los rollos de tubería. Hay que tener en cuenta que el ladrillo molido debe barrerse únicamente con una escoba. No con la lanza de alta presión en el suelo y en la cubierta, ya que se puede dañar el enladrillado.
- 3- Después de la limpieza, cerrar los drenajes.
- 4- Poner en marcha la planta con carga baja, ya que el agua de limpieza restante puede escaparse del quemador. Una vez en marcha la planta es necesario realizar un nuevo ajuste del quemador por un técnico especialista. [5]

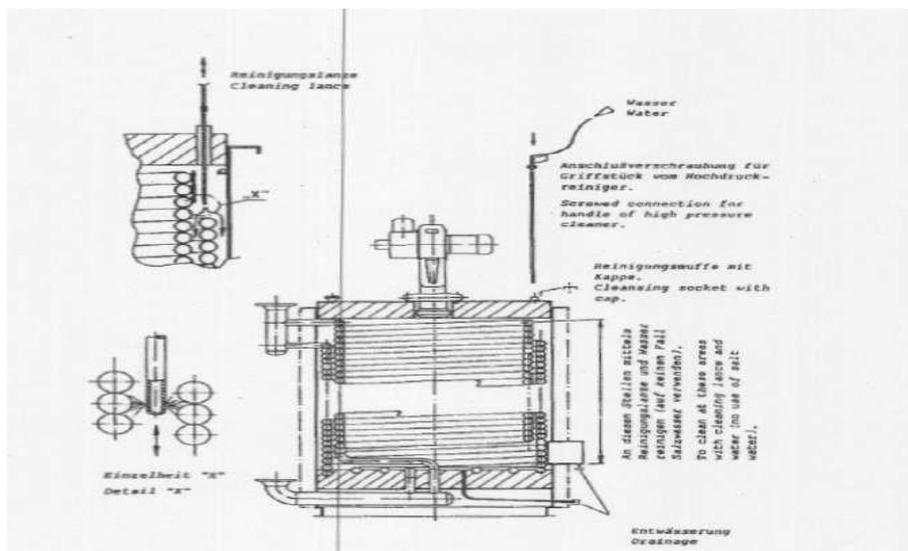


Figura 47: Mantenimiento de la caldera

Fuente: [5]

7.1.3 Bomba de transferencia HFO/MDO

La bomba de transferencia es la encargada de alimentar el quemador de la caldera mechero que a su vez puede trabajar tanto con fuel-oil como con diésel marino. En este buque concretamente trabaja siempre con diésel marino, ya que la caldera mechera siempre se arranca en puerto y así poder cumplir con la normativa establecida en el contenido de azufre.

Características de la bomba de transferencia

Fabricante	Allweiler
Modelo	BAS 250 G8.3F-E-W8
Caudal	330 litros/h
NPSH(altura neta positiva en aspiración)	2m.l.c
Fabricante de motor eléctrico	ABB
Modelo	V1-71
Potencia del Motor eléctrico	0,43 kW
Corriente eléctrica	3x440V-60Hz

Tabla 7: Características de la Bomba de transferencia

Fuente: [6]

7.1.4 Caldera de recuperación

La caldera de recuperación está diseñada para el aprovechamiento de la energía térmica de los gases de escape del motor principal durante la navegación y con ello mantener la temperatura del aceite térmico. Se encuentre situada en el passway justo antes de la salida de los escapes al exterior.

Los tubos de la sección de calentamiento son de superficie lisa. Tiene una temperatura de entrada del aceite en torno a 160°C -180°C, lo que garantiza una temperatura media de la superficie del serpentín de calentamiento muy superior a la temperatura del punto de rocío, por lo que no hay riesgo de corrosión. [3]



Figura 48: Caldera de recuperación

Fuente: [6]

Características de la caldera de recuperación

Fabricante	GESAB
Modelo	EGH917V40
Capacidad	914 kW
Temperatura de entrada/ salida de aceite térmico	140°C/180°C
Caudal de Aceite térmico	42 m ³ /h

Tabla 8: Características de la caldera de recuperación

Fuente: [6]

7.1.4.1 Funcionamiento

Su funcionamiento comienza una vez que el buque sale de puerto, donde la caldera de aceite térmico se queda en stand-by. Los gases de escape del motor principal antes de salir al exterior pasan por la caldera de recuperación, donde a su vez está pasando el aceite térmico.

En un principio, se mantiene la temperatura de régimen del aceite, pero una vez que aumenta la temperatura de la caldera también comienza a aumentar la del aceite térmico. Debido a ello, actúa la válvula de control de temperatura que se encarga de ir desviando el aceite térmico al enfriador (dumping cooler) y reduciendo la temperatura del aceite térmico. El sistema sigue trabajando a pleno régimen pero siempre manteniendo la temperatura entre 160°C /180°C.[3]

Una vez aproximándonos a puerto, se reduce la temperatura de la caldera de recuperación.

Debido a ello vuelve a actuar la válvula de control de temperatura, dando señal a el control del quemador para arrancar y dejando de pasar el aceite térmico por el enfriador. Finaliza el trabajo de la caldera de recuperación y comienza el de la caldera mechero para así mantener la temperatura del aceite en puerto. [3]

7.1.4.2. Mantenimiento

El mantenimiento de la caldera de recuperación se basa en una limpieza semanal. Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1- Preparamos la conexión de la manguera y la válvula de paso único en el soplador de hollín.
- 2- Abrimos la válvula, donde el agua corre hacia los sopladores de hollín y limpia la superficie de calentamiento en la caldera de recuperación de escape con vapor.
- 3- Mantener la válvula del agua abierta durante un tiempo estimado de un minuto y luego cerrar.
- 4- Repetimos la limpieza para las siguientes válvulas.
- 5- Abrir la válvula de drenaje para que salga el agua restante que se haya quedado en los sopladores de hollín.
- 6- Una vez terminada la limpieza:
 - 6.1- Verificar si la temperatura de la caldera de recuperación es más baja que antes de la limpieza. Para ello miramos en el termómetro de la caldera.
 - 6.2- La presión del lado de los gases de combustión antes de la caldera de recuperación debe ser menor que antes de la limpieza. Para ello miramos en el manómetro.
 - 6.3- La temperatura de flujo del aceite térmico debe ser mayor que antes de la limpieza. Para ello miramos en el indicador de temperatura en el cuadro de distribución.
- 7- Las tuberías de los sopladores de hollín deben revisarse cada seis meses en busca de suciedad y depósitos. [4]

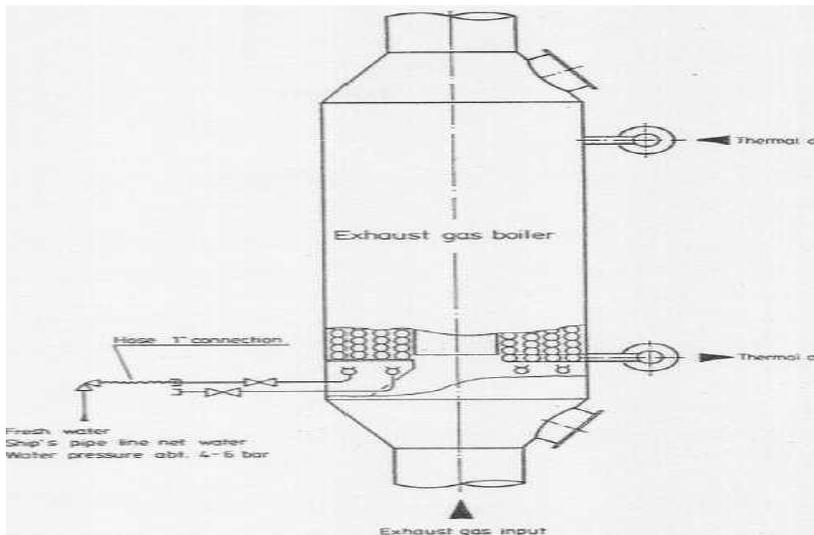


Figura 49: Limpieza de caldera de recuperación
Fuente: [6]

7.1.5 Enfriador de aceite térmico

Uno de los componentes más importantes del sistema es el enfriador de aceite (Dumping Cooler). Se encarga de enfriar el aceite térmico cuando aumenta su temperatura a partir de 180°C. Para poder enfriarse se utiliza el agua de baja proveniente del enfriador del motor principal. El funcionamiento es de forma automática, donde el autómeta manda una señal a la válvula by-pass de tres vías. Dependiendo de la temperatura del aceite, si es por encima de 180°C se dirige al enfriador y si está entre 160°C -180°C circula por el sistema y no pasa por el enfriador. [3]

Características del enfriador

Marca	Sperre
Modelo	ES219-700-2800

Tabla 9: Características del enfriador
Fuente: [6]

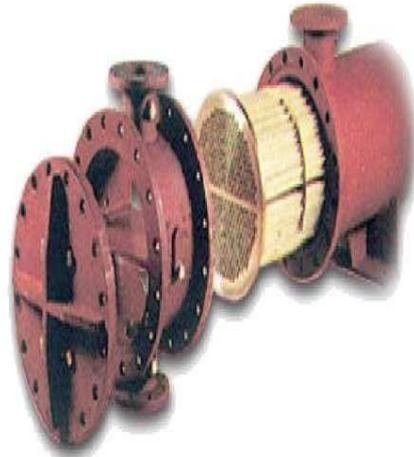


Figura 50: Enfriador de aceite térmico
Fuente: [6]

7.1.6. Tanque desaireador

La desaireación tiene como objetivo principal la eliminación de cualquier aire presente en el producto a procesar. En muchos casos, es aconsejable extraer el aire ya que, durante el tratamiento, puede aumentar la resistencia térmica y la carga de calentamiento.



Figura 51: Tanque desaireador
Fuente: [6]

7.1.7. Bombas de circulación

El sistema cuenta con dos bombas centrifugas, que son las encargadas de mantener un flujo constante de aceite por todo el circuito. Trabaja con una bomba en marcha y otra en stand-by debido a que si se produce una avería tiene otra de apoyo para que no caiga el flujo en el sistema. Todos los finales de mes se van alternando, para que se repartan la carga de trabajo. (Figura 52)



Figura 52: Bomba de circulación
Fuente: [6]

Características de la bomba de circulación

Fabricante	Allweiler
Modelo	NBT 50-200
Corriente eléctrica	3x440V60Hz
Velocidad	3500 rpm
Caudal	48 m ³ /h

Tabla 10: Características de la bomba de circulación
Fuente: [6]

7.1.8. Tanque de expansión

El depósito de expansión es un elemento singular de las instalaciones del aceite térmico. Este se encarga de absorber el aumento del volumen del fluido térmico ante el incremento de temperatura de este.

Además, se encarga de asegurar el nivel de aceite térmico en la instalación. Por ello, es necesario revisar periódicamente el estado interno del depósito y su instrumentación asociada.



Figura 53: Tanque de expansión
Fuente: [6]

Características del tanque de expansión

Fabricante	GESAB
Modelo	ETO2000
Volumen	2 m ³
Presión de diseño	2 bar
Temperatura de diseño	100°C

Tabla 11: Características del tanque de expansión
Fuente: [6]

7.1.9. Tanque de Almacén

Cuenta con dos tanques de almacén como depósitos para conservar el aceite térmico. Se utilizan: para drenaje del sistema, cambio de aceite o relleno del tanque de compensación. El aceite debe tener una capacidad de servicio de al menos un año. Para garantizar que este periodo de tiempo no disminuya, nunca se debe permitir que la planta funcione a temperaturas excesivas. Solo deben usarse aceites cuyo punto de ebullición no exceda la temperatura de su película.



Figura 54: Tanque de almacén

Fuente: [6]

7.1.10 Bomba de llenado

Se encarga de darle presión al aceite para que se pueda realizar la maniobra de llenado o vaciado del propio tanque de almacén.

Características de la bomba de llenado

Fabricante	Swedenborg
Modelo	BK1 GGCC
Caudal	3 m ³
NPSH (altura neta positiva en aspiración)	3 m.l.c.
Potencia eléctrica de trabajo	1.05 kW

Tabla 12: Características de la bomba de llenado

Fuente: [6]

7.2. Dispositivos de Seguridad

7.2.1. Dispositivos de seguridad de la caldera de aceite térmico y caldera de recuperación

Los elementos eléctricos del mecanismo de seguridad están cableados según un principio de circuito cerrado.

Termorresistencia PT 100: El regulador electrónico de temperatura controla las etapas del quemador para mantener la temperatura preestablecida debido a los pulsos recibidos del PT100. Controla el quemador e indica tanto el flujo de entrada como el de retorno.

Al arrancar la planta, el quemador funciona a plena carga y luego regula según el consumo de energía a una carga menor. Tan pronto como se alcanza la temperatura establecida, el quemador se apaga.[3]

Termostato de seguridad (Limitador de seguridad): El termostato de seguridad está montado en la conexión de salida de la caldera y debe ajustarse unos 10°C por encima de la temperatura máxima de salida de la caldera. El propósito del termostato de seguridad es evitar un aumento de la temperatura de salida y, por lo tanto, es de suma importancia que se ajuste con precisión. Una vez que el termostato de seguridad entra en funcionamiento, el quemador se apaga automáticamente.[3]

Termostato de gases de escape (Limitador de seguridad): El termostato de gases de escape está ubicado en el conducto de escape y debe ajustarse unos 50°C por encima de la temperatura normal de los gases de escape. Su función es evitar un aumento de la temperatura de los gases de escape y una vez que entra en funcionamiento, el quemador se apaga automáticamente.[3]

1- Control de caudal de caldera mechero (PDLS-11): los indicadores de presión diferencial indican el caudal sobre la caldera mechero. Si el flujo disminuye por debajo del punto establecido el quemador se detendrá y aparecerá una alarma de disminución de flujo en el panel de alarmas.[3]

1.1- Control de caudal de caldera de recuperación (PDLS-31): los indicadores de presión diferencial indican el caudal sobre la caldera de recuperación. Si el flujo disminuye por debajo del punto de ajuste, aparecerá una alarma de disminución de flujo en el panel de alarmas.[3]

2- Interruptor de límite de temperatura alta del aceite térmico (TSH-11, 12) : Si la temperatura aumenta de 220°C, el quemador se detiene e indica alarma de "exceso de temperatura del aceite térmico" en el panel de alarmas.[3]

- 2.1- Interruptor de límite de alta temperatura del aceite térmico (TSH-33 37): si la temperatura aumenta de 220°C, se ha alcanzado “la máxima temperatura del aceite “da alarma de exceso de temperatura en la caldera de recuperación.[3]
- 3- Final de carrera de alta temperatura (TSH-13): si la temperatura excede de 370°C, el quemador se detiene e indica alarma de “exceso de temperatura de humos” en el panel de alarmas.[3]
- 4- Interruptor de límite de temperatura alta, gas de combustión TSH-32: Si se alcanza una temperatura excesiva de 365°C, la alarma indicará temperatura excesiva de gas de combustión en el panel de alarmas de la caldera de recuperación.[3]
- 5- Control de fugas (LSH-11): en caso de fuga dentro de la caldera mechero, el quemador se detiene e indica “alarma de fuga” en el panel de alarmas de la caldera mechero.[3]
- 6- Control de fugas (LSH-31): en caso de fuga dentro de la caldera de recuperación, indicará alarma de fuga para la caldera de recuperación en el panel de alarmas.[3]
- 7- Control de fugas de bajo nivel del tanque de expansión (LSLL-01): en caso de nivel bajo en el tanque de expansión, las bombas de circulación y el quemador se apagarán. Se debe realizar el procedimiento de reinicio para volver a operar el sistema.[3]
- 8- Drenaje rápido del depósito de expansión (XA-01): en caso de liberación de la válvula de drenaje rápido, las bombas de circulación y el quemador se apagarán. Se debe realizar el procedimiento de reinicio para volver a operar el sistema.[3]
- Válvulas de seguridad: en caso de ingreso de agua en el sistema de aceite térmico, cada caldera está equipada con una válvula de alivio con una presión de ajuste de 10 Bar, que evacuará el vapor del sistema. [3]

7.3. Funcionamiento del sistema

7.3.1. Ventajas

Los fabricantes indican que la eficiencia que existe del sistema de aceite térmico es de entre un 5 % y 8 % más altas que las de los sistemas de vapor convencionales.

- Eficiencia:

Los generadores de vapor de carcasa y tubo calentados por aceite caliente también pueden proporcionar una mayor eficiencia. Requieren menos tratamiento de agua y

menor acumulación de suciedad debido a un flujo de calor considerablemente más bajo.

Y si se consideran las pérdidas de vaporizado en un sistema de vapor típico (incluidas las pérdidas de las purgas) comprendidas entre 6 % y 14 %, las que generan las purgas, de hasta el 3 %, y la del desaireador, de otro 2 %, la diferencia en la eficiencia se hace más pronunciada.

Los sistemas de fluidos térmicos no sufren ninguna de estas pérdidas y, como resultado, pueden ser hasta 31 % más eficientes, excluyendo eficiencias adicionales de calentadores y generadores de vapor.

- Operadores autorizados:

En muchas instalaciones la ley exige, ingenieros autorizados y que trabajen a tiempo completo, supervisen el funcionamiento de las instalaciones de los sistemas de vapor de alta presión eso significa un coste adicional.

A diferencia de los sistemas de vapor, la mayoría de los sistemas de fluidos térmicos operan a presión atmosférica y se ventilan a la atmosfera en el tanque de expansión. La presión en estos sistemas se limita a la descarga de la bomba necesaria para mantener el fluido en flujo turbulento mientras se supera la fricción de la tubería.

Debido a su funcionamiento seguro y sin presión, los sistemas de aceite térmico no están obligados a necesitar de un operador autorizado.

- Corrosión:

Los sistemas de vapor son bien conocidos por sus problemas de corrosión el aire, en combinación con agua caliente, sales y otros contaminantes reactivos genera un alto potencial de corrosión metálica. El vapor es abrasivo junto con los sedimentos de minerales que se encuentran en la mayoría de los suministros de agua, y los problemas del sistema se agravan rápidamente.

Los fluidos térmicos son completamente anticorrosivos, proporcionan el mismo alto grado de protección de la superficie metálica que los aceites lubricantes ligeros más finos.

- Mantenimiento:

Los sistemas de vapor requieren un mantenimiento constante e interminable, enfocado en las válvulas, las bombas de retorno de condensado, las juntas de expansión y el análisis y el tratamiento del agua junto con las purgas de vapor.

Los sistemas de fluidos térmicos no requieren trampas, retorno de condensado, purga o aditivos de agua. Los sistemas de aceite caliente han demostrado ser silenciosos, seguros y eficientes durante años, y demandar un mantenimiento mínimo.

- Seguridad ambiental:

El agua en un sistema de vapor debe tratarse químicamente para reducir la corrosión, entre otras cosas. Los productos químicos no pueden verterse al mar, ya que presentan un riesgo ambiental considerable.

Los sistemas de fluidos térmicos no requieren purga y, a diferencia del vapor, no están sujetos a fugas continuas. Estos fluidos pueden combinarse con aceites lubricantes usados, enviarse a reciclar junto con aceite de motor.

- Seguridad:

Para suministrar el tipo de calor requerido en la mayoría de las operaciones de proceso, los sistemas de vapor tendrían que funcionar a presiones excepcionalmente altas.

En cambio, la mayoría de los sistemas de fluidos térmicos son ventilados a la atmósfera. La presión de descarga de la bomba es lo suficientemente alta como para superar la resistencia a la fricción de las tuberías por lo tanto no trabaja a altas presiones como con el vapor.

- Control de la temperatura:

Los sistemas de vapor se basan en el control de la presión para regular la temperatura. Con esta dependencia del delicado equilibrio de la presión, la precisión se limita generalmente, y en el mejor de los casos, a oscilaciones entre $\pm 12^{\circ}\text{C}$. Más grave aún, a medida que el sistema envejece y la corrosión cobra su precio, el control de temperatura se degrada. La uniformidad del calentamiento también puede ser un problema debido a los diferentes índices de condensación y de la remoción de condensado en el calentador.

En comparación, los fabricantes de equipos de fluidos térmicos tienen la capacidad de regular los cambios de temperatura a $\pm 17^{\circ}\text{C}$. Esta precisión se logra mediante la dosificación y mezcla del fluido de retorno más frío con el más caliente de la línea de suministro. Añadiendo flujo turbulento de alta velocidad a la ecuación, se aseguran la precisión y la uniformidad del control de temperatura a través de toda la superficie de trabajo.

Los sistemas de fluido térmico no solo proporcionan un calor eficiente y uniforme, sino también un enfriamiento con las mismas propiedades.

- Costo del sistema:

El costo de compra de los sistemas de vapor puede ser menor que el de sistemas de fluido térmico. Sin embargo, con los sistemas de fluidos térmicos, que son menos complejos, hay otros beneficios: menores costos de operación y de mantenimiento, y menos preocupaciones ambientales, lo mismo que mayor producción y calidad del producto como resultado de un mejor control de la calefacción y el enfriamiento.

Cuando se combina esto con la mejora de la seguridad y la reducción de los costos de mano de obra, la economía general de los sistemas de fluidos térmicos supera con creces a los de vapor.[2]

8. Resultados

1- Anoto los datos del manual del auxiliar MAN D2842 LE301 donde nos dice el consumo(g/kWh) a diferentes cargas (%). A su vez, sabemos cuánto potencia nos da el motor al 100 % de carga. Por lo tanto, podemos hallar las potencias a la carga correspondiente de 75 % y 50 % y así obtenemos una tabla con todos los valores de carga (%), consumo(g/kWh), potencia(kW).

Carga %	Consumo específico g/kWh	Potencia el. kW	Potencia térm. kWt
50	216	341	180
75	217	511,5	270
100	225	682	360

Tabla 13: Características nominales de los MMAA en función de la carga

2- Con la ayuda de la tabla de valores dibujo las gráficas y obtengo una ecuación para hallar el mínimo consumo a una determinada carga. Una vez hallado el mínimo consumo obtengo la potencia y lo represento con una línea roja. Ahora calculamos la carga para el mínimo consumo.

$$f(x) = 0,0056x^2 - 0,6600000000000004x + 235 \quad (8.1)$$

$$f'(x) = 0,0112x - 0,6600000000000004 \quad (8.2)$$

$$0,0112x - 0,6600000000000004 = 0 \quad (8.3)$$

$$n = 0,6600000000000004 / 0,0112 = \quad (8.4)$$

$$n = 58,928 \% \quad (8.5)$$

la n = carga (%) entonces lo representamos en la gráfica de consumo y potencia para ver a cuánto equivale.

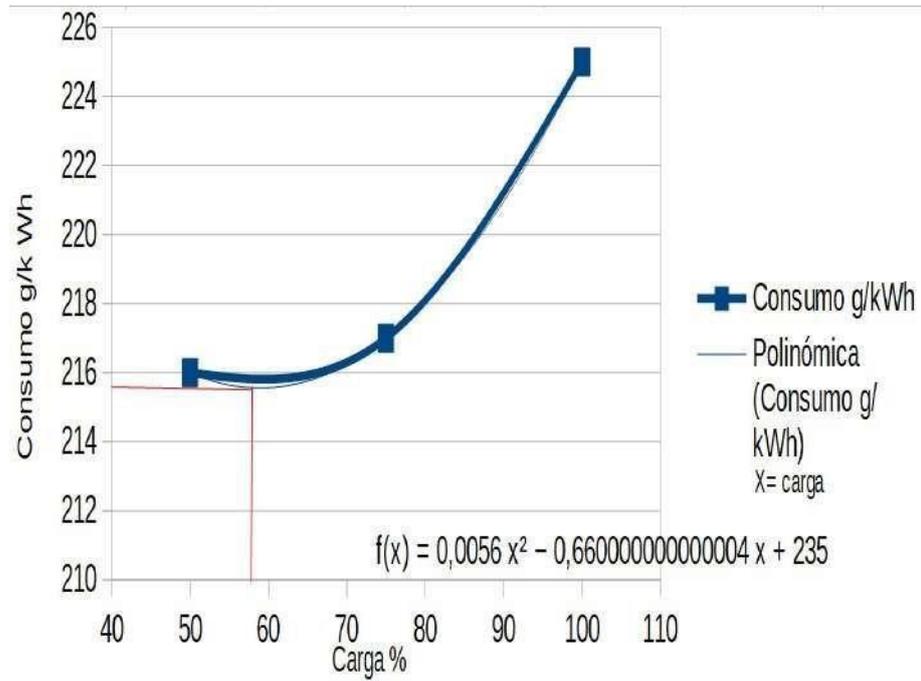


Figura 55: Diagrama de consumo y carga del motor auxiliar MAN D2842 LE301
Fuente: [6]

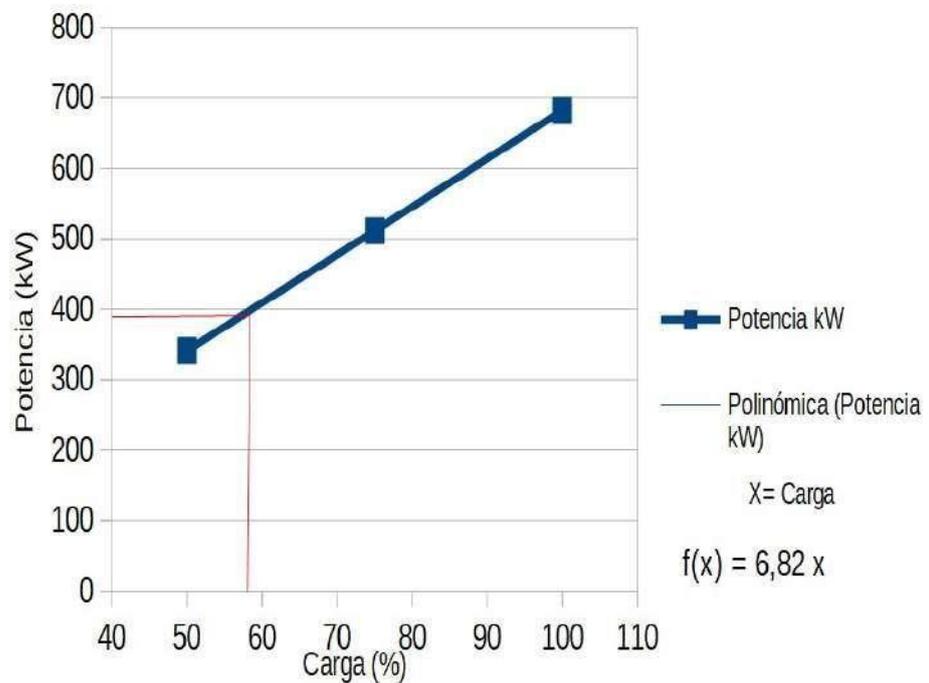


Figura 56: Diagrama de potencia y carga del motor auxiliar MAN D2842 LE301
Fuente: [6]

Llegamos a la conclusión que el mínimo consumo es de 215g/kWh con una carga de 58,928 %. Y que la potencia que nos da a esa misma carga es de 390 kW.

3- El siguiente paso es obtener cuánto consume la caldera de aceite térmico en puerto, para saber el gasto de combustible una vez arrancada la caldera en puerto. Por lo tanto, mirando el manual del quemador de la caldera nos dice:

Consumo del quemador

Consumo mínimo 60kg/h
 Consumo medio 120 kg/h
 Consumo máximo 170kg/h

Tabla 14: Datos del quemador

4- Durante el atraque en puerto el buque mantiene una estancia de unas 8 horas, en las cuales por mi experiencia de alumno estimo que por cada hora de trabajo que realiza el quemador tiene un tiempo de parada de unos 20 minutos. Debido a que una vez alcanzada la temperatura de 180°C el quemador se para. Suponiendo que mantiene un rendimiento lineal vamos a calcular las horas que se mantiene arrancado.

tiempo arrancado	tiempo parado	funcionamiento	tiempo de funcionamiento
1 hora / 60 minutos	20 minutos	40 minutos	
8 horas / 480 minutos	160 minutos	320 minutos	5,3 horas

Tabla 15: Tiempo de funcionamiento del quemador

Una vez obtenidas las horas las multiplicamos por los diferentes consumos.

	kg/h	Horas de funcionamiento (h)	combustible consumido (litros)
Consumo mínimo	60	5,3	318
Consumo medio	120	5,3	636
Consumo máximo	170	5,3	901

Tabla 16: Consumo del quemador

Una vez obtenidas las horas de funcionamiento junto con el combustible consumido buscamos el precio del mercado del diésel, en la actualidad está a 0,60821 el litro.[13] Por lo tanto:

Ahora vamos a hacer el cálculo anual.

	Combustible consumido (litros)	total (euros)
Consumo mínimo	$318 \times 0,60821$	193,410
Consumo medio	$636 \times 0,60821$	386,821
Consumo máximo	$901 \times 0,60821$	547,997

Tabla 17: Costo del consumo diario

Ahora vamos a calcular el consumo anual:

1-Consumo mínimo

Nº de puertos de atraque	cálculos	total (euros)
1	193,410	193,410
1 semana: 3	193,410 x 3	580,23
1 año ⇒ 52, 1429semanas = 52semanas	580,23 x 52	30171,96

Tabla 18: Costo del consumo mínimo anual

2-Consumo medio:

Nº de puertos de atraque	cálculos	total (euros)
1	386,821	386,821
1 semana: 3	386,821 x 3	1160,463
1 año ⇒ 52, 1429semanas = 52semanas	1160,463 x 52	60344,076

Tabla 19: Costo del consumo medio anual

3-Consumo máximo:

Nº de puertos de atraque	cálculos	total (euros)
1	547,977	547,977
1 semana: 3	547,977 x 3	1643,931
1 año ⇒ 52, 1429semanas = 52semanas	1643,931 x 52	85484,412

Tabla 20: Costo del consumo máximo anual

Por lo tanto, en un año sin parar el buque y teniendo una estancia de 8 horas en cada puerto y al precio actual del diésel se llega a la conclusión de un gasto máximo de 85484,412 euros al año de diésel solo para el consumo de la caldera en puerto. Por lo tanto, voy a ver si existe la posibilidad de poder montar una caldera de recuperación.

5- Ahora se calcula la potencia calorífica tanto de los gases de escape del auxiliar como del aceite térmico. Se compara y así se determina si existe la posibilidad de montar una caldera de recuperación a la salida de los motores auxiliares.

Datos:

-El caudal másico de los gases (mg), lo da el propio manual del fabricante de auxiliares 3310 kg/h. [10] Y se multiplica por dos, porque dos son los auxiliares que están arrancados en puerto.

- La salida de gases de escape está a una temperatura de 220°C y una entrada de 150°C [6], con un calor específico 1,095kJ/(kg°C).[11] Cálculos:

Presentamos la ecuación y sustituimos los valores.

$$q = 2 \cdot m_g \cdot c_{e_g} (t_g^s - t_g^e) \quad (8.7)$$

$$q = 2 \cdot (3310/3600) \text{ (kg/h) / (s)} \cdot 1,095 \text{ (kJ/(kg°C))} \cdot (220-150(^{\circ}\text{C})) \quad (8.8)$$

$$q = 2 \cdot (0,9194) \text{ (kg/s)} \cdot 1,095 \text{ (kJ/(kg°C))} \cdot (70(^{\circ}\text{C})) \quad (8.9)$$

$$q_{(\text{gases})} = 140,95 \text{ kW} \quad (8.10)$$

Datos:

-El caudal másico del aceite (mg), hay que calcularlo a través de la fórmula de la densidad

$$\rho = \dot{m} / \dot{v} \quad (8.11)$$

Despejando tenemos el caudal másico:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{v} \quad (8.12)$$

La densidad del aceite térmico a unos 175°C nos la da el fabricante.[14]

Por lo tanto, tenemos una densidad 760 kg/m³. En cambio el caudal volumétrico nos lo da el manual 42 m³/h. [3]

La salida del aceite térmico de la caldera de combustión está a una temperatura de 190°C y una entrada de 160°C [3]. Por lo tanto, el calor específico es de 2,4 kJ/(kg°C).
[14]

Cálculos:

Presentamos la ecuación y sustituimos los valores.

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{v}$$

$$\dot{m} = 760 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 42 \text{ (m}^3\text{/h)} = 31920 \text{ (kg/h)}$$

$$31920 \text{ (kg/h)} / 3600 \text{ (s)} = 8,86 \text{ (kg/s)}$$

$$q = 8,86 \text{ (kg/s)} \cdot 2,4 \text{ (kJ/ (kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C))} \cdot (190\text{ }^\circ\text{C} - 160\text{ }^\circ\text{C})$$

$$q_{(ac)} = 637,92 \text{ kW}$$

El resultado de la potencia térmica de los gases de escape de auxiliares y la de aceite térmico son:

$$+\text{Potencia térmica disponible de MM.AA: } q_{(gases)} = 140,95 \text{ kW}$$

$$+\text{Potencia térmica disponible de aceite térmico: } q_{(ac)} = 637,92 \text{ kW}$$

Energía térmica en puerto:

$$E_{(MM.AA)} = 140,95 \text{ (kW)} \cdot 8 \text{ (horas)} = 1127,6 \text{ (kWh)}$$

$$E_{(ac)} = 637,92 \text{ (kW)} \cdot 5,3 \text{ (horas)} = 3380,976 \text{ (kWh)}$$

Para cada uno de estos sistemas se ha determinado su demanda térmica haciendo uso de las siguientes expresiones:

$$q_i^{tk} = m_i c_c^e (t_c^f - t_c^i) \quad (1)$$

q_i^{tk} : calor necesario para elevar la temperatura del tanque i desde t_c^f hasta t_c^i , en kJ

m_i : masa de combustible almacenada en el tanque correspondiente, kg

c_c^e : calor específico del combustible almacenado en los tanques calefactados, $kJ/kg^{\circ}C$

t_c^f : temperatura final de calentamiento del tanque, $^{\circ}C$

t_c^i : temperatura inicial de calentamiento del tanque, $^{\circ}C$

La demanda en puerto de los tanques de almacén es:

HFO STOR TK 1S [15] = 326500 (kg) HFO STOR TK 2P [15]= 316100 (kg)

Total: 326500 + 316100 = 642600 (kg)

Potencia térmica demandada para calentamiento del fuel-oil:

$$q_i^{tk} = m_i c_c^e (t_c^f - t_c^i)$$

$$q_{(\text{fuel})} = 642600 \text{ (kg)} \cdot 0,38 \text{ (kJ/kg}^{\circ}\text{C)} \cdot (30 - 28) = 488376 \text{ kJ}$$

$$q_{(\text{fuel})} = 488376 \text{ (kJ)} / 3600 \text{ (s/h)} = 135,66 \text{ (kWh)}$$

Horas en puerto:

$$E_{(\text{fuel})} = 135,66 \text{ (kWh)} \cdot 7 \text{ (h)} = 949,62 \text{ (kWh)}$$

La demanda en puerto de fuel-oil del tanque de sedimentación es:

HFO SETTLE TK 1 [15] = 30000 (kg)

HFO SETTLE TK 2 [15]= 30000 (kg)

Total: 30000+ 30000 = 60000 (kg)

Potencia calorífica del fuel-oil:

$$q = m \cdot c_{e_g} (t_g^s - t_g^e)$$

$$Q_{(\text{fuel})} = 60000 \text{ (kg)} \cdot 0,38 \text{ (kJ/kg}^\circ\text{C)} \cdot (45 - 35) = 22800 \text{ kJ}$$

$$Q_{(\text{fuel})} = 228000 \text{ (kJ)} / 3600 \text{ (s/h)} = 63,33 \text{ (kWh)}$$

Horas en puerto:

$$E_{(\text{fuel})} = 63,33 \text{ (kJ)} \cdot 7 \text{ (h)} = 443,33 \text{ (kWh)}$$

La demanda en puerto de fuel-oíl del tanque de diario es:

$$\text{HFO SERV TK [15]} = 20000 \text{ (kg)}$$

Potencia calorífica del fuel-oíl:

$$q = m \cdot c_{e_g} (t_g^s - t_g^e)$$

$$Q_{(\text{fuel})} = 20000 \text{ (kg)} \cdot 0,38 \text{ (kJ/kg}^\circ\text{C)} \cdot (60 - 45) = 114000 \text{ kJ}$$

$$Q_{(\text{fuel})} = 114000 \text{ (kJ)} / 3600 \text{ (s/h)} = 31,66 \text{ (kWh)}$$

Horas en puerto:

$$E_{(\text{fuel})} = 31,66 \text{ (kW)} \cdot 7 \text{ (h)} = 221,66 \text{ (kWh)}$$

Resultados finales:

	Demanda (kWh)
Tanques de almacén	949,62
Tanque de sedimentación	63,33
Tanque de servicio diario	221,66
Total	1234,61
	Generación (kWh)
M.M.A.A	1127,6
Diferencia	107,01

Tabla 21: Resultados finales

9. Conclusiones

Una vez presentada la propuesta, para comprobar si es viable la instalación de una caldera de gases de escape a la salida de los auxiliares, realizo los cálculos correspondientes, obteniendo como resultado que la potencia calorífica del aceite es mayor que la de gases de los auxiliares. Eso significa que, con los dos auxiliares arrancados no podemos abastecer la potencia calorífica total generada en el sistema de aceite térmico.

Seguidamente, realizando el estudio de la demanda en puerto del aceite térmico, la mayoría se centra en los tanques de almacén de fueloil. Por lo cual, el cálculo se hizo para verificar si podría abastecer todos los tanques con la potencia calorífica generada de los gases de auxiliares.

Llevado a cabo los pertinentes cálculos, constato que se pueden mantener la temperatura de los tanques de sedimentación y tanque de diario, pero no la de los tanques de almacén. Al contrario, también se podría mantener solo los tanques de almacén, pero no los tanques de sedimentación y diario.

Debido a ello, llego a la conclusión de que los gases de los motores auxiliares pueden abastecer completamente la demanda térmica del aceite térmico, para poder mantener en temperatura todos los tanques de fuel-oíl del buque. Debido a una diferencia tan pequeña, que probablemente se compensaría aumentando unos grados la temperatura de los tanques de almacén durante la navegación, con la ayuda de la caldera de recuperación del motor principal.

10. Bibliografía

- [1] “OPDR Canarias” y “OPDR Andalucía” cambian de nombre. *Juan Carlos Diaz Lorenzo* URL: <https://www.puentedemando.com/opdr-canariasyopdr-andalucia-cambian-de-nombre/>
- [2] Fluido Térmico vs vapor, Gabriella Giammarco URL: <https://www.reporteroindustrial.com/temas/Fluido-termico-vs-vapor+130810>
- [3] Instruction manual-Thermal Oil System, Goteborgs energy systems AB - GESAB (Date 04 Feb. 06).
- [4] Cleaning Instruction for HTI Exhaust Gas Boiler with soot blower facility, Goteborgs energy systems AB - GESAB.
- [5] Cleaning of hot oil heater through the cover cleansing sockets, Goteborgs energy systems AB - GESAB.
- [6] Imágenes a bordo del buque OPDR Canarias - sistema de aceite térmico.
Fuente: elaboración propia
- [7] Pirobloc/ La Caldera de fluido térmico.
URL: <https://www.pirobloc.com/sistemas-de-fluido-termico-la-guia-completa/>
- [8] Pirobloc/ Características del aceite térmico.
URL: <https://www.pirobloc.com/blog-es/aceite-termico/>
- [9] Pirobloc/ Usos industriales del aceite térmico
URL: <https://www.pirobloc.com/blog-es/usuarios-industriales-del-aceite-termico/>
- [10] Datos técnicos del motor Man Diesel engine D 2842 LE301/ Part A (14.07.99)
- [11] Los fluidos transmisores de calor URL: <https://www.pirobloc.com/blog-es/los-fluidos-transmisores-de-calor/>
- [12] Evolución del precio de los combustibles marinos URL: <https://www.anave.es/prensa/ultimas-noticias/2765-evolucion-del-precio-de-los-combustibles-marinos-2>
- [13] Características del aceite térmico.
URL: <https://www.olipes.com/eu/es/termicos/84-oliterm-20-8436044741319>
- [14] Calor específico del fuel- oíl. URL: <https://materconstrucc.revistas.csic.es>