

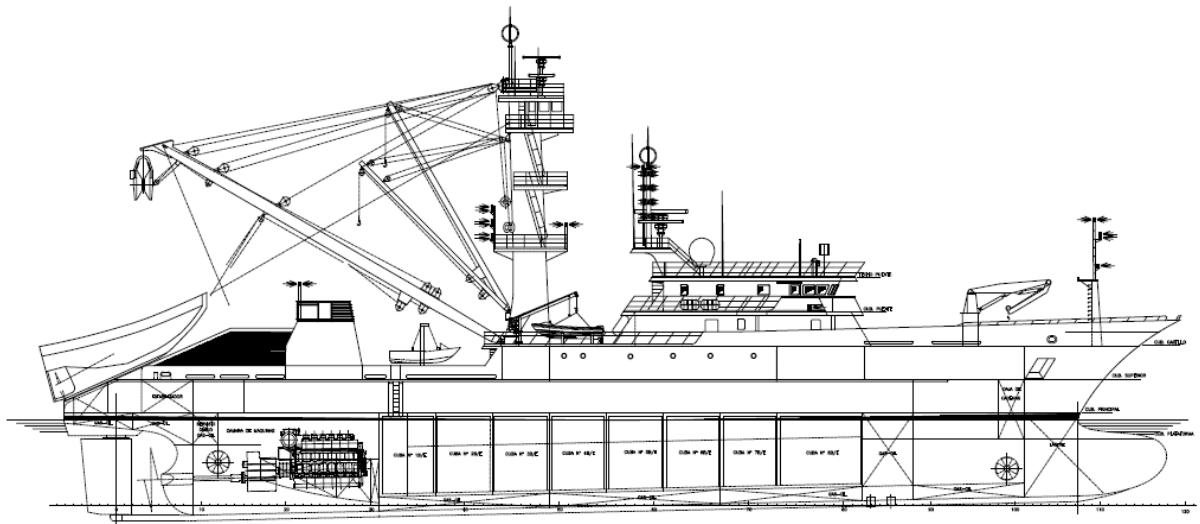
PROYECTO NÚMERO: 13-P8

BUQUE: ATUNERO CERQUERO DE 1200 TN

ALUMNO: AITOR RAMIL VIZOSO

TUTOR: MARCOS MÍGUEZ GONZÁLEZ

CUADERNO 10



RPA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

GRADO EN INGENIERÍA DE PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL BUQUE

CURSO 2.014-2015

PROYECTO NÚMERO: 13-P8

TIPO DE BUQUE: ATUNERO

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN : Bureau Veritas, SOLAS, MARPOL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 1200 Tn

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16,5 nudos al 85% MCR y 15% de Margen de Mar. Autonomía de 8500 millas.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Escotilla en cubierta

PROPULSIÓN: Una línea de ejes accionada por motor diésel.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 26 tripulantes.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Hélice transversal en proa.

Ferrol, Febrero de 2.013

ALUMNO: Aitor Ramil Vizoso.

ÍNDICE

- Introducción
- Elección de la maquinaria propulsora
 - Tipo de propulsión
 - Selección del motor
 - Reductora
 - Línea de ejes, bocina y hélice
 - Admisión de aire del motor principal
 - Exhaustación de gases del motor principal
- Justificación de la autonomía
 - Combustible
 - Aceite de lubricación
- Servicios auxiliares de la propulsión
 - Servicio de combustible
 - Servicio de refrigeración
 - Servicio de lubricación
 - Sistema de arranque con aire
 - Sistema de exhaustación
- Ventilación de cámara de máquinas
 - Ventiladores
 - Extractores

INTRODUCCIÓN

Este cuaderno incluye todo lo referente al proyecto de la cámara de máquinas, desde la elección del motor propulsor a la disposición de los elementos en cámara de máquinas, pasando por todos los equipos auxiliares que debe contener para el funcionamiento del motor. También se incluye una comprobación de autonomía.

Los datos de partida para la realización del cuaderno son los siguientes:

- $L = 76,15 \text{ m}$
- $L_{pp} = 66,44 \text{ m}$
- $B = 13,43 \text{ m}$
- $D_p = 6,55 \text{ m}$
- $D_s = 8,71 \text{ m}$
- $T = 6,21 \text{ m}$
- $Fr = 0,332$
- $C_p = 0,525$
- $C_m = 0,976$
- $C_b = 0,512$
- $C_f = 0,625$
- $\Delta = 2912,856 \text{ Tn}$

Para la realización de este cuaderno se ha seguido tanto el cumplimiento del reglamento de la sociedad de clasificación Bureau Veritas, como el Convenio de Torremolinos.

La disposición de cámara de máquinas se ha realizado buscando la optimización tanto a la hora de la construcción, como para facilitar las labores de mantenimiento y/o reparación.

ELECCIÓN DE LA MAQUINARIA PROPULSORA

TIPO DE PROPULSIÓN

De acuerdo con los requisitos del proyecto, el buque debe contar con un motor diésel de cuatro tiempos accionando una hélice de paso controlable (CCP). El motor en cuestión trabajará a un régimen constante como consecuencia de accionar una hélice de paso controlable. El motor principal transmitirá la potencia al propulsor mediante un engranaje reductor. Este reductor llevará acoplada una PTO (Power Take-Off) para la instalación de un generador de cola.

SELECCIÓN DEL MOTOR

La potencia necesaria para el motor propulsor calculada en el cuaderno 6, por lo general, no se suele corresponder con los valores de potencia de los motores comerciales, es por ello por lo que hay que estudiar las diferentes alternativas que el mercado ofrece para ver cuál se adecúa mejor a las necesidades del buque del proyecto. Para la selección del motor se tienen en cuenta varios factores: potencia, que ha de ser próxima al valor calculado en el cuaderno 6; consumo, mejor cuanto menor sea; el peso y empacho. No obstante, cabe destacar que para este buque en cuestión el empacho no será determinante, mientras que el peso y el consumo sí por condicionar la vida operativa del buque.

La potencia mínima que se ha obtenido mediante los cálculos con el NavCad y el método Holtrop es de 5180 kW. Los motores cuya potencia se asemeja a esta se muestran a continuación:

Casa Comercial	Modelo	Potencia [kW]	RPM	Disp. Cilindros	Peso [Tn]	Consumo [g/kWh]
Wärtsilä	9L32	5220	750	9 en línea	47	179
MAN	10L32/44CR	5600	750	10 en línea	56	175
MaK-Caterpillar	6M43C	5400	514	6 en línea	93	175

Tabla 1. Comparación motores.

Teniendo en cuenta los motores estudiados, en lo que a peso y potencia se refiere el que mejor se amolda a las condiciones operativas del buque es el modelo 9L32 de la casa Wärtsilä, que gira a 750 revoluciones por minuto, tiene

9 cilindros en línea, su peso es de 47 toneladas (el menor de los estudiados), la potencia que desarrolla es de 5220 kW y su consumo específico es de 179 g/kWh al régimen de funcionamiento del motor (85% de la M.C.R.).

REDUCTORA

La relación de reducción que se busca para pasar de las 750 vueltas del motor a las 147,39 vueltas del propulsor obtenidas en el Cuaderno 6 es de 5,09:1.

Se ha escogido la reductora de la casa Reintjes, modelo LAF. Esta reductora es de uso común en este tipo de buques, ya que su ámbito de aplicación típico es para buques de trabajo con propulsores de paso controlable. Es un reductor con embrague y carcasa de acero, con un rango de potencias que va desde 500 a 6.000 kW. El hecho de disponer de embrague permite el desacoplamiento entre motor y reductora, y reductora y propulsor.

El alternador de cola es de la casa Indar, modelo 380 V, 50 Hz. Este alternador tendrá una potencia de 1000 kW a 1500 RPM. Este alternador se ha calculado en el Cuaderno 11, Balance eléctrico.

LÍNEA DE EJES, BOCINA Y HÉLICE

La configuración típica de este tipo de buques sitúa la cámara de máquinas en popa. Esto es para optimizar la zona de carga del buque, y además aísla la zona de habitación de ruido y disminuye las vibraciones en el eje, al ser más corto.

La línea de ejes consta de dos partes: el eje de cola y el eje intermedio. Los diámetros de estos ejes se han calculado según el reglamento Bureau Veritas, Parte C, Sección 7, apartado 2.2, 2.3 y 2.4.

Para el diámetro mínimo del eje intermedio ofrece la siguiente expresión:

$$d = F \cdot k \cdot \left[\frac{P}{n \cdot (1 - Q^4)} \cdot \frac{560}{Rm + 160} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= 100 \cdot 1,25 \cdot \left[\frac{4220}{143,1 \cdot (1 - 0^4)} \cdot \frac{560}{660 + 160} \right]^{\frac{1}{3}} = 355,15 \text{ mm}$$

Dónde:

- Q: Parámetro que varía si el eje es macizo o hueco. En este caso se ha elegido un eje macizo de acero inoxidable 316L, por lo tanto $Q=0$.
- F: Factor que depende del tipo de propulsión. En el caso del buque de proyecto vale 100, por llevar motor diesel.
- K: Factor que depende de las características de diseño de los ejes. En este caso $k=1.25$, para acoplamiento elástico.
- n: RPM del eje. $n=143,1$ r.p.m.
- P: Potencia máxima del motor para la labor de propulsión, descontando la PTO. 4220 kW.
- Rm: Valor de la resistencia a la tracción mínima del material del eje. El eje es, como se ha dicho anteriormente, acero inoxidable 316L. La resistencia a tracción de este material oscila entre 460 MPa y 860 MPa. Se toma un valor intermedio, por lo que $Rm = 660 \text{ MPa} = 660 \text{ N/mm}^2$.

Para el diámetro mínimo del eje de cola, el reglamento ofrece esta otra expresión:

$$dp = 100 \cdot kp \cdot \left[\frac{P}{n \cdot (1 - Q^4)} \cdot \frac{560}{Rm + 160} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= 100 \cdot 1,26 \cdot \left[\frac{4220}{147,4 \cdot (1 - 0^4)} \cdot \frac{560}{660 + 160} \right]^{\frac{1}{3}} = 354,5 \text{ mm}$$

Dónde:

- Q: Parámetro que varía si el eje es macizo o hueco. En este caso se ha elegido un eje macizo de acero inoxidable 316L, por lo tanto $Q=0$.

- F: Factor que depende del tipo de propulsión. En el caso del buque de proyecto vale 100, por llevar motor diesel.
- Kp: Factor que equivale a 1,26 para hélices de paso controlable.
- n: RPM del eje. $n=147,39$ r.p.m.
- P: Potencia máxima del motor para la labor de propulsión, descontando la PTO. 4220 kW.
- Rm: Valor de la resistencia a la tracción mínima del material del eje. El eje es, como se ha dicho anteriormente, acero inoxidable 316L. La resistencia a tracción de este material oscila entre 460 Mpa y 860 Mpa. Se toma un valor intermedio, por lo que
 $Rm = 660 \text{ MPa} = 660 \text{ N/mm}^2$.

Se observa que la diferencia entre el eje intermedio y el de cola es mínima, por lo que se fabricarán los dos de la misma medida. Esta medida será la del diámetro mayor incrementada en un 3% para posibles torneados futuros. De este modo el diámetro final de los ejes es de $355,15 \cdot 1,03 = 365,80$ mm ≈ 366 mm.

ADMISIÓN DE AIRE DEL MOTOR PRINCIPAL

De acuerdo con la Project Guide del motor, con una carga del 100% la demanda de aire es de 9,85 kg/seg. Considerando una temperatura de entrada de 25 °C, aplicando una densidad de aire igual a $1,205 \text{ kg/m}^3$, obtenemos un caudal de aire igual a $8,17 \text{ m}^3/\text{seg}$.

EXHAUSTACIÓN DE GASES DEL MOTOR PRINCIPAL

De acuerdo con la Project Guide del motor, con una carga del 100% el flujo de gases de exhaustación es de 10,13 kg/seg. A partir de este dato se dimensionarán los conductos de exhaustación. Además se tendrá en cuenta la temperatura de salida de los gases de exhaustación, para el cálculo del aislamiento.

JUSTIFICACIÓN DE LA AUTONOMÍA

El requisito impuesto por la RPA es que la autonomía del buque sea de 8500 millas, de acuerdo con lo calculado en el cuaderno 1 del presente

proyecto, esto se corresponde con una autonomía aproximada de 22 días a 16,5 nudos de velocidad de servicio.

COMBUSTIBLE

Como combustible de alimentación de los motores se utiliza el diésel-oil, cuyas características vienen definidas tanto en la Project Guide del motor principal como en las de los motores auxiliares.

En los 22 días de autonomía el buque navega en distintas condiciones: navegación y pesca. No obstante, para el cálculo del consumo aproximado de los motores durante los días de autonomía basta con suponer que el buque se encuentra en la condición de navegación y aplicar un margen para cubrir posibles variaciones en el consumo.

A continuación se detalla el consumo del motor principal y de los motores auxiliares a la propulsión.

○ **MOTOR PRINCIPAL**

El consumo se calcula teniendo en cuenta las horas totales de funcionamiento del motor correspondientes a la autonomía fijada, el consumo que proporciona la guía de proyecto del motor al régimen de potencia especificado en la RPA y el margen de mar considerado. De acuerdo con esto, el consumo total de diésel oil en los 22 días de navegación resulta:

$$D.O = F.C \times H \times BKW \times M.C.R$$

$$D.O = 179 \times 528 \times 5220 \times 0,85 \times 10^{-3} = 419349 \text{ kg} = 419,35 \text{ Tn}$$

Dónde:

- F.C. es el consumo de combustible proporcionado por la guía del motor al régimen de funcionamiento especificado. En el caso de este motor se corresponde con 179 g/kWh al 85 % de la M.C.R.
- H. son las horas de funcionamiento del motor ($22 \text{ días} \times 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 528 \text{ horas}$).
- BKW es la potencia del motor en kW (5220 kW).

- M.C.R. es el régimen de funcionamiento del motor y para este caso se corresponde con un 85 %, tal y como se especifica en la RPA.

ACEITE DE LUBRICACIÓN

Del mismo modo que se ha calculado el consumo total de combustible de los motores para los 22 días de autonomía del buque, se calcula a continuación la capacidad necesaria para los tanques de aceite de lubricación de los mismos. El consumo de aceite se obtiene, una vez más, de la guía de proyecto de los motores.

○ **MOTOR PRINCIPAL**

Para el motor principal de acuerdo con la guía de proyecto del mismo el consumo de aceite en g/kWh es de 0,35 cuando el motor trabaja al 100% de la carga, como no se poseen datos del consumo al 85 % de la M.C.R. se considera el consumo al 100% para calcular las capacidades mínimas de los tanques de aceite.

$$\begin{aligned} \text{consumo Aceite} &= O.C \times H \times BKW \\ \text{consumo Aceite} &= 0,35 \times 528 \times 5220 \times 10^{-6} = 0,96 t \end{aligned}$$

La capacidad de los tanques de aceite será por lo tanto como mínimo de aproximadamente 1 tonelada cada uno.

SERVICIOS AUXILIARES DE LA PROPULSIÓN

A continuación se describen los siguientes sistemas auxiliares que deben llevar los motores propulsores.

- Servicio de combustible
- Servicio de refrigeración
- Servicio de lubricación
- Sistema de arranque con aire
- Sistema de exhaustación

Todos los sistemas están constituidos por los elementos requeridos por el fabricante del motor, especificados en la Project Guide.

SERVICIO DE COMBUSTIBLE

Este servicio tiene como objetivo suministrar combustible en condiciones óptimas al motor propulsor y a los motores generadores.

Para el correcto funcionamiento del sistema de suministro de combustible deben existir medios de almacenamiento, purificación y trasiego. Estos equipos se detallan a continuación y se dimensionarán de acuerdo con lo especificado en la guía del motor.

Lo primero que hay que indicar a la hora de dimensionar los equipos que pertenecen al servicio de combustible es el tipo de combustible con el que va a trabajar el motor. El motor principal se alimentará de HFO (Heavy Fuel Oil) cuando se encuentre en navegación oceánica y cambiará a MDO (Marine Diesel Oil) en las proximidades de los puertos con el objetivo de disminuir las emisiones de óxidos de azufre en los puertos, como medida adicional para la futura entrada en vigor de los nuevos límites de emisiones, el motor incluye un sistema de lavado de los gases de escape.

El hecho de que el buque pueda llegar a operar utilizando HFO obliga a que existan calentadores de combustible para que se produzca un trasiego eficaz del mismo.

El fabricante del motor principal fija unas características para los combustibles que se utilizan para su funcionamiento. Dichas características se recogen en las siguientes tablas:

Property	Unit	ISO-F-DMA	ISO-F-DMZ	ISO-F-DMB	Test method ref.
Viscosity, before injection pumps, min. ¹⁾	cSt	2.0	2.0	2.0	
Viscosity, before injection pumps, max. ¹⁾	cSt	24	24	24	
Viscosity at 40°C, min.	cSt	2	3	2	
Viscosity at 40°C, max.	cSt	6	6	11	ISO 3104
Density at 15°C, max.	kg/m ³	890	890	900	ISO 3675 or 12185
Cetane index, min.		40	40	35	ISO 4264
Sulphur, max.	% mass	1.5	1.5	2	ISO 8574 or 14596
Flash point, min.	°C	60	60	60	ISO 2719
Hydrogen sulfide, max. ²⁾	mg/kg	2	2	2	IP 570
Acid number, max.	mg KOH/g	0.5	0.5	0.5	ASTM D664
Total sediment by hot filtration, max.	% mass	—	—	0.1 ³⁾	ISO 10307-1
Oxidation stability, max.	g/m ³	25	25	25 ⁴⁾	ISO 12205
Carbon residue: micro method on the 10% volume distillation residue max.	% mass	0.30	0.30	—	ISO 10370
Carbon residue: micro method, max.	% mass	—	—	0.30	ISO 10370
Pour point (upper) , winter quality, max. ⁵⁾	°C	-6	-6	0	ISO 3016
Pour point (upper) , summer quality, max. ⁵⁾	°C	0	0	6	ISO 3016
Appearance	—	Clear and bright ⁶⁾		^{3) 4) 7)}	
Water, max.	% volume	—	—	0.3 ³⁾	ISO 3733
Ash, max.	% mass	0.01	0.01	0.01	ISO 6245
Lubricity, corrected wear scar diameter (wsd 1.4) at 60°C , max. ⁸⁾	µm	520	520	520 ⁷⁾	ISO 12156-1

Tabla 2. Características MDO.

Property	Unit	Limit HFO 1	Limit HFO 2	Test method ref.
Viscosity, before injection pumps ¹⁾	cSt	16...24	16...24	
Viscosity at 50°C, max.	cSt	700	700	ISO 3104
Density at 15°C, max.	kg/m ³	991 / 1010 ²⁾	991 / 1010 ²⁾	ISO 3675 or 12185
CCAI, max. ³⁾		850	870	ISO 8217, Annex F
Sulphur, max. ^{4) 5)}	% mass	Statutory requirements		ISO 8754 or 14596
Flash point, min.	°C	60	60	ISO 2719
Hydrogen sulfide, max. ⁶⁾	mg/kg	2	2	IP 570
Acid number, max.	mg KOH/g	2.5	2.5	ASTM D664
Total sediment aged, max.	% mass	0.1	0.1	ISO 10307-2
Carbon residue, micro method, max.	% mass	15	20	ISO 10370
Asphaltenes, max. ¹⁾	% mass	8	14	ASTM D 3279
Pour point (upper), max. ⁷⁾	°C	30	30	ISO 3016
Water, max.	% volume	0.5	0.5	ISO 3733 or ASTM D6304-C ¹⁾
Water before engine, max. ¹⁾	% volume	0.3	0.3	ISO 3733 or ASTM D6304-C ¹⁾
Ash, max.	% mass	0.05	0.15	ISO 6245 or LP1001 ¹⁾
Vanadium, max. ⁵⁾	mg/kg	100	450	ISO 14597 or IP 501 or IP 470
Sodium, max. ⁵⁾	mg/kg	50	100	IP 501 or IP 470
Sodium before engine, max. ^{1) 5)}	mg/kg	30	30	IP 501 or IP 470
Aluminium + Silicon, max.	mg/kg	30	60	ISO 10478 or IP 501 or IP 470
Aluminium + Silicon before engine, max. ¹⁾	mg/kg	15	15	ISO 10478 or IP 501 or IP 470
Used lubricating oil, calcium, max. ⁸⁾	mg/kg	30	30	IP 501 or IP 470
Used lubricating oil, zinc, max. ⁸⁾	mg/kg	15	15	IP 501 or IP 470
Used lubricating oil, phosphorus, max. ⁸⁾	mg/kg	15	15	IP 501 or IP 500

Tabla 3. Características HFO.

○ TRASIEGO Y PURIFICACIÓN DE COMBUSTIBLE

Es necesario disponer dos tanques de sedimentación separados, uno para el HFO y otro para el MDO.

Tanque de sedimentación HFO

Con el objetivo de asegurar la correcta sedimentación del combustible, cada uno de los tanques debe tener una capacidad suficiente para albergar el combustible durante un mínimo de 24 horas considerando el máximo consumo de combustible especificado por la guía del fabricante del motor.

$$V[m^3] = \frac{MCR[kW] \times C_e \left[\frac{g}{kWh} \right] \times A[horas]}{\rho \left[\frac{g}{m^3} \right]} = \frac{5220 \times 184 \times 24}{991 \times 10^3} \\ = 23,26 m^3$$

Tanque de sedimentación de MDO

La capacidad del tanque de sedimentación de diésel oil es similar a la del de HFO con la diferencia de que la densidad del diésel es 900 kg/m³.

$$V[m^3] = \frac{MCR[kW] \times C_e \left[\frac{g}{kWh} \right] \times A[horas]}{\rho \left[\frac{g}{m^3} \right]} = \frac{5220 \times 184 \times 24}{900 \times 10^3} \\ = 25,61 m^3$$

Tanques de uso diario de HFO

Se montarán dos a bordo de manera que cualquiera de los dos tanques sea capaz de suministrar combustible al motor propulsor.

Estos tanques se dimensionan de la misma forma que los de sedimentación con la diferencia de que para estos se considera una autonomía de 8 horas que es el mínimo que fijan los reglamentos.

$$V[m^3] = \frac{MCR[kW] \times C_e \left[\frac{g}{kWh} \right] \times A[horas]}{\rho \left[\frac{g}{m^3} \right]} = \frac{5220 \times 184 \times 8}{991 \times 10^3}$$

$$= 7,75 m^3$$

Tanque de uso diario de MDO

Se monta un solo tanque de uso diario para el diésel oil ya que en condiciones normales de navegación se utiliza el HFO. La capacidad de dicho tanque aparece indicada en la siguiente ecuación:

$$V[m^3] = \frac{MCR[kW] \times C_e \left[\frac{g}{kWh} \right] \times A[horas]}{\rho \left[\frac{g}{m^3} \right]} = \frac{5220 \times 184 \times 8}{900 \times 10^3}$$

$$= 8,54 m^3$$

Tanque de lodos

De acuerdo con la Regla 17 del ANEXO I del MARPOL “Todos los buques cuyo arqueado bruto sea igual o superior a 400 toneladas tendrán un tanque o tanques de capacidad suficiente, teniendo en cuenta el tipo de maquinaria con que estén equipados y la duración de sus viajes, para recibir los residuos (fangos) que no sea posible eliminar de otro modo”. Entendiendo como fangos “los resultantes de la purificación de los combustibles y aceites lubricantes y de las fugas de hidrocarburos que se producen en los espacios de máquinas.”

La capacidad de dicho tanque de acuerdo con el citado convenio es el máximo de:

- $V=2 m^3$.
- $V = 0,5 \times K_1 \times C \times D$, donde K_1 es una constante que depende del combustible utilizado, C es el consumo diario en toneladas y D es la autonomía entre puertos.

$$V = 0,5 \times 0,005 \times \frac{179 \times 0,85 \times 5220 \times 24}{10^6} \times \frac{8500}{16,5 \times 24} = 1 \text{ m}^3$$

Por lo tanto la capacidad del tanque de lodos será de 2 m³ por carecer de una incineradora de lodos.

Purificadora de combustible (HFO)

Este equipo tiene como objetivo eliminar el agua y las impurezas presentes en el combustible y que la decantación no ha podido eliminar. El caudal de la depuradora se calcula con la fórmula que proporciona el fabricante.

$$Q = \frac{P \times b \times 24}{\rho \times t} = \frac{5220 \times 179 \times 1,15 \times 24}{900 \times 23} = 1132 \text{ l/h}$$

Dónde:

- P = M.C.R. del motor [kW].
- b = consumo específico del motor más un 15 % de margen de seguridad [g/kWh].
- ρ = densidad del combustible en [kg/m³].
- t = tiempo de separación [h] (normalmente 23 h o 23.5 h).

Purificadora de combustible (MDO)

El fabricante recomienda montar una purificadora separada para MDO para los buques que operen habitualmente con HFO. Otra opción es utilizar la purificadora de HFO cuando se encuentra en espera.

Bomba de alimentación de la purificadora(HFO)

- Caudal: se corresponde con el caudal de la purificadora, es decir, 1132 l/h.
- Presión de descarga: 5 bar (de acuerdo con lo especificado en la guía del motor para el fuel oil pesado).

Pre calentador de combustible

Para la operación con fuel oil pesado es necesario calentar el combustible para que el trasiego del mismo se produzca adecuadamente. La capacidad de dicho precalentador se corresponde con la fórmula que se muestra a continuación.

$$P = \frac{Q \times \Delta T}{1700} = \frac{1132 \times 48}{1700} = 31,96 \text{ kW}$$

Dónde:

- P = potencia del calentador [kW].
- Q = capacidad de la bomba de alimentación del separador [l/h].
- ΔT = aumento de temperature en el intercambiador [°C]. Se utiliza habitualmente un aumento de 48 °C para fuel oil pesado.

Bomba de trasiego de combustible (HFO)

Suelen trabajar a presiones de descarga entre 3 y 4 bar, para vencer las pérdidas de carga que existen, y su caudal viene determinado por la capacidad de los tanques de sedimentación, ya que deben ser capaces de llenarlos en dos horas.

La bomba que se montará para el trasiego de fuel oil pesado tiene las siguientes características:

- Presión de descarga: 4 bar.
- Caudal:

$$Q = \frac{V_{\text{sedimentaciónHFO}}}{2} = \frac{23,26}{2} = 11,63 \text{ m}^3/\text{h}$$

Bomba de trasiego de combustible (MDO)

Las características son similares a las de la bomba de trasiego de HFO variando el caudal por variar también el volumen del tanque de sedimentación del diésel.

- Presión de descarga: 4 bar.
- Caudal:

$$Q = \frac{V_{\text{sedimentaciónMDO}}}{2} = \frac{25,61}{2} = 12,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

○ **SERVICIO DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE**

Este servicio incluye los elementos necesarios para alimentar los motores diésel a bordo, desde los tanques.

Cada tanque dispone de una línea de alimentación y otra de retorno con sus respectivas válvulas.

El servicio de alimentación de combustible se estudiará de forma separada para el motor principal, el grupo de emergencia y el resto de motores que van a bordo.

Alimentación del motor principal

Para el servicio de alimentación del motor principal se definen los siguientes equipos:

- Bombas de alimentación:

Estas bombas son utilizadas para impulsar el combustible desde el tanque de uso diario hasta el motor principal. El accionamiento de estas bombas se hace mediante motores eléctricos de 2,2 kW de potencia. Se instalarán a bordo dos bombas de este tipo, una para uso habitual y otra de respeto.

Estas bombas deberán suministrar un caudal que triplique el consumo de combustible del motor, con objeto de asegurar el cebado de las bombas de inyección.

$$Q_{motor} = Consumo_{esp} \cdot P \cdot \frac{1}{0.85} = \frac{179}{10^6} \cdot 5220 \cdot \frac{1}{0.85} = 1,10 \text{ m}^3/h$$

Instalando unas bombas que aporten un caudal de 3,5 m³/h y una presión de 5 bar, se satisfacen los requerimientos necesarios.

- Válvula reguladora de presión:

El hecho de mantener la presión en el interior del motor en un rango de entre 3 y 5 bar, hace necesaria la instalación de una válvula de este tipo en el ramal de retorno. Así se consigue garantizar el llenado de toda la cámara de la bomba inyectora.

- Filtro de combustible:

A lo largo del ramal de alimentación de combustible se disponen de dos juegos de filtros: uno antes de las bombas de alimentación, y otro antes de la entrada al motor principal.

- Tanques de fugas limpias:

Estos tanques recogen las posibles fugas de combustible que se dan en las bombas de inyección. El volumen de este tanque, tal y como recomienda el fabricante del motor en la Project Guide, es de 1m³.

Alimentación del grupo de emergencia

Tanto la bomba como los filtros necesarios ya se encuentran en el interior del grupo de emergencia. Para la alimentación de este grupo se dispone de dos líneas (alimentación y retorno) con las válvulas correspondientes. El Convenio de Torremolinos exige dos sistemas de arranque independientes para este grupo.

Alimentación del resto de motores

El servicio de alimentación del resto de motores instalados a bordo, está formado por los mismos equipos y elementos que el servicio del motor principal. Sin embargo, estos elementos (bombas, válvulas reguladoras de presión) están en el interior de los motores, al ser de menor tamaño que las del motor principal. Para este servicio se define un único juego de filtros, que se dispondrá a la entrada de los motores.

SERVICIO DE REFRIGERACIÓN

Este servicio tiene como objetivo contrarrestar todos los procesos térmicos que se dan en el buque utilizando el agua como fuente fría.

Se distinguen dentro de este servicio dos sistemas: un sistema de refrigeración directa, donde el agua salada refrigera los equipos o enfría agua dulce contenida en un circuito cerrado propio de esos equipos; y un sistema de refrigeración centralizado, donde un pequeño circuito de agua salada enfría agua dulce contenida en otro circuito más grande, mediante un intercambiador.

En este buque se ha decidido utilizar un sistema de refrigeración centralizada, ya que con este sistema es necesario un menor número de metros de tubería en la cámara de máquinas. Además, al reducir el uso de agua salada, se reduce el uso de tubería galvanizada.

Para la definición detallada del sistema, se dividirá en el circuito de agua dulce y el circuito de agua salada.

○ CIRCUITO DE AGUA DULCE

Este circuito suministrará agua dulce a los siguientes equipos:

Circuito de refrigeración del motor principal

Para la refrigeración del motor principal se disponen los siguientes equipos:

- Intercambiador aceite/agua dulce
- Intercambiador aire/agua dulce
- Generadores de agua dulce
- Bombas de refrigeración del motor principal: Se dispondrán dos bombas de refrigeración, una para el circuito de alta temperatura y otra para el de baja. Además se incluirán dos bombas de respeto que entrarán en funcionamiento en el momento en que fallen las otras. El fabricante del motor estima en la Project Guide que empleando bombas de 90 m³/h a 3,2 bares se garantiza la refrigeración del motor en todo su rango de carga. Estas bombas serán accionadas por motores eléctricos de 15 kW de potencia.
- Bombas de refrigeración del equipo auxiliar
- Tanque de compensación
- Desaireador
- Precalentador del motor principal: Se instalará un precalentador a la entrada del circuito de alta temperatura con objeto de alcanzar una temperatura de aproximadamente 70 °C en los cilindros del motor antes del arranque. Este equipo tiene un consumo de 5 kW/cilindro, por lo que se obtiene un consumo total de 45 kW.
- Bomba del precalentador: El fabricante del motor dimensiona esta bomba acorde a: un caudal de 0,4 m³/h por cilindro, y presión de descarga de 1 bar. La bomba será de 3,6 m³/h y 1 bar de presión.
- Válvulas termostáticas: El uso de estas válvulas se limita a la apertura o cierre automático del paso del fluido, dependiendo de la temperatura.

Circuito de refrigeración de motores auxiliares

Los motores auxiliares cuentan con su propio circuito cerrado de agua dulce. Esta agua dulce es enfriada en un intercambiador agua/agua empleando el agua dulce del sistema de refrigeración centralizado.

Circuito de refrigeración del grupo de emergencia

El grupo de emergencia es de refrigeración por aire. Para mejorar la refrigeración del mismo, se instala un ventilador que es arrastrado por el propio motor.

Compresores de aire

Servicio de circulación de condensadores

Generadores de agua dulce

○ **CIRCUITO DE AGUA SALADA**

El agua salada tiene como finalidad el enfriamiento del agua dulce del sistema de refrigeración centralizada. Además será necesaria el agua salada para la refrigeración de las cubas, el sistema de contra incendios y para el lastrado del buque.

Este circuito tiene los siguientes elementos:

Tomas de mar

El buque contará con cuatro tomas de mar, encargadas de satisfacer la demanda de agua salada para el sistema de refrigeración, para el sistema contra incendios, para la refrigeración de las cubas y para el sistema de lastre. La disposición de las tomas de mar es la siguiente:

- Dos tomas de mar en CCMM, a proa del motor.
- Una toma de mar en el paso entre cubas, en el centro del buque.
- Una toma de mar a proa de las cubas, para la bomba de CI de emergencia.

Cada toma de mar consiste en un cajón estructural, situada por debajo de la flotación, que consta de unas aberturas al exterior con rejilla, una brida de conexión de dónde aspirarán las bombas, una brida de conexión para aireación de la propia toma de mar y, por último, otra brida para el soplado con aire usado para limpieza.

Filtros

Inmediatamente después de las válvulas que regulan el paso de flujo de las tomas de mar, se sitúan un filtro, que tienen como misión evitar el paso de fango o arena al interior de las tuberías.

Bombas de circulación e intercambiador

Estas bombas serán dimensionadas para que abastezcan el caudal necesario de agua salada para el enfriamiento de agua dulce del sistema de refrigeración central.

- Intercambiador

Para dimensionar el intercambiador de calor agua salada/agua dulce, es necesario saber la cantidad de calor que hay que disipar. En la siguiente tabla se recogen los valores de calor a disipar.

Elemento	Calor [kW]	Fuente
Motor principal	2462	Project Guide motor
Motores auxiliares	1414,94	Tomando como dato el calor disipado por kW de potencia del motor principal
Resto de equipos	738,6	30% del calor disipado por el motor principal
<i>Total</i>	<i>4615,54</i>	

Tabla 4. Calor motores y equipos CCMM.

Además, es necesario conocer los caudales necesarios por los equipos anteriores:

Elemento	Caudal [m ³ /h]	Fuente
Motor principal	180	Project Guide motor
Motores auxiliares	103,45	Tomando como dato el calor disipado por kW de potencia del motor principal
Resto de equipos	54	30% del calor disipado por el motor principal
<i>Total</i>	<i>337,45</i>	

Tabla 5. Caudales necesarios.

Los valores de las temperaturas de entrada y salida de los circuitos, de los caudales y presiones, se toman de la Project Guide del motor.

Circuito de alta:

$$T_{\text{Entrada}} = 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Salida}} = 98 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P = 450 \text{ kPa}$$

$$Q = 90 \text{ m}^3/\text{h}$$

Circuito de baja:

$$T_{\text{Entrada}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Salida}} = 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P = 450 \text{ kPa}$$

$$Q = 90 \text{ m}^3/\text{h}$$

Las temperaturas de entrada y salida del intercambiador principal serán iguales a las del circuito de baja. Se supone una temperatura de agua salada de 30 °C, por ser lo más desfavorable posible.

El calor cedido por el agua dulce en el intercambiador es el siguiente:

$$q = Q \cdot \rho \cdot c_e \cdot \Delta T$$

Dónde:

- q : Calor cedido por el agua dulce.
- Q : Caudal, 337.45 m³/h. Tomaremos 400 m³/h aplicando un margen del 20%.
- c_e : Calor específico agua dulce, 4180 J/kg·K.
- ΔT : Diferencia de temperaturas, 38 – 25 = 13 °C.

Resultando:

$$q = \frac{400}{3600} \cdot 1 \cdot 4180 \cdot 13 = 6037,8 \text{ kW}$$

El caudal de agua salada que se necesita, suponiendo una temperatura de salida del intercambiador de 55 °C, es el siguiente:

$$Q_{AS} = \frac{q}{(c_e \cdot \Delta T \cdot \rho)}$$

Dónde:

- q : Calor absorbido por el agua salada, 6037,8 kW.
- ρ : Densidad agua salada, 1,025 tn/m³.
- c_e : Calor específico agua salada, 3950 J/kg·K.
- ΔT : Diferencia de temperaturas, 55 – 30 = 25 °C.

Resultando:

$$Q_{AS} = \frac{6037,8 \cdot 3600}{(3950 \cdot 25 \cdot 1,025)} = 214,74 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Bombas de circulación de agua salada

Estas bombas son las encargadas de tomar el agua de los colectores e impulsarla a través del intercambiador. Deberán de mover al menos el caudal calculado anteriormente. Se dispondrá de una bomba para uso habitual y una de respeto. Las características de dicha bomba serán:

- $P = 2,5 \text{ bar}$
- $Q = 215 \text{ m}^3/\text{h}$

- Rendimiento = 0,60

$$P_{ot} = \frac{Q \cdot P}{\eta} = \frac{\frac{215}{3600} \cdot 2,5 \cdot 10^5}{0,60} = 24,88 \text{ kW}$$

SERVICIO DE LUBRICACIÓN

En este apartado se detallarán todos los elementos necesarios para el almacenamiento, mantenimiento y uso del aceite de lubricación. Los equipos más significativos que necesitan lubricación a bordo son:

- Motor principal
- Motores auxiliares
- Reductora

Lubricación del motor principal

El aceite lubricante cumple, dentro del motor principal, con las siguientes misiones:

- Reduce el rozamiento entre piezas móviles del motor.
- Refrigeración.
- Actúa como sellante entre los segmentos del pistón y la camisa del cilindro.
- Previene al motor de corrosión.

Los componentes del servicio de lubricación del motor principal son los siguientes:

- Tanque almacén: Este tanque tiene como misión cubrir el posible consumo de aceite de lubricación durante la navegación.
- Tanque de circulación: Este tanque contiene el aceite de lubricación del motor, y se encuentra justo debajo del mismo. El aceite es aspirado mediante la bomba de lubricación, y luego regresa al tanque por gravedad.
- Tanque de aceite sucio: Este tanque recoge el aceite del tanque de circulación del motor principal, de los motores auxiliares y de la reductora que se encuentre contaminado.
- Tanque de lodos: Es común para el servicio de lubricación y combustible.

- Bombas de lubricación: Acorde al fabricante del motor, el servicio cuenta con bomba de prelubricación (8 kW), bomba de lubricación y bomba de reserva (55 kW).
- Filtros: Se instalarán filtros tanto a la entrada de las bombas como a la entrada del motor.
- Separadores de aceite: Se encarga de la purificación del aceite de la planta. Se centrifugará la totalidad del aceite como mínimo dos veces al día. Para ello se dimensiona una separadora de 2 m³/h, con una potencia de 6 kW.
- Enfriador de aceite: Disminuye la temperatura del aceite lubricante antes de entrar en el motor principal. Es un intercambiador de calor agua dulce/aceite.

Lubricación de los motores auxiliares

Al ser motores de cárter húmedo, no necesitan tanque de circulación ni equipos externos al motor, salvo una bomba de lubricación de emergencia, de 6 kW; y un tanque almacén. Este tanque de almacén cubre posibles consumos de aceite o lleva una capacidad de aceite suficiente para cambiar el aceite de los motores auxiliares en el mar, en caso de que este hubiera perdido sus propiedades lubricantes.

Bombas de trasiego

Para la circulación de aceite desde los tanques de almacén a los distintos equipos a lubricar, el buque cuenta con dos bombas de trasiego. Estas bombas deberán ser capaces de trasegar todo el aceite en 1 hora. Para ello se instalan dos bombas de 10 m³/h y 5 kW de potencia.

Reductora

Para la lubricación de la reductora se dispone de dos sistemas:

- Lubricación de los engranajes, que consta de las siguientes partes:
 - Tanque almacén.
 - Enfriador de aceite.
 - Bombas de lubricación, de 10 kW de potencia.
 - Toma de aceite.
 - Filtro.
- Sistema hidráulico del embrague

SISTEMA DE ARRANQUE CON AIRE

El arranque del motor principal y de los motores auxiliares se hará empleando aire comprimido. Las primeras dos revoluciones del motor se realizan únicamente mediante el aire comprimido, y a partir de ahí el motor funciona inyectando fuel.

Para garantizar el funcionamiento de los componentes del sistema de aire comprimido, el aire comprimido tiene que estar libre de partículas sólidas y aceite.

La presión nominal utilizada para el arranque de los motores, de acuerdo con la Project Guide, es de 3 MPa (30 bar).

Compresor de aire de arranque

Se deben instalar al menos dos compresores de aire de arranque. Se recomienda que los compresores sean capaces de llenar el depósito de aire de arranque desde presión mínima a presión máxima en un tiempo de 30 minutos.

Separador de aceite y agua

Se instalará un separador de aceite y agua entre el compresor y las botellas de almacenamiento de aire comprimido, con objeto de eliminar los restos de aceite y el agua originada por la condensación y garantizar así el correcto funcionamiento de los equipos.

Botellas de aire comprimido

La capacidad de las botellas de aire de arranque deben estar dimensionadas para una presión nominal máxima de 30 bares.

La capacidad de aire necesaria se calculará con la siguiente expresión:

$$V = 36 \cdot C \cdot \frac{N}{Pb - 12} = 36 \cdot 3,58 \cdot \frac{9}{30 - 12} = 64,44 \text{ l}$$

Dónde:

- C es la cilindrada por cilindro
- N es número de cilindros

- Pb es la presión nominal máxima

SISTEMA DE EXHAUSTACIÓN

El conducto de exhaustación será diseñado de forma que sea lo más corto y recto posible. La velocidad máxima de flujo de gases será de 40 m/s a plena potencia. La Project Guide del motor facilita la siguiente expresión para calcular la velocidad de los gases de escape:

$$V = \frac{4 \cdot m}{1,3 \cdot \left(\frac{273}{273+T}\right) \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 10,13}{1,3 \cdot \left(\frac{273}{273+360}\right) \cdot \pi \cdot 0,8^2} = 35,95 \text{ m/s}$$

Dónde:

- m: Flujo de gases de exhaustación, 10,13 kg/s según la guía del motor.
- T: Temperatura de los gases de exhaustación, 360 °C según la guía del motor.
- D: Diámetro del conducto de exhaustación. Se toma una aproximación de 800 mm. que proporciona la guía del motor.

La velocidad es menor a 40 m/s, lo que habilita el uso de un conducto de ese diámetro. Este conducto irá equipado con aislamiento de 30 mm. de espesor.

VENTILACIÓN DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS

La ventilación tiene como objetivo tanto el aporte de oxígeno necesario para la combustión de los motores principales y auxiliares, como la disipación de calor emitido por motores y resto de equipos.

VENTILADORES:

El diseño de la ventilación de la cámara de máquinas se hará de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 8861.

La capacidad de la planta de ventilación debe ser tal que proporcione unas condiciones de trabajo confortables en la cámara de máquinas, que suministren el aire necesario para la combustión de los motores, y que evite el calentamiento excesivo de los equipos susceptibles a calentarse.

El flujo de aire debe ser como mínimo el valor más alto obtenido a partir de las siguientes expresiones:

- $Q = q_c + q_h$
- $Q = 1,5 \cdot q_c$

Dónde:

- Q : Flujo de aire necesario para la ventilación.
- q_c : Flujo de aire necesario para la combustión.
- q_h : Flujo de aire necesario para la evacuación de calor.

Obtención de q_c :

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

Dónde:

- q_{dp} : Flujo de aire para la combustión del motor principal [m^3/seg].
- q_{dg} : Flujo de aire para la combustión de los motores auxiliares [m^3/seg].

$$q_{dp} = \frac{P_{dp} \cdot m_{ad}}{\rho} = \frac{5220 \cdot 0.002}{1,13} = 9,24 \text{ m}^3/seg$$

Dónde:

- P_{dp} : Potencia del motor propulsor, 5220 kW.
- M_{ad} : Aire necesario para para la combustión del motor principal, 0.002 kg/kW·seg para motores de 4T.
- ρ : 1,13 kg/ m^3 .

Se observa que este valor es muy similar al ofrecido por el fabricante del motor en la Project Guide, por lo que se calificará como válido.

$$q_{dg} = \frac{P_{dg} \cdot m_{ad}}{\rho} = \frac{3000 \cdot 0.002}{1,13} = 5,31 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Dónde:

- P_{dg} : Potencia de los motores auxiliares, 3000 kW.
- m_{ad} : Aire necesario para para la combustión de los motores principales, 0.002 kg/kW·seg para motores de 4T.
- ρ : 1,13 kg/m³.

$$q_c = q_{dp} + q_{dg} = 9,24 + 5,31 = 14,55 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

Obtención de q_h :

$$q_h = \frac{\phi_{dp} + \phi_{dg} + \phi_g + \phi_{el} + \phi_{ep} + \phi_0}{\rho \cdot c \cdot \Delta T} - 0,4 \cdot (q_{dp} + q_{dg})$$

Dónde:

- ϕ_{dp} : Emisión de calor del motor principal, 140 kW (Fuente: Norma).
- ϕ_{dg} : Emisión de calor de los motores principales, 48 kW · 3 = 144 kW (Fuente: Norma).
- ϕ_g : Emisión de calor del generador electric.

$$\phi_g = P_g \cdot \left(1 - \frac{0,94}{100}\right) = 1000 \cdot \left(1 - \frac{0,94}{100}\right) = 991 \text{ kW}.$$

- ϕ_{el} : 20% de la máxima potencia eléctrica, 1618.29 kW · 0,20 = 323,66 kW.
- ϕ_{ep} : Emisión de calor de los conductos de exhaustación, 30 kW (Fuente: Tabla de la norma. Datos de entrada: D = 800 mm., L = 8 m.).
- ϕ_0 : Emisión de calor de otros componentes. Se toma el 50 % de ϕ_{dp} , 140 kW · 0,50 = 70 kW.
- ρ : 1,13 kg/m³.
- c : 1,01 kJ/kg·K.
- ΔT : 12,5 K.

Resultando:

$$q_h = \frac{140 + 144 + 991 + 323,66 + 30 + 70}{1,13 \cdot 1,01 \cdot 12,5} - 0,4 \cdot (9,24 + 5,31) \\ = 113,25 \text{ m}^3/\text{s}$$

Una vez obtenidos los valores del flujo necesario para la ventilación mediante las dos expresiones, se selecciona la más perjudicial como partida para el diseño de la ventilación:

- $Q = q_c + q_h = 127,8 \text{ m}^3/\text{seg.}$
- $Q = 1,5 \cdot q_c = 21,82 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Se toma el valor de $Q = 127,8 \text{ m}^3/\text{seg.}$ por ser ampliamente mayor.

A partir de este flujo necesario para la ventilación, considerando una presión de aire impulsado de 294 Pa, y un rendimiento de los ventiladores de 0.40, se obtiene la potencia eléctrica necesaria:

$$Pot = \frac{Q \cdot P}{\eta} = \frac{127,8 \cdot 294}{0,40} = 93,93 \text{ kW}$$

Finalmente, se instalarán dos ventiladores de 50 kW cada uno, y uno de respeto de igual potencia.

EXTRACTORES:

El sistema de exhaustación debe ser suficiente para evacuar la totalidad de los gases generados en la cámara de máquinas.

El caudal se estima en $25.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ($6,94 \text{ m}^3/\text{seg.}$), con un incremento de presión de 245 Pa, y un rendimiento de 0,40.

La potencia eléctrica necesaria para el extractor será:

$$Pot = \frac{Q \cdot P}{\eta} = \frac{6,94 \cdot 294}{0,40} = 4,25 \text{ kW}$$

Se instalará un extractor de 5 kW.