

**ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR
UNIVERSIDADE DA CORUÑA**



BUQUE ATUNERO 1200 TN

CUADERNO 10

CÁMARA DE MÁQUINAS

ALUMNO: AITOR RAMIL VIZOSO

TUTOR: D. FERNANDO LAGO RODRIGUEZ



TRABAJO FIN DE MASTER CUADERNO 10

Alumno: Aitor Ramil Vizoso
Tutor: D. Fernando Lago Rodríguez



ÍNDICE

RPA	2
INTRODUCCIÓN.....	3
ELECCIÓN DE LA MAQUINARIA PROPULSORA	3
TIPO DE PROPULSIÓN	3
SELECCIÓN DEL MOTOR.....	4
SELECCIÓN DE LA REDUCTORA.....	5
LÍNEA DE EJES, BOCINA Y HÉLICE	5
ADMISIÓN DE AIRE DEL MOTOR PRINCIPAL.....	8
JUSTIFICACIÓN DE LA AUTONOMÍA	8
COMBUSTIBLE	8
Motor principal	9
Grupos generadores.....	9
ACEITE DE LUBRICACIÓN.....	10
SERVICIOS AUXILIARES DE LA PROPULSIÓN	10
SERVICIO DE COMBUSTIBLE	11
Tanques de combustible	12
Trasiego y purificación de combustible.....	14
Servicio de alimentación de combustible.....	15
SERVICIO DE REFRIGERACIÓN	17
Circuito de agua dulce	17
Circuito de agua salada	19
SERVICIO DE LUBRICACIÓN.....	22
SISTEMA DE ARRANQUE CON AIRE	24
SISTEMA DE EXHAUSTACIÓN	26
VENTILACIÓN DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS.....	26
VENTILADORES.....	26
EXTRACTORES	29

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, Enero de 2.016.

ALUMNO: Aitor Ramil Vizoso.



INTRODUCCIÓN

A lo largo del presente cuaderno se estudiará todo lo referente a la cámara de máquinas; desde la elección del motor propulsor hasta la disposición de todos los equipos y elementos en la cámara de máquinas, pasando por todos los equipos auxiliares necesarios para el correcto funcionamiento de la planta.

Como datos de partida para la realización de este cuaderno, se emplearán las dimensiones principales obtenidas en el Cuaderno 1: *“Dimensionamiento preliminar y elección de la cifra de mérito”*. Estas dimensiones se recogen en la siguiente tabla:

L	Lpp	B	Dsup	Dprin	T
75,50	64,45	13,45	8,90	6,50	5,85

Tabla 1. DIMENSIONES PRINCIPALES DEL BUQUE.

La reglamentación aplicable a lo largo del cuaderno es el reglamento de la sociedad de clasificación Bureau Veritas, y el Convenio de Torremolinos.

La disposición de la cámara de máquinas se ha realizado buscando la optimización desde el punto de vista de la construcción, operación, mantenimiento y reparación.

ELECCIÓN DE LA MAQUINARIA PROPULSORA

TIPO DE PROPULSIÓN

Acorde a los requisitos de proyecto, el buque debe de contar con un motor diésel principal de cuatro tiempos que será el encargado de accionar un propulsor de paso controlable (CCP).

Como consecuencia de disponer de una hélice de paso controlable, el motor operará siempre a un régimen constante.

Al tratarse de un motor semirrápido, es necesario interponer entre el motor principal y el propulsor un engranaje reductor. Este reductor llevará acoplada una

PTO (Power Take-Off) que facilitará la opción de instalar un alternador y generar así energía eléctrica con el motor propulsor.

SELECCIÓN DEL MOTOR

La potencia necesaria para remolcar el buque a la velocidad de servicio requerida ha sido calculada en el Cuaderno 6: *“Predicción de potencia propulsora y diseño del propulsor y timón”*.

Tal y como se ha explicado en el cuaderno antes mencionado, a la hora de seleccionar el motor propulsor se deberá tener en cuenta la potencia necesaria para la propulsión, la potencia necesaria para accionar el alternador de cola, y el margen de funcionamiento. De esta manera la potencia mínima para el motor propulsor será la siguiente:

$$Pot (kW) = \frac{BkW + PTO}{85\% MCR} = \frac{2813,8 + 1000}{0,85} = 4486,82 kW$$

Esta potencia no se corresponde con un valor de potencia de un motor comercial, por lo que hay que estudiar diferentes alternativas que ofrece el mercado con el fin de saber cuál se adecúa mejor a las necesidades del buque del proyecto.

Para la selección del motor se tienen en cuenta varios factores como son la potencia, que debe de satisfacer la demanda requerida; el consumo, el peso y el empacho. Este último será menos determinante para un buque de este tipo, mientras que el peso y el consumo si lo será por condicionar la vida operativa del buque.

Haciendo un rastreo en el mercado, se encuentran los siguientes motores diésel que satisfacen este requisito de potencia:

Marca	Modelo	Potencia (kW)	RPM	Nº Cilindros	Peso (ton)	Consumo (g/kWh)
Wärtsilä	9L32	4500	750	9	47	179
MAN	10L32/44CR	5600	750	10	56	175
MaK	6M43C	5400	514	6	93	175

Tabla 2. COMPARACIÓN DE MOTORES.

Atendiendo a la condición de peso, se decide instalar el motor de la casa Wärtsilä, modelo 9L32 de nueve cilindros en línea.

SELECCIÓN DE LA REDUCTORA

En el cuaderno 6, se han obtenido unas revoluciones de giro del propulsor de 213 RPM. El motor propulsor gira a 750 RPM, por lo que la relación de reducción será de 0,284.

De nuevo realizando un estudio de mercado, se decide instalar una reductora de la casa Reintjes, modelo LAF, óptima para buques de trabajo con propulsores de paso controlable, como es el caso del buque de proyecto. Este engranaje reductor es de carcasa de acero y cuenta con embrague. El hecho de disponer de embrague permite el desacoplamiento entre motor y reductora, así como el desacoplamiento entre la reductora y el propulsor. El rango de potencias válido para este reductor oscila entre 500 kW y 6000 kW.

Por otra parte, el alternador de cola será de la casa Indar, de 380 V y 50 Hz. Este alternador tendrá una potencia de 1000 kW a 1500 RPM. Este componente de la planta se estudiará con más detalle en el Cuaderno 11: "Instalación eléctrica".

LÍNEA DE EJES, BOCINA Y HÉLICE

La configuración necesaria para este tipo de buques, atendiendo a su funcionalidad, sitúa la cámara de máquinas a popa. Con esta disposición se optimiza la zona de carga del buque, y además aísla la zona de habitación del ruido.

Otro hecho relevante es que al disponer de un eje más corto, se disminuyen las vibraciones en el mismo.

La línea de ejes consta de dos partes: el eje de cola y el eje intermedio. El reglamento de Bureau Veritas, en la Parte C, Sección 7, Apartados 2.2, 2.3 y 2.4 ofrece las siguientes expresiones para dimensionar dichos ejes.

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

$$d = F \cdot k \cdot \left[\frac{P}{n \cdot (1 - Q^4)} \cdot \frac{560}{Rm + 160} \right]^{1/3}$$
$$= 100 \cdot 1,25 \cdot \left[\frac{2813,8}{213 \cdot (1 - 0^4)} \cdot \frac{560}{660 + 160} \right]^{1/3} = 260,22 \text{ mm}$$

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 diésel.
- 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. $n=213$ r.p.m.
- P: Potencia máxima del motor para la labor de propulsión, descontando la PTO (2813,8 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:

$R_m = 660 \text{ MPa} = 660 \text{ N/mm}^2$.

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

$$\begin{aligned} dp &= 100 \cdot k_p \cdot \left[\frac{P}{n \cdot (1 - Q^4)} \cdot \frac{560}{R_m + 160} \right]^{1/3} \\ &= 100 \cdot 1,26 \cdot \left[\frac{2813,8}{213 \cdot (1 - 0^4)} \cdot \frac{560}{660 + 160} \right]^{1/3} = 262,30 \text{ mm} \end{aligned}$$

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 diésel.
- K_p : 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.
- R_m : 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 $R_m = 660 \text{ MPa} = 660 \text{ N/mm}^2$.

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 $262,30 \cdot 1,03 = 270,16 \text{ mm} \approx 270 \text{ mm}$.

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 kg/m³, obtenemos un caudal de aire igual a 8,17 m³/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.

Atendiendo a las condiciones de temperatura a la que saldrán los gases de exhaustación, el conducto tendrá aislamiento y será de acero inoxidable 321 apto para altas temperaturas.

JUSTIFICACIÓN DE LA AUTONOMÍA

Es requisito de la RPA que el buque tenga una autonomía de 8500 millas. Para la velocidad de servicio (16,5 nudos), esta autonomía se traduce en 22 días de navegación.

COMBUSTIBLE

La capacidad de combustible disponible abordo será tal de satisfacer el consumo del motor principal y los diésel generadores durante la autonomía requerida.

Motor principal

Para el cálculo de consumo del motor principal se emplean los siguientes datos, obtenidos de la Project Guide del motor.

Motor Principal	
Consumo Motor	179 g/kWh
Autonomía	22 días (528 horas)
Potencia del motor (BkW)	4500 kW · 0,85
Márgenes	10% autonomía

Tabla 3. CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO MOTOR PRINCIPAL.

El consumo del motor principal será el siguiente:

$$Cons(MP) = 1,1 \cdot 179 \cdot 528 \cdot 4500 \cdot 0,85 \cdot 10^{-6} = 397,66 \text{ tn}$$

Grupos generadores

Para la generación de energía eléctrica, el buque dispondrá de tres grupos diésel generadores, además de la PTO accionada por el motor principal y un grupo de emergencia.

En la siguiente tabla se muestra el consumo de cada uno de los grupos generadores, un margen de autonomía, y un desglose de las necesidades eléctricas para cada condición de operatividad que se darán durante la autonomía dada.

Grupos Generadores	
Consumo Motor	205,1 g/kWh
Autonomía	22 días (528 horas)
	10% maniobra (825,95 kW)
	50% navegación normal (681,86 kW)
	30% pesca y congelación (1471,17 kW)
	10% puerto (588,70 kW)
Márgenes	20 % autonomía

Tabla 4. CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO GRUPOS GENERADORES.

El consumo de los grupos generadores será el siguiente:

$$\text{Cons}(DDGG) = 1,2 \cdot 205,1 \cdot 528 \cdot 10^{-6} (0,1 \cdot 825,95 + 0,5 \cdot 681,86 + 0,3 \cdot 1471,17 + 0,1 \cdot 588,70) = 120,04 \text{ tn}$$

El cálculo de la capacidad de gasoil necesaria para los diésel generadores es conservador, ya que además de aplicar un margen de autonomía, no se ha contemplado la opción de generar electricidad empleando el alternador de cola.

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.

La Project Guide del motor, en el apartado Technical Data, dimensiona la capacidad de aceite requerida en 2,3 m³.

De forma paralela, y empleando la misma Project Guide, se conoce que el consumo de aceite a plena carga es de 0,35 g/kWh. La densidad del aceite se supone 890 kg/m³.

$$Ptqac = 0,35 \cdot 4500 \cdot 528 = 0,832 \text{ tn}$$

$$Vtqac = \left(\frac{890}{832}\right)^{-1} = 0,93 \text{ m}^3$$

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 MDO (Marine Diesel Oil). Se selecciona este combustible con el objetivo de disminuir la emisión de óxidos de azufre. 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 fabricante del motor propulsor fija unas determinadas características para el combustible que se utiliza para su funcionamiento. Dichas características se recogen en la siguiente tabla:

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 4284
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 ⁸⁾	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. ⁹⁾	µm	520	520	520 ¹⁾	ISO 12156-1

Ilustración 1. CARACTERÍSTICAS MDO.

Tanques de combustible

Dentro del servicio de combustible se distinguen los siguientes tanques:

- Un tanque de sedimentación.
- Dos tanques de uso diario.
- Catorce tanques de almacén

El combustible se trasfiere en primer lugar desde los tanques de almacén hasta el de sedimentación para una separación inicial de lodos y agua del combustible. Posteriormente este combustible se envía a los tanques de uso diario, que darán suministro al motor.

Tanque de sedimentación

El tanque de sedimentación se dimensionará empleando la Project Guide del motor. Los requerimientos que se exponen en ella es que deberá tener tal capacidad que será capaz de alimentar la planta al máximo consumo durante 24 horas. De esta manera se garantiza el tiempo necesario para la separación de sedimentos del combustible.

Este tanque estará provisto de deflectores internos para lograr una sedimentación eficiente.

El peso y volumen necesarios para este tanque son los siguientes:

$$Ptqsed = 4500 \cdot 180 \cdot 24 + 1471,17 \cdot 205,1 \cdot 24 = 26,68 \text{ tn.}$$

$$Vtqsed = \left(\frac{890}{26680} \right)^{-1} = 29,97 \text{ m}^3$$

Tanques de uso diario

El tanque de uso diario se dimensionará de igual forma, empleando la Project Guide. Para este tanque los requisitos son que deberá satisfacer las necesidades de gasoil durante 8 horas al consumo máximo. Se dispondrán dos tanques de uso diario.

$$Ptqud = 4500 \cdot 180 \cdot 8 + 1471,17 \cdot 205,1 \cdot 8 = 8,89 \text{ tn.}$$

$$Vtqud = \left(\frac{890}{889} \right)^{-1} = 9,98 \text{ m}^3$$

Tanque de lodos

De acuerdo con la Regla 17 del ANEXO I del MARPOL “Todos los buques cuyo arqueobruuto 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:

- $V=2 \text{ m}^3$
- $V=0,5 \cdot K_1 \cdot C \cdot D$

Dónde:

- K_1 es una constante que depende del combustible utilizado (0,005).

- C es el consumo diario en toneladas.
- D es la autonomía entre puertos.

$$V_{tqlod} = k \cdot c \cdot D = 0,005 \cdot 23,64 \cdot 22 = 2,6 \text{ m}^3$$

Trasiego y purificación de combustible

En este apartado se definirán todos los componentes del servicio empleado para el trasiego y tratamiento del combustible.

Depuradoras de combustible

Se instalarán a la entrada de los tanques de uso diario con objeto de eliminar los restos de agua e impurezas que contiene el combustible.

De acuerdo con la Project Guide del motor, la capacidad de la depuradora se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{P \cdot b \cdot 24}{\rho \cdot t} = \frac{4500 \cdot 180 \cdot 24}{850 \cdot 24} = 952,94 \text{ l/h}$$

Dónde:

- Q es el caudal de la depuradora, en litros por hora.
- P es la potencia del motor.
- b es el consumo máximo del motor.
- ρ es el peso específico del combustible.
- t es el tiempo de funcionamiento en horas.

Bomba de trasiego de combustible

Esta bomba debe de ser capaz de llenar el tanque de sedimentación en dos horas.

Atendiendo a la capacidad total de dicho tanque (29,53 m³), el caudal suministrado por la bomba deberá ser igual a 15 m³/h.

La presión de esta bomba será tal que sea capaz de hacer un trasiego entre el tanque más bajo al tanque más alto, venciendo la altura y las pérdidas de carga. Se estima que con 4 bar, esta presión cumple los requisitos de funcionamiento.

A partir de los valores de presión y temperatura dados, y con un rendimiento de 0,60, se necesita un motor eléctrico de 6 kW para el accionamiento de esta bomba.

Bomba de descarga de lodos

Esta bomba se empleará para el vaciado del tanque de lodos.

El criterio para dimensionarla será lograr el vaciado del tanque en dos horas. Dicho tanque tiene un volumen de 3,62 m³, por lo que la bomba deberá de dar un caudal de 1,81 m³/h.

La bomba de descarga de lodos deberá dar una presión suficiente para vencer la altura desde el tanque de lodos al punto de descarga y las pérdidas de carga. El punto de descarga se sitúa sobre cubierta superior. Acorde a esto se decide disponer de una bomba de 2 bar de presión.

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.

$$Q_{motor} = Consumo_{esp} \cdot P \cdot \frac{1}{0,85} = \frac{180}{10^6} \cdot 4500 \cdot \frac{1}{0,85} = 0,95 \frac{m^3}{h}$$

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.

- Filtros 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, será 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 de mar 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, situado 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	<i>Project Guide del motor</i>
Motores auxiliares	1414,94	<i>Tomando como dato calor disipado por kW del motor</i>
Resto de equipos	738,6	<i>30% del calor disipado por el motor</i>
Total	4615,54	

Tabla 4. CALOR MOTORES Y EQUIPOS CCMM.

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

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:

$$q = \frac{Q}{3600} \cdot 1 \cdot C_e \cdot \Delta T$$

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:

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

- 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 bar
- Q = 215 m³/h
- Rendimiento= 0,60

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

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

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

Dónde:

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

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

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:

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].

$$q_{dp} = P_{dp} \cdot \frac{m_{ad}}{\rho} = \frac{4500 \cdot 0,003}{1,13} = 11,94 \text{ m}^3/seg$$

Dónde:

- P_{dp} : Potencia del motor propulsor, 4500 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/m³.

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.

$$q_{dg} = P_{dg} \cdot \frac{m_{ad}}{\rho} = \frac{3000 \cdot 0,002}{1,13} = 5,31 \text{ m}^3/\text{seg}$$

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.

$$q_c = q_{dp} + q_{dg} = 11,94 + 5,31 = 17,25 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

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 eléctrico

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

- 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 140 kW · 0,50 = 70 kW.
- ρ : 1,13 kg/m³.
- c : 1,01 kJ/kg·K.
- ΔT : 12,5 K.

Resultando:

$$q_h = \frac{140 + 144 + 991 + 323,66 + 30 + 70}{1,13 \cdot 1,01 \cdot 12,5} - 0,4 \cdot 17,25 = 112,17 \text{ m}^3/\text{seg}$$

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:

- $Q = q_c + q_h = 129,42 \text{ m}^3/\text{seg.}$
- $Q = 1,5 \cdot q_c = 25,87 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Se toma el valor de $Q = 129,42 \text{ m}^3/\text{seg.}$ 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:

$$q_h = \frac{Q \cdot P}{\eta} = \frac{129,42 \cdot 294}{0,40} = 95,12 \text{ kW}$$

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 m³/h (6,94 m³/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.