



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escuela Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2019/20

*BULKARRIER PORTACONTENEDORES
40 000 TPM*

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA

Marta González García

TUTOR

Vicente Díaz Casás

FECHA

DICIEMBRE 2019

TÍTULO Y RESUMEN

1.1 Título y Resumen

En este trabajo, se va a desarrollar el anteproyecto de un buque bulkcarrier portacontenedores de 40 000 t. Primeramente vamos a realizar un dimensionamiento preliminar, así como una predicción de potencia. Cabe destacar que la elección de las dimensiones del buque se ha hecho teniendo en cuenta varias combinaciones posibles, tomando como cifra de mérito el coste del buque.

Posteriormente, se procederá a un cálculo más detallado de los pesos del buque, así como a una definición de las formas del casco.

También detallaremos el compartimentado del buque, el cálculo de estabilidad en las diferentes situaciones de carga, una predicción de potencia más detallada, así como el diseño del timón y el cálculo del servomotor.

Llevaremos a cabo el cálculo estructural básico del buque, según el Bureau Veritas.

Con los datos obtenidos a lo largo del proyecto, elaboraremos los planos de disposición general del buque.

También se hará el cálculo del balance eléctrico del buque en las diferentes situaciones de demanda eléctrica.

Por último, haremos el cálculo del coste del buque, detallando cada partida.

1.2 Título e Resumo

Neste traballo, váise desenrolar o anteprojecto dun buque bulkcarrier portacontenedores de 40 000 t. Primeiramente imos face-lo dimensionamento preliminar, así coma unha predición de potencia. É preciso destacar que a elección das dimensións do buque fíxose tendo en conta varias combinacións posibles, tomando como cifra de mérito o coste do buque.

Posteriormente, procederáse a un cálculo máis detallado dos pesos do buque, así coma a unha definición das formas do casco.

Tamén detallaremos o compartimentado do buque, o cálculo da estabilidade nas diferentes situacións de carga, unha predición de potencia máis detallada, así coma o deseño do timón e o cálculo do servomotor.

Levaremos a cabo o cálculo estrutural básico do buque, según o Bureau Veritas.

Cos datos obtidos ó longo do proxecto, elaboraremos os planos de disposición xeral do buque.

Tamén se fará o cálculo do balance eléctrico do buque nas diferentes situacións de demanda eléctrica.

Por último, faremos o cálculo do coste do buque, detallando cada partida.

1.3 Tittle and Abstract

In this project will be developed the pre-project of a containership bulkcarrier of 40 000 tn. In the first place, it makes a preliminary sizing and power prediction. Its necessary to be noticed that the dimensions were choosen by making several posible combinations taking the minimun building cost as the criteria to minimize.

After that, it makes a more detailed calculation of the ship weights as well as a definition of the hull shapes.

It is also detailed the behaviour of the ship, the stability calculation in all the diferent cargo situations, a more detailed power prediction as well as the rudder design and the servo calculation.

In addition to that, it develops a basic stuctural calculation of the ship according to the Bureau Veritas.

With all the obtained data in the project, it will obtain the drawing of the ship general arrangement.

It also elaborates the electric balance for all the diferent situations of electric demanding.

Finally, it makes the calculation of the cost of the ship, detailing each item.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escuela Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2019/20**

*BULKCARRIER PORTACONTENEDORES
40 000 TPM*

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 10

**DEFINICIÓN DE LA PLANTA PROPULSORA Y SUS
AUXILIARES**

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2 019-2 020

PROYECTO NÚMERO: 18-14

TIPO DE BUQUE: *Bulkcarrier y Portacontenedores*

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

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: *40 000 TPM. Grano, mineral, carbón. 2 Pilas de contenedores / madera sobre las tapas de escotillas. Madera.*

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: *15 nudos en condiciones de servicio al 85% MCR y 15% de margen de mar. 12 000 millas a la velocidad de servicio.*

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: *Escotillas de accionamiento hidráulico. Con grúas carga-descarga.*

PROPULSIÓN: *Motor diésel acoplado a una hélice de paso fijo. LNG para operaciones en puerto.*

TRIPULACIÓN Y PASAJE: *20 personas.*

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: *Los habituales en este tipo de buques.*

Ferrol, 11 de marzo de 2019

ALUMNA: **D^a Marta González García**

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	CONTENIDO A DESARROLLAR EN EL PRESENTE CUADERNO	1
1.2.	PRESENTACIÓN.....	1
2.	ELECCIÓN DEL MOTOR PRINCIPAL	2
3.	SERVICIOS AUXILIARES DE LA PROPULSIÓN	4
3.1.	SERVICIO DE COMBUSTIBLE.....	4
3.1.1.	<i>Descripción de los componentes del servicio</i>	<i>4</i>
3.1.2.	<i>Capacidad tanques de combustible</i>	<i>7</i>
3.1.3.	<i>Cálculo de bombas del servicio.....</i>	<i>9</i>
3.2.	SERVICIO DE LUBRICACIÓN POR ACEITE	10
3.2.1.	<i>Descripción de los componentes del servicio</i>	<i>11</i>
3.2.2.	<i>Capacidad tanques aceite lubricante.....</i>	<i>12</i>
3.2.3.	<i>Cálculo de bombas del servicio.....</i>	<i>13</i>
3.2.4.	<i>Tratamiento y mantenimiento del aceite lubricante</i>	<i>13</i>
3.3.	SERVICIO DE AGUA DE REFRIGERACIÓN.....	15
3.3.1.	<i>Descripción de los componentes del servicio</i>	<i>16</i>
3.3.2.	<i>Cálculo de bombas del servicio.....</i>	<i>17</i>
3.3.3.	<i>Tratamiento de agua de refrigeración.....</i>	<i>17</i>
3.4.	SERVICIO DE AIRE DE ARRANQUE Y DE CONTROL	18
4.	GENERADORES AUXILIARES	21
4.1.	GENERADOR LNG.....	21
4.2.	POWER TAKE-OFF (PTO)	21
5.	DISPOSICIÓN CÁMARA DE MÁQUINAS	23
	ANEXO I.....	24

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contenido a desarrollar en el presente cuaderno

- Presentación. Introducción al cuaderno. Descripción de las características del buque proyecto.
- Selección de la planta propulsora. Selección del motor propulsor más adecuado al buque proyecto en función de las necesidades de potencia propulsora determinados en el Cuaderno 6.
- Servicio de combustible. Definición y dimensionado según los datos de la guía del motor de las competentes de combustible del buque.
- Servicio de lubricación. Definición y dimensionado según los datos de la guía del motor de las competentes de lubricación del buque.
- Servicio de refrigeración. Definición y dimensionado según los datos de la guía del motor de las competentes de refrigeración del buque.
- Servicio de aire de arranque. Definición y dimensionado según los datos de la guía del motor y los requisitos de la sociedad de clasificación correspondiente de los componentes del servicio de aire de arranque del buque.
- Disposición esquemática de cámara de máquinas. Plano esquemático de disposición de la cámara de máquinas del buque, incluyendo los elementos principales de la misma, así como aquellos descritos en este cuaderno.

1.2. Presentación

En este cuaderno abordaremos la definición y determinación de la planta de propulsión principal, así como sus auxiliares. Para esto nos ayudaremos de la *Project Guide* facilitada por el fabricante del motor propulsor.

Se presentan a continuación las características principales del buque proyecto:

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		
Eslora total	176,50	m
Eslora entre perpendiculares	170,40	m
Manga	30,17	m
Calado	11,56	m
Puntal	17,14	m
Peso muerto	40 000,00	t
Desplazamiento	50 138,00	t

2. ELECCIÓN DEL MOTOR PRINCIPAL

A la hora de seleccionar el motor principal de nuestro buque proyecto se tendrán en cuenta los requisitos previos que determinan que la propulsión será llevada a cabo mediante un motor acoplado a una hélice de paso fijo. Además, la velocidad de servicio será de 15 *nudos* en condiciones de servicio al 85% *MCR* y 15% de margen de mar. En estas condiciones, la autonomía de nuestro buque será de 12 000 *millas*.

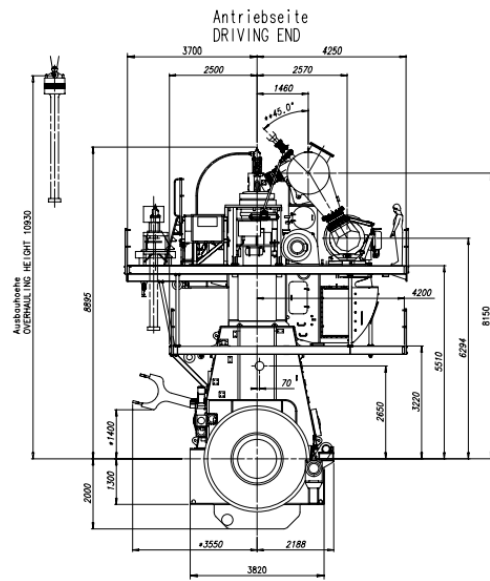
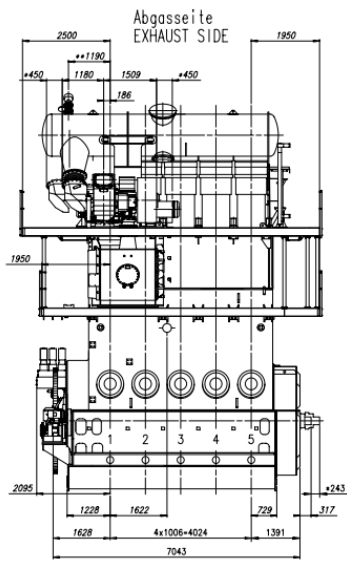
Tras la realización del *Cuaderno 6* y los estudios pertinentes, sabemos determinar la potencia necesaria para propulsar nuestro buque:

$$Potencia\ motor = \frac{BHP + PTO}{\eta_{servicio}} = \frac{8\,974,3 + 845}{0,85} = 11\,553\ kW$$

Recurrimos, pues, a la casa WinGD para seleccionar un modelo de motor de su catálogo que se ajuste a nuestras exigencias. Este es el *WinGD RT-flex58T-E*, que con 5 cilindros y un peso de 281 *toneladas* presenta las siguientes características:

Table 1-1 Rating points

Bore x stroke: 580 x 2,416 [mm]				
No. of cyl.	R1	R2	R3	R4
	Power [kW]			
5	11,750	7,900	10,075	7,900
6	14,100	9,480	12,090	9,480
7	16,450	11,060	14,105	11,060
8	18,800	12,640	16,120	12,640
Speed [rpm]				
All cyl.	105	105	90	90
Brake specific diesel fuel consumption (BSFC) [g/kWh] 100% power				
All cyl.	167.8	161.8	167.8	161.8
Mean effective pressure (MEP) [bar]				
All cyl.	21.0	14.1	21.0	16.5
Lubricating oil consumption (for fully run-in engines under normal operating conditions)				
System oil	approx. 6 kg/cyl per day			
Cylinder oil	guide feed rate 0.6 g/kWh (for low sulphur content only)			
BSFC data are quoted for fuel of lower calorific value 42.7 MJ/kg. All other reference conditions refer to ISO standard (ISO 3046-1). For BSFC the following tolerances are to be taken into account: + 5% for 100-85% engine power + 6% for 84-65% engine power + 7% for 64-50% engine power				



3. SERVICIOS AUXILIARES DE LA PROPULSIÓN

Para que el motor esté operativo, es necesario dotarlo de una serie de sistemas auxiliares.

Toda la información técnica acerca de los sistemas auxiliares presentados a continuación fue obtenida tanto de la *Project Guide* como del *General Technical Data (GTD)* de nuestro motor principal (y que se adjunta al final del presente cuaderno), que como ya se dijo anteriormente, es el modelo *WinGD RT-flex58T-E*

3.1. Servicio de combustible

Debido a la alta viscosidad característica de los combustibles pesados, será necesaria la instalación de un sistema de calefacción en los tanques para conseguir la fluidez idónea del combustible.

Para hacernos una pequeña idea del sistema, vamos a comenzar por visualizar el esquema del circuito antes de describir cada uno de sus componentes:

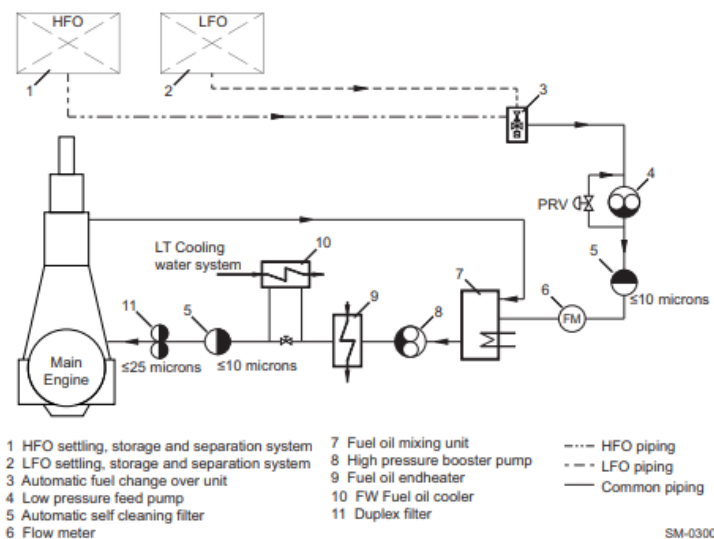


Figure 4-11 Scheme of fuel oil system

3.1.1. Descripción de los componentes del servicio

3.1.1.1. Tanques de sedimentación

La sedimentación gravitacional del agua y de los sedimentos de los combustibles modernos es un proceso extremadamente lento debido a la pequeña diferencia de densidades. El proceso de sedimentación es una función del área de superficie del tanque respecto a la diferencia de viscosidad, de temperatura y de densidad. Por tanto, los tanques que cuentan con una amplia superficie permiten una mejor sedimentación que los tanques con superficies más pequeñas.

3.1.1.2. Tanques de uso diario

La mayor parte de las características de este tanque son muy similares a las del tanque de sedimentación, ya que tiene una bolla con cierre automático para la purga de los lodos, un dispositivo de control del nivel y unas válvulas de accionamiento remoto que regulan la descarga al separador y a los sistemas del motor.

Este tanque tiene que contar con una válvula de drenaje colocada en el punto más bajo, un rebose para el tanque de derrames y una tubería de recirculación al tanque de sedimentación.

La tubería de sedimentación sale de la parte inferior del tanque de uso diario para llevar el agua que puede estar presente en el combustible después de los separadores cara al tanque de sedimentación.

Cuando el motor principal está operando al régimen máximo continuo, el separador de combustible debe ser capaz de mantener un flujo desde el tanque de sedimentación al tanque de servicio con un exceso de flujo que se recircule al tanque de sedimentación.

La billa de los lodos se abrirá a intervalos regulares para comprobar si hay presencia de agua, lo que dará una idea de cómo de bien está trabajando el separador.

3.1.1.3. Separadores centrífugos

Será un separador de tipo autolimpiable y sin discos de gravedad. Una de las principales características de los separadores de ajuste automático es que sólo se requiere una unidad, es decir, esta única unidad funciona al mismo tiempo tanto de purificador como de clarificador.

Aun así, como es habitual instalar un separador en stand-by de respeto, puede ser muy ventajoso utilizarlo para mejorar el resultado de la separación. Esto es, la colocación en serio o en paralelo de los separadores dependerá de las recomendaciones del fabricante.

3.1.1.4. Bomba de alimentación de combustible

Será una bomba de tornillo de desplazamiento positivo que tendrá un margen en su capacidad de hasta un 20% a más. Esta capacidad será en nuestro caso de 3 m³/h.

La presión de funcionamiento debe tener en cuenta las pérdidas de presión del sistema y evitar también que el agua atrapada se vaporice asegurándose de que la presión en el tanque de mezcla será de por lo menos 1 bar superior a la presión de vapor del agua y no inferior a 3 bar. Para nuestro motor esta presión serán 5 bar.

3.1.1.5. Válvula reguladora de presión

La válvula reguladora de presión mantiene la presión de entrada al sistema de alta presión prácticamente constante, independientemente de la cantidad de combustible consumido por el motor principal y sus auxiliares.

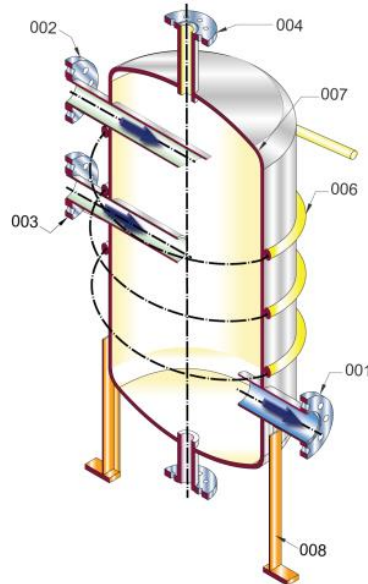
Debe ser autónoma o pilotada, detectando la presión aguas arriba de la propia válvula a través de una línea externa. Será neumática o con accionamiento hidráulico directo. Además, deberá tener la posibilidad de ser accionada manualmente en caso de emergencia.

Tiene una capacidad de desviación del flujo principal de entorno al 20% del caudal de la bomba de alimentación y limita la presión hasta un máximo de 10 bar.

3.1.1.6. Tanque de mezcla

El tanque de mezcla iguala la temperatura entre el FO caliente que regresa del motor y el FO más frío que viene del tanque de servicio.

Suele ser un recipiente metálico de forma esférica y que tienen, en nuestro caso, una capacidad de 65 litros.



3.1.1.7. Bomba de alta presión

Será una bomba de tornillo de desplazamiento positivo que tendrá un margen en su capacidad de hasta un 20% a más. En nuestro caso la bomba tendrá una capacidad de 5,4 m³/h y dará hasta 6,5 bar de presión.

3.1.1.8. Intercambiador de calor

Este intercambiador proporciona una cierta temperatura al combustible antes de entrar en el motor. Puede ser eléctrico, de vapor o de aceite, así como de placas o tubular. Tiene una capacidad para ceder calor de hasta 107 kW en caso de nuestro motor.

3.1.1.9. Filtros de combustible

En el sistema de combustible se instalan filtros de 10 micras entre los tanques de servicio y la admisión del motor.

Además, es necesario un filtro de combustible cerca de la entrada de la admisión del motor para la protección del mismo contra cualquier partícula extraña. Esto puede llevarse a cabo mediante dos métodos distintos: poniendo un único filtro fino en la entrada del motor o poniendo un filtro fino en el circuito de alimentación y un filtro un poco menos fino en el circuito de alta presión antes de la admisión del motor.

En nuestro caso tenemos la segunda opción, como veíamos en el esquema del circuito mostrado al inicio de este apartado.

El filtro de 10 micras, anteriormente nombrado, está situado en el sistema frío de alimentación. Se utiliza para proteger al motor contra daños graves que no fueron

eliminados por el separador. Además, este filtro va a hacer que nos demos cuenta de cómo de bien está funcionando el separador.

El filtro de, como máximo 60 micras, se instalará en el sistema de alta presión cerca de la admisión del motor. Su función es proteger el motor de partículas procedentes del sistema. Este filtro es suficiente ya que la mayoría de las partículas quedan ya en el filtro fino de la línea de alimentación.

3.1.2. Capacidad tanques de combustible

A continuación, presentaremos, nuevamente, la justificación del volumen de los tanques de combustible realizado previamente en el *Cuaderno 4* del presente proyecto.

En este punto es necesario aclarar que nuestro buque empleará HFO como combustible principal para su motor principal, pero, además, existirá un suministro de diésel por si se produjese un fallo en el sistema de alimentación del combustible HFO.

En un primer lugar será necesario calcular el número de días de navegación ininterrumpida para el cual se ha de diseñar el buque:

$$\frac{\text{Autonomía}[\text{millas}]}{\text{velocidad}[\text{nudos}]} = \frac{12\,000}{15} = 800 \text{ horas} = 33,3 \text{ días} \approx 33 \text{ días}$$

3.1.2.1. Tanques HFO

Según la especificación del motor principal, existirá un consumo de 176,19 g/KWh al 85% de la capacidad.

$$\begin{aligned} V_{HFOppal} &= \frac{Ce \left[\frac{g}{kWh} \right] \cdot Pot[kW] \cdot \text{autonomía}[\text{horas}]}{\text{permeabilidad} \cdot \text{densidad} \left[\frac{kg}{m^3} \right]} \cdot 110\% \\ &= \frac{176,19 \cdot 11\,750 \cdot 0,85 \cdot 800}{0,98 \cdot 0,98 \cdot 10^6} \cdot 110\% \approx 1\,620 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Donde:

- Ce : Consumo del motor. (167,8 · 115%)
- Pot : Potencia máxima del motor.

3.1.2.1.1. Tanque de sedimentación HFO

El volumen del tanque de sedimentación se sobredimensiona un 15% del consumo de 24 h.

$$V_{sedHFO} = \left(\frac{1\,620[\text{m}^3]}{800[\text{h}]} \cdot 24[\text{h}] \right) \cdot 115\% \approx 60 \text{ m}^3$$

Se llevarán dos tanques de 30 m³ cada uno.

3.1.2.1.2. Tanques de uso diario HFO

Nuestro buque dispondrá de dos tanques de uso diario cuyo volumen se sobredimensionará un 10% del consumo de 24 h.

$$V_{udHFO} = \left(\frac{1\,620 [m^3]}{800 [h]} \cdot 24 [h] \right) \cdot 110\% \approx 55 m^3$$

El buque contará finalmente con dos tanques de $55 m^3$ cada uno.

3.1.2.1.3. Tanques almacén HFO

Por todo esto, determinamos que se dispondrá de varios tanques almacén los cuales irán situados en las tolvas altas de las bodegas número 4 y 5 lo que nos permite liberar espacio en la cámara de máquinas de nuestro buque.

Serán capaces de almacenar todo el HFO que no se encuentra en los tanques anteriormente calculados, por tanto, podemos definir su volumen como:

$$V_{almHFO} = V_{HFO} - V_{sedHFO} - V_{udHFO} = 1\,620 - 60 - 55 \cdot 2 = 1\,450 m^3$$

Se presenta a continuación la tabla resumen de las capacidades reales de los citados tanques contenedores de combustible obtenidos de la simulación en el programa informático *Maxsurf*.

TANQUE	CAPACIDAD	
	m ³	ton
SEDIMENTACIÓN HFO 1	44,51	43,62
USO DIARIO HFO 1	66,77	65,43
USO DIARIO HFO 2	66,77	65,43
SEDIMENTACIÓN HFO 2	44,51	43,62
S4B-TOLVA SUPERIOR B4 BABOR	414,06	405,78
S4E-TOLVA SUPERIOR B4 ESTRIBOR	414,06	405,78
S5B-TOLVA SUPERIOR B5 BABOR	411,50	403,27
S5E-TOLVA SUPERIOR B5 ESTRIBOR	411,50	403,27
TOTAL	1 873,67	1 836,20

3.1.2.2. Tanques diésel

El buque contará con varios tanques diésel de reserva. La capacidad de estos tanques será calculada para alimentar al motor principal durante 72 horas ante un fallo en el sistema de suministro de HFO.

$$V_{Doppal} = \frac{Ce \left[\frac{g}{kWh} \right] \cdot Pot[kW] \cdot autonomía[horas]}{permeabilidad \cdot densidad \left[\frac{kg}{m^3} \right]} = \frac{176,19 \cdot 11\,750 \cdot 0,85 \cdot 72}{0,98 \cdot 0,98 \cdot 10^6} \approx 130 m^3$$

3.1.2.2.1. Tanques uso diario diésel

Se dispondrán dos tanques de uso diario, situados en la cámara de máquinas, para la contención de diésel de $20 m^3$ cada uno.

3.1.2.2.2. Tanques almacén diésel

Los tanques almacén de diésel estarán ubicados en la cámara de máquinas y contendrán el restante de los tanques de uso diario.

$$V_{almDO} = V_{DO} - V_{UDDO} = 130 - 20 \cdot 2 = 90 \text{ m}^3$$

3.1.3. Cálculo de bombas del servicio

3.1.3.1. Bombas HFO

3.1.3.1.1. Bombas de trasiego

Su misión es la de mover el combustible desde los tanques almacén hasta los tanques de sedimentación. Se instalarán dos unidades siendo una de ellas de reserva. Cada una de ellas se dimensionará de modo que pueda llenar el tanque de sedimentación en una hora, por lo que su caudal será de $60 \text{ m}^3/\text{h}$. La presión será de 4 bar y se emplearán electrobombas centrífugas.

$$P = \frac{Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \cdot P_d [\text{m. c. a.}] \cdot \rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}{75 \cdot 3600 \cdot \eta_b \cdot \eta_e} = \frac{60 \cdot 40 \cdot 1000}{75 \cdot 3600 \cdot 0,65 \cdot 0,88} = 11,42 \text{ kW}$$

3.1.3.1.2. Bombas de alimentación

Estas bombas de baja presión aspirarán a través de filtros de succión del tanque de servicio diario y descargarán al circuito presurizado de HFO. Se instalarán cuatro electrobombas centrífugas, siendo una de ellas de reserva.

$$P = \frac{Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \cdot P_d [\text{m. c. a.}] \cdot \rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}{75 \cdot 3600 \cdot \eta_b \cdot \eta_e} = \frac{5,3 \cdot 50 \cdot 1000}{75 \cdot 3600 \cdot 0,65 \cdot 0,75} = 1,50 \text{ kW}$$

3.1.3.1.3. Bombas de lodos

Su misión es descargar el tanque de lodos cuando el buque esté en puerto. Dicho tanque tiene una capacidad de 15 m^3 , por lo que, suponiendo que queramos realizar la descarga en 3 horas , la bomba deberá tener un caudal de $5 \text{ m}^3/\text{h}$ y una presión de 4 bar .

Se instalarán dos electrobombas de husillo, una de ellas de reserva.

$$P = \frac{Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \cdot P_d [\text{m. c. a.}] \cdot \rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}{75 \cdot 3600 \cdot \eta_b \cdot \eta_e} = \frac{5 \cdot 40 \cdot 1000}{75 \cdot 3600 \cdot 0,44 \cdot 0,8} = 1,55 \text{ kW}$$

3.1.3.2. Bombas diésel

3.1.3.2.1. Bombas de trasiego

Se instalarán dos unidades siendo una de ellas de reserva. Cada una de ellas se dimensionará de modo que pueda llenar el tanque de uso diario en una hora, por lo que su caudal será de $20 \text{ m}^3/\text{h}$. La presión será de 4 bar y se emplearán electrobombas centrífugas.

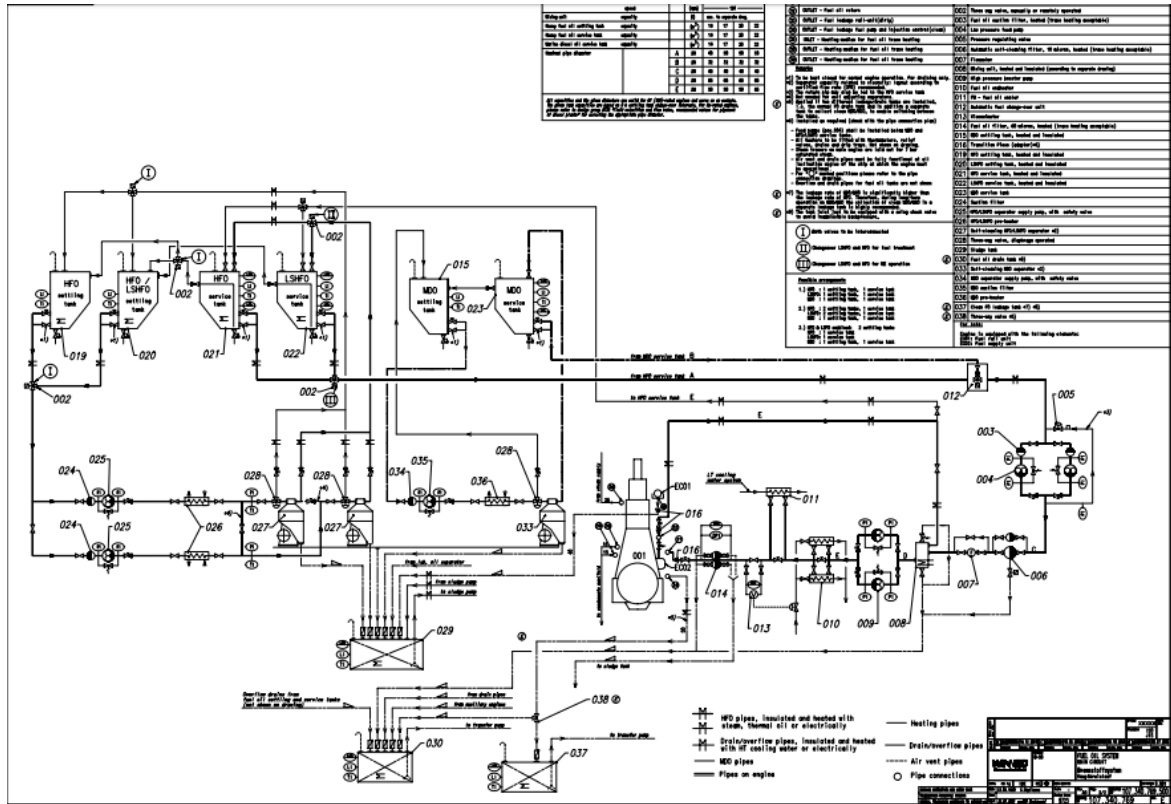
$$P = \frac{Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \cdot P_d [\text{m. c. a.}] \cdot \rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}{75 \cdot 3600 \cdot \eta_b \cdot \eta_e} = \frac{20 \cdot 40 \cdot 1000}{75 \cdot 3600 \cdot 0,65 \cdot 0,88} = 3,80 \text{ kW}$$

3.1.3.2.2. Bombas de alimentación

Se instalarán dos electrobombas centrífugas, siendo una de ellas de reserva.

$$P = \frac{Q \left[\frac{m^3}{h} \right] \cdot P_d [m. c. a.] \cdot \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]}{75 \cdot 3\,600 \cdot \eta_b \cdot \eta_e} = \frac{5,3 \cdot 50 \cdot 1\,000}{75 \cdot 3\,600 \cdot 0,65 \cdot 0,75} = 1,50 \text{ kW}$$

Se presenta a continuación el esquema del sistema de combustible de nuestro motor:



3.2. Servicio de lubricación por aceite

La lubricación de los rodamientos principales, de los de empuje, de la de cruceta, así como la refrigeración del pistón, es llevada a cabo por el sistema principal de aceite lubricante. El aceite del rodamiento principal también se utiliza para enfriar la cabeza del pistón, así como para lubricar y enfriar el amortiguador de torsión y el amortiguador axial.

Se presenta a continuación el esquema del sistema a desarrollar:

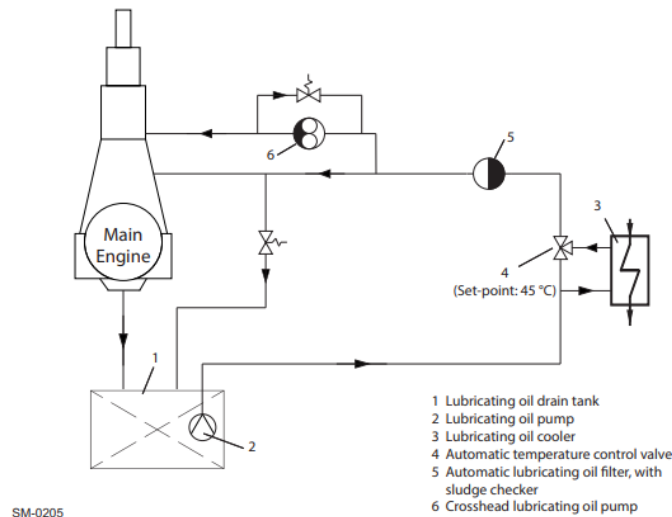


Figure 4-8 Scheme of lubricating oil system

3.2.1. Descripción de los componentes del servicio

3.2.1.1. Bomba de lubricación

Estas bombas pueden ser tanto bombas centrífugas como bombas de tornillo de desplazamiento positivo con válvula de alivio de sobrepresión. Para una bomba de desplazamiento positivo deberá tener un margen de entre el 0 y el 10% a mayores del caudal del flujo de retorno del filtro automático. Por el contrario, para una bomba centrífuga, este flujo deberá estar entre el -10 y el 10%.

El tipo de aceite que debemos utilizar será un *SAE30* que tenga una viscosidad de 50 *cSt* a la temperatura de trabajo.

3.2.1.2. Intercambiador de calor

Este intercambiador tiene como enfriador el circuito de agua dulce fría que puede intercambiar, bien sea mediante placas o, bien un intercambiador tubular, pero tiene que estar diseñado para que resista el paso del aceite a una presión de 6 *bar*, y con una temperatura de entrada de 56 °C y de salida de 45 °C.

3.2.1.3. Filtros de aceite lubricante

Serán filtros de tipo conmutable diseñados para la limpieza mientras están en servicio. Tendrán un manómetro diferencial, así como contactos de alarma diferenciales de alta presión.

El filtro será de malla de acero inoxidable y esta malla tendrá unos huecos de paso de 0,05 *mm*.

3.2.1.4. Sistema de lubricación de los cilindros

El sistema de lubricación de los cilindros se lleva a cabo por un sistema separado, que hace que el aceite pase una única vez por el circuito y que utiliza un aceite de grado *SAE50*.

El aceite lubricante para el cilindro se inyecta en la superficie de la camisa del cilindro a través de una bomba accionada hidráulicamente por unas púas situadas en el revestimiento del cilindro. La cantidad de aceite suministrado es ajustable para así

poder adaptarla a la edad de estado de funcionamiento de los aros del pistón y de los revestimientos.

3.2.1.5. **Tanque de drenaje del aceite lubricante**

El motor está diseñado para funcionar con un cárter seco, el aceite de retorno de los rodamientos fluye a la parte inferior del cárter y a través de los tamices cae en el tanque de drenaje del aceite lubricante.

3.2.2. **Capacidad tanques aceite lubricante**

3.2.2.1. **Tanque almacén aceite**

La *Project Guide* del motor principal escogido nos indica que el consumo de aceite de lubricación de nuestro motor principal ronda los 6 kg por día de funcionamiento de cada cilindro para la lubricación del sistema (cojinetes, cigüeñal, etc).

$$V_{\text{almacenppal}} = \frac{\text{con} \left[\frac{\text{kg}}{\text{cil} \cdot \text{día}} \right] \cdot \text{cil} \cdot \text{Autonomía}[\text{horas}]}{\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 10^3} = \frac{6 \cdot 5 \cdot 800}{0,98 \cdot 10^3} \cdot 110\% \approx 30 \text{ m}^3$$

Donde:

- *Con*: consumo de aceite por parte de los cilindros.
- *Cil*: número de cilindros del motor.

3.2.2.2. **Tanques aceite cilindros**

Este aceite se inyecta en los cilindros para asegurar el mínimo desgaste entre camisas y pistones.

Dado que el correcto consumo para cada cilindro (nuestro motor cuenta con 5) se encuentra entre 0,6 y 1,2 g/kWh, determinaremos un valor medio de 0,9 g/kWh para nuestro motor.

$$V_{\text{acecil}} = \frac{C_e \left[\frac{\text{g}}{\text{kWh}} \right] \cdot \text{Pot}[\text{kW}] \cdot \text{Autonomía}[\text{horas}]}{\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot \mu} = \frac{0,9 \cdot 5 \cdot 11\,750 \cdot 0,85 \cdot 800}{0,98 \cdot 0,98 \cdot 10^6} \\ = 35,95 \text{ m}^3 \approx 36,00 \text{ m}^3$$

3.2.2.2.1. **Tanque de servicio aceite cilindros**

Existirá un tanque de servicio de aceite de los cilindros con capacidad para dos días de consumo:

$$V_{\text{servacecil}} = \frac{C_e \left[\frac{\text{g}}{\text{kWh}} \right] \cdot \text{Pot}[\text{kW}] \cdot \text{horas}}{\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot \mu} = \frac{0,9 \cdot 5 \cdot 11\,750 \cdot 0,85 \cdot 48}{0,98 \cdot 0,98 \cdot 10^6} = 2,15 \text{ m}^3 \\ \approx 2,50 \text{ m}^3$$

3.2.2.2. Tanque almacén aceite cilindros

Éste tanque contará con la capacidad suficiente para albergar el aceite necesario para la lubricación de los cilindros que no vaya en el tanque de servicio, es decir:

$$V_{almacecil} = V_{acecil} - V_{servacecil} = 36,00 - 2,50 = 33,50 \text{ m}^3$$

Se presenta a continuación la tabla resumen de las capacidades reales de los citados tanques contenedores de aceite obtenidos de la simulación en el programa informático *Maxsurf*.

TANQUE	CAPACIDAD	
	m ³	ton
SERVICIO ACEITE CILINDROS	5,90	5,43
ALMACÉN ACEITE CILINDROS	35,26	32,44
ALMACÉN ACEITE 1	18,49	17,01
ALMACÉN ACEITE 2	14,30	13,15
TOTAL	73,95	68,03

3.2.3. Cálculo de bombas del servicio

3.2.3.1. Bombas de lubricación

Se instalarán dos bombas, una de ellas de reserva, de engranajes o de tornillo accionadas por motor eléctrico y capaces de vencer una presión de 6,6 bar.

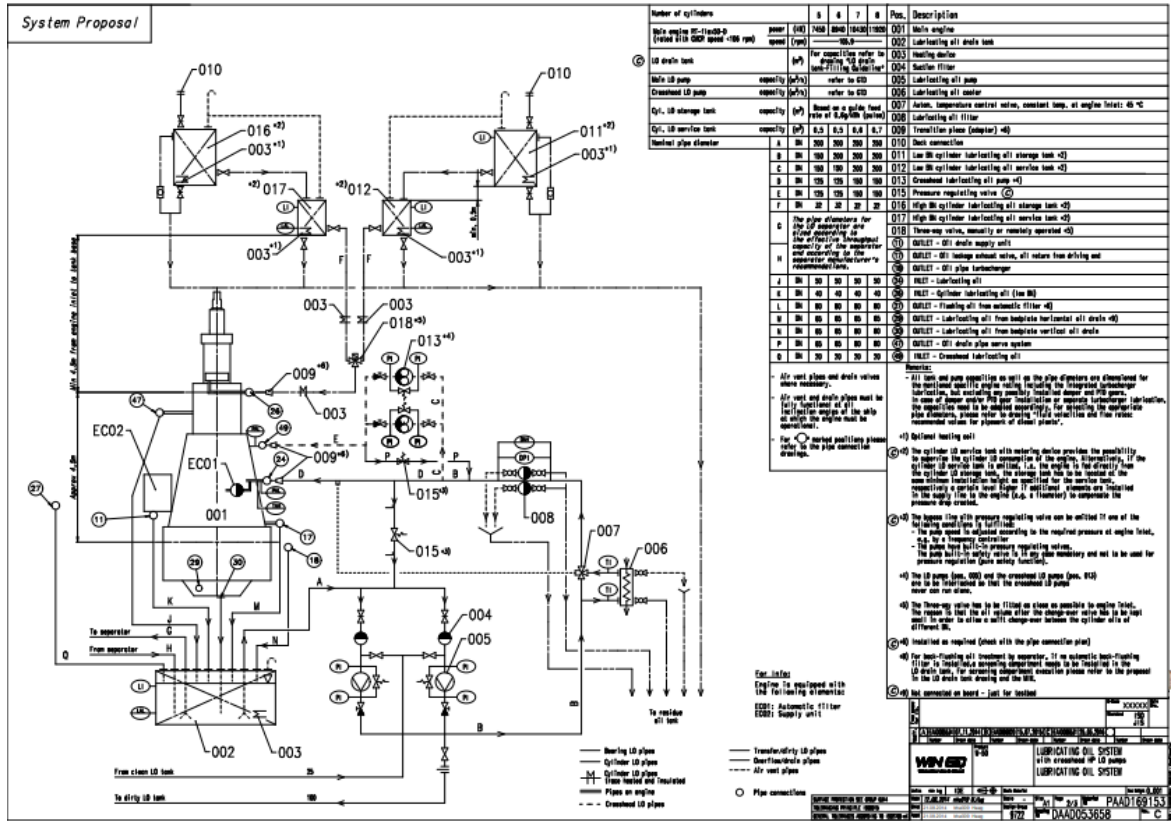
$$P = \frac{Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \cdot P_d [\text{m. c. a.}] \cdot \rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}{75 \cdot 3\,600 \cdot \eta_b \cdot \eta_e} = \frac{159 \cdot 66 \cdot 1\,000}{75 \cdot 3\,600 \cdot 0,5 \cdot 0,92} = 62,10 \text{ kW}$$

3.2.4. Tratamiento y mantenimiento del aceite lubricante

Que el aceite de lubricación se mantenga limpio es básico para que todos los lugares por los que este aceite pasa se mantengan en el mejor estado posible. Por eso, los contaminantes sólidos y líquidos en suspensión deben ser eliminados. Esto se hace mediante separadores centrífugos que están en bypass con el sistema de lubricación del motor.

Se debe tener mucho cuidado con los separadores y con los filtros y asegurarse de que siempre funcionen correctamente. Los separadores deben configurarse como purificadores del aceite y deben estar siempre aislados de los sistemas de tratamiento del combustible líquido.

A continuación, vemos el esquema real del circuito de lubricación:



3.3. Servicio de agua de refrigeración

Partiendo del *Project Guide* de nuestro motor podemos definir el sistema de agua de refrigeración como un sistema de enfriamiento de agua dulce central con enfriador de una sola etapa de barrido de aire y el circuito de alta temperatura separado.

El esquema general de la instalación es el que sigue a continuación:

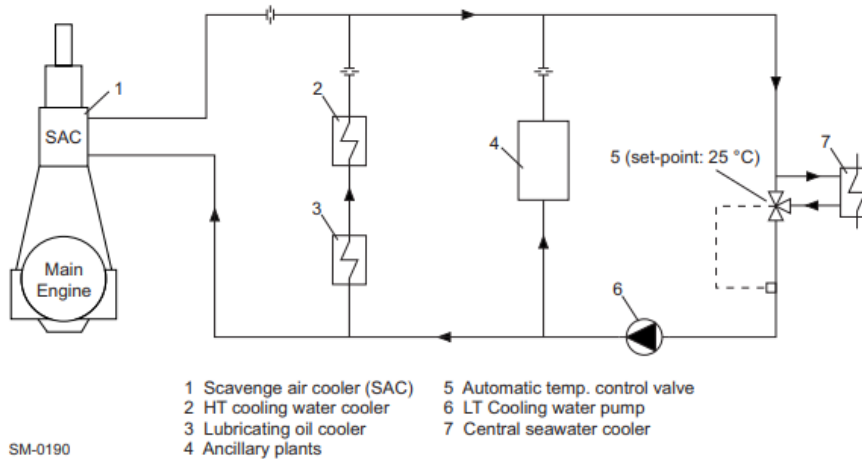


Figure 4-3 Scheme of cooling water system

El sistema trata dos circuitos distintos, uno para el agua a más baja temperatura, y otro para el agua a más alta temperatura.

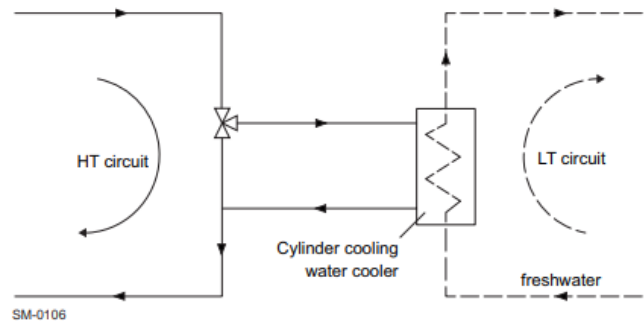


Figure 4-4 Separate HT cooling water circuit

Los sistemas de refrigeración de agua dulce reducen la cantidad de tubos de agua de mar y sus problemas como la corrosión y la contaminación, y proporcionan un control mejorado del enfriamiento. La optimización del sistema de refrigeración de agua dulce hace que se reduzcan los costes globales de funcionamiento en comparación con el sistema de refrigeración de agua de mar convencional.

Durante el funcionamiento normal del sistema de agua de refrigeración de los cilindros, la altura de impulsión de la bomba y el caudal total deben permanecer constantes, incluso cuando el generador de agua dulce se pone en marcha o se apaga.

El sistema de agua de refrigeración de los cilindros debe estar totalmente separado de los sistemas de vapor, en ninguna circunstancia debe haber ninguna posibilidad de que entre vapor en el sistema de agua de enfriamiento de los cilindros.

La instalación de equipos que afecten al control de la temperatura del sistema de agua de refrigeración de los cilindros debe ser examinado previamente antes de ser añadido ya que los aumentos o disminuciones de temperatura no controlados pueden llevar a un shock térmico de los componentes del motor.

El shock térmico tiene que evitarse siendo para esto necesario que el gradiente de temperatura cuando se arranca o cuando se apaga equipación adicional no debe ser mayor de dos grados por minuto en la entrada del motor.

3.3.1. Descripción de los componentes del servicio

3.3.1.1. Circuito de baja temperatura

A continuación, vamos a hacer una relación de los componentes principales de este circuito.

3.3.1.1.1. Filtro de agua salada

Se debe instalar un filtro, ya sea simple o doble, en cada toma de mar que se debe poder limpiar manualmente sin interrumpir el flujo de agua. El filtro debe estar dimensionado para que no pasen partículas mayores de 6 mm que puedan dañar las bombas y que deterioren la transferencia de calor en los intercambiadores.

3.3.1.1.2. Bomba de agua salada

Será una bomba centrífuga y tendrá que cubrir todas las necesidades del flujo de agua que necesite en motor con un margen del 10%.

De los datos proporcionados del *General Technical Data (GTD)* para nuestro motor, nos da que esta bomba tiene que tener un caudal de $313 \text{ m}^3/\text{h}$ y una altura de impulsión de 2,5 bar.

3.3.1.1.3. Intercambiador central

Puede ser de placas o tubular. El fluido frío será agua de mar mientras que el fluido, llamado caliente en este caso, será el agua dulce.

3.3.1.1.4. Controlador de la temperatura

El sistema de enfriamiento de agua dulce tiene que ser capaz de mantener la temperatura de entrada del intercambiador de aire de barrido entre los 25 y los 36 °C.

3.3.1.1.5. Bombas de agua dulce para el circuito de baja temperatura

Será una bomba centrífuga y tendrá que cubrir todas las necesidades del flujo de agua que necesite el motor con un margen de 10%.

3.3.1.2. Circuito de alta temperatura

3.3.1.2.1. Bomba de agua dulce para el circuito de alta temperatura

Será una bomba centrífuga, y además la curva de altura debe cumplir que para un incremento de presión ente el 100 y el 107%, la capacidad de la bomba no debería reducirse más de un 10%.

3.3.1.2.2. Tanque de expansión

Debe estar situado a por lo menos 3,5 metros por encima de la brida de ventilación más alta del motor para asegurar que la presión estática necesaria se aplica sobre el sistema de agua de enfriamiento de los cilindros. Deberá ir conectado mediante un tubo comunicante a la aspiración de la bomba.

3.3.1.2.3. Válvula de control automático de la temperatura

Válvula lineal de tres posiciones, eléctrica o electro-pneumática. Con una presión de diseño de 5 bar, es una pérdida de presión a través de ella de 0,5 bar. Será accionada por un controlador PI que tiene un error máximo en estado estacionario de 2 °C y en estado transitorio de 4 °C.

El sensor de temperatura irá colocado en la salida de la tubería del motor.

3.3.2. Cálculo de bombas del servicio

3.3.2.1. Bombas de agua dulce para el circuito de baja temperatura

Se instalarán dos electrobombas centrífugas, una de ellas de reserva, con una temperatura máxima de 36 °C y accionadas por un motor eléctrico con las siguientes características:

$$P = \frac{Q \left[\frac{m^3}{h} \right] \cdot P_d [m. c. a.] \cdot \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]}{75 \cdot 3600 \cdot \eta_b \cdot \eta_e} = \frac{313 \cdot 25 \cdot 1000}{75 \cdot 3600 \cdot 0,75 \cdot 0,92} = 30,87 kW$$

3.3.2.2. Bombas de agua dulce para el circuito de alta temperatura

Se instalarán dos electrobombas centrífugas, una de ellas de reserva, con una temperatura máxima de 75 °C y accionadas por un motor eléctrico con las siguientes características:

$$P = \frac{Q \left[\frac{m^3}{h} \right] \cdot P_d [m. c. a.] \cdot \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]}{75 \cdot 3600 \cdot \eta_b \cdot \eta_e} = \frac{93 \cdot 30 \cdot 1000}{75 \cdot 3600 \cdot 0,75 \cdot 0,92} = 11 kW$$

3.3.3. Tratamiento de agua de refrigeración

El correcto tratamiento de agua dulce de refrigeración es fundamental para que el motor funcione de forma segura. Para esto debemos utilizar sólo agua totalmente desmineralizada o condensada. En caso de emergencia, podemos utilizar agua potable normal durante un tiempo limitado, pero después debemos drenar el motor y volver a llenar el sistema con agua desmineralizada.

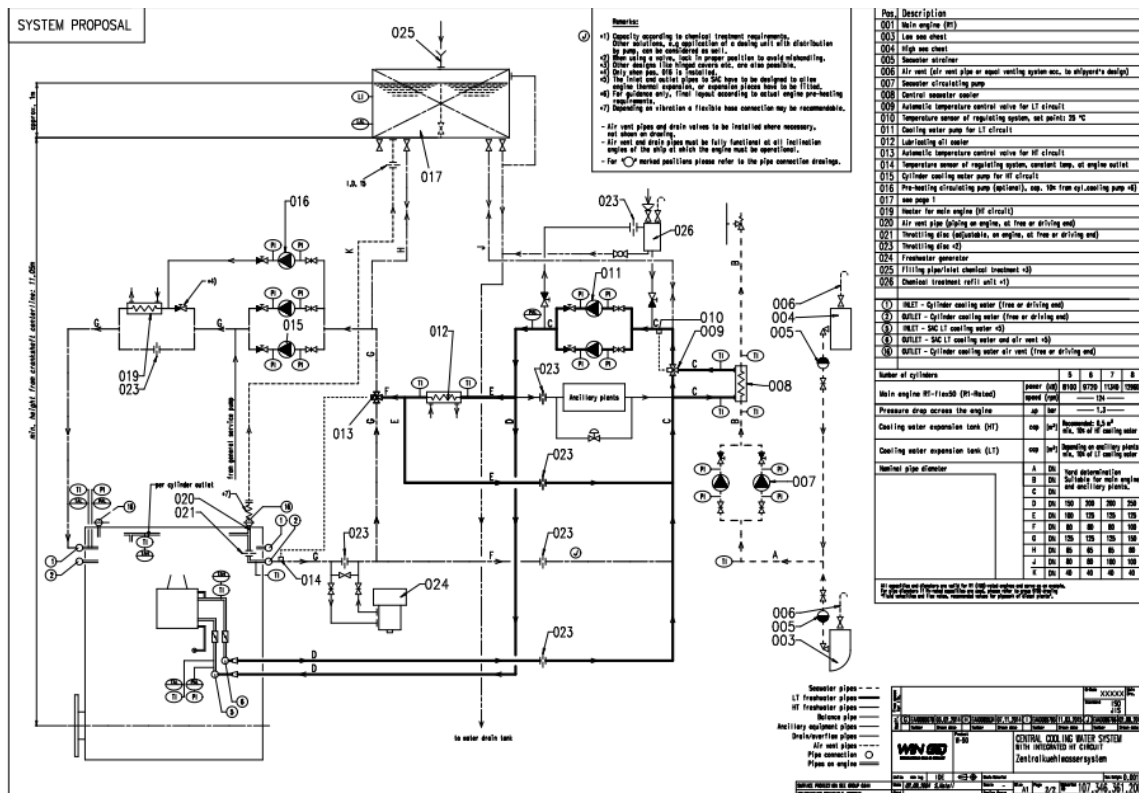
El fabricante nos recomienda algunos parámetros para el agua de refrigeración:

- pH mínimo: 6,5.
- dH máximo: 10 °dH (correspondiente a 180mg/l CaCO₃).
- Cloruro máximo: 80 mg/l.
- Sulfatos máximos: 150 mg/l.

Además, el agua utilizada debe ser tratada con un inhibidor de la corrosión, adecuado para prever el ataque de la corrosión, la formación de lodos y los depósitos de sarro.

Vigilar el nivel del inhibidor de la corrosión y la suavidad del agua es esencial para evitar los tiempos de inactividad por culpa de fallos de los componentes resultantes de la corrosión o por problemas de transferencia de calor. No se deben usar tubos de acero internamente galvanizados en contacto con el agua dulce tratada ya que la mayoría de los inhibidores de corrosión tienen una base de nitrito y los nitritos atacan el revestimiento de zinc de las tuberías galvanizadas y crean lodos.

A continuación, se presenta el plano de todo el sistema:



3.4. Servicio de aire de arranque y de control

Se requiere aire comprimido para el arranque del motor, para el control del motor y para más servicios generales. El sistema de arranque y de control del motor se muestra en la siguiente imagen en la que podemos ver los dos compresores de aires, los dos receptores de aire y los sistemas de tubería y válvulas conectadas al colector de aire de arranque del motor.

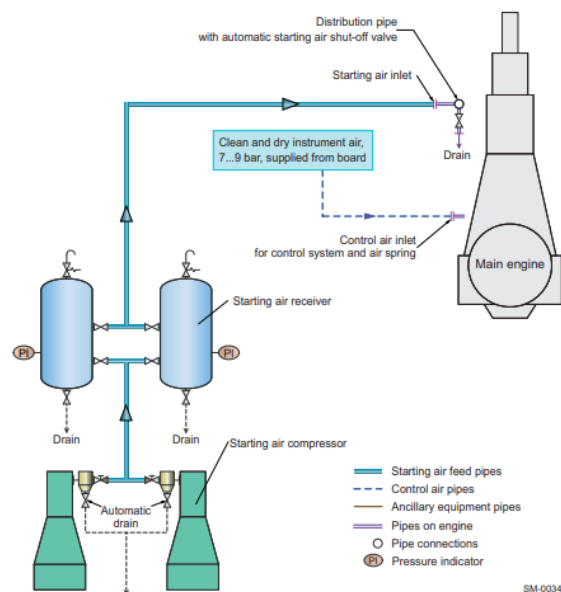


Figure 4-16 Starting and control air system

Mientras que los motores requieren para su arranque aire comprimido a 30 bar, diversos servicios como son los talleres, los pescantes, etc, requieren aire a una presión inferior, normalmente a 7 bar.

Además, una válvula reductora de 7 a 2 bar alimentará al separador de sentinas, las tomas de mar y todos aquellos instrumentos y sistemas de control que requieran baja presión.

Se deben instalar dos compresores, uno de los cuales, por lo menos, será independiente del motor principal, siendo la capacidad de este no inferior al 50% de la capacidad total requerida. La capacidad del compresor será la suficiente como para suministrar a las botellas de almacenamiento la cantidad de aire necesario a la presión de 30 bar en 1 hora.

La capacidad de botellas y compresores cubrirá la demanda de aire comprimido del motor principal y del arranque de los motores auxiliares, mientras que para los servicios auxiliares y el aire de control e instrumentación se dispondrá de una botella de 3 m³ de 7 bar. Esta botella podrá ser rellenada desde las botellas principales a través de una estación reductora, que en caso necesario podrá suministrar aire de baja directamente a los servicios.

Para nuestro motor los datos referentes al aire de arranque son los siguientes:

AIRE ARRANQUE	
Número de arranques	12
Inercia relativa específica	2
Inercia del motor	104 600 kgm ²
Compresores	2 x 135 Nm ³ /h a 30 bar
Botellas de aire de arranque	2 x 4,5 m ³ a 30 bar

Nuestro buque llevará pues, dos compresores de la casa **BAUER**, concretamente el modelo **B28.2**, los cuales presentan una capacidad de entre 2 775 y 3 200 *l/min* para los 2 250 *l/min* necesarios.

Model	Capacity FAD ¹⁾		Number of Stages	Motor		Drive
	scfm	l/min		HP ²⁾	kW	
350-1000 psig (24-69 bar)						
B12.4	7.5	212	3	5	3.7	E1/E3
B22.5	24-33	680-935	3	15-20	11-15	E3
B23.4	48-61	1360-1728	3	30-40	22-30	E3
B25.4	75	2125	3	50	37	E3
B28.2	98-113	2775-3200	3	60-75	45-55	E3
B25.5 ³⁾	164	4645	3	100	75	E3
B28.3 ³⁾	200-240	5665-6800	3	125-150	93-110	E3

1) Compressor capacity (FAD) is referenced to standard inlet conditions and 80% of the compressor's maximum working pressure. Tolerance +/- 5%.

2) 3-phase motors only, 60 Hz standard. 50 Hz available on request.

3) Maximum discharge pressure of 900 psig.

E1 = 230 / 1 / 60 E3 = 230 - 460 / 3 / 60

Other voltages and frequencies available upon request.

Engine drives available.

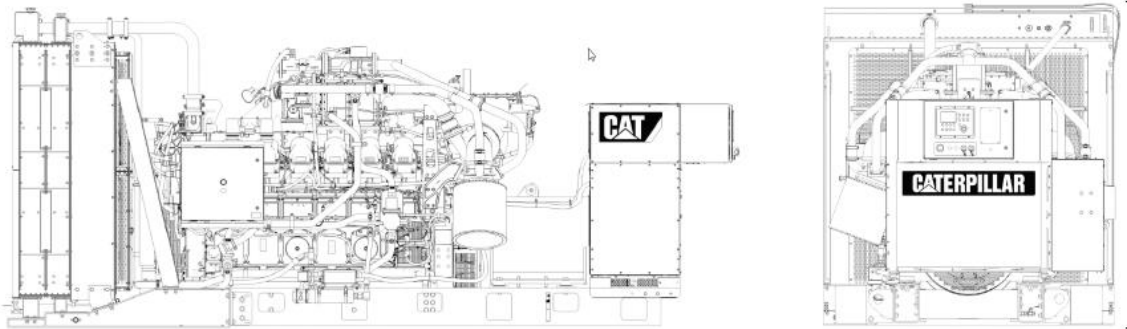
4. GENERADORES AUXILIARES

4.1. Generador LNG

Dado que el generador alimentado por LNG entrará en funcionamiento en la maniobra de carga y descarga del buque, se dimensionará su potencia para dicha situación.

Es habitual que exista la posibilidad de conectarse a tierra en el momento de realizar los trabajos en puerto, sin embargo, se planteará que no existe esa posibilidad por lo que será necesario instalar dos generadores LNG capaces de soportar la situación mencionada.

A la hora de escoger el motor idóneo para suministrar la potencia necesaria, recurriremos a la casa *Caterpillar* y más concretamente al modelo *Cat G3512*. Se decide instalar a bordo dos equipos generadores capaces de suministrar 750 kW de potencia.



A partir de la especificación correspondiente a los generadores de LNG, realizamos los cálculos pertinentes para llegar a la conclusión de que el buque contará a bordo con dos tanques de 72 m³ de volumen neto cada uno los cuales irán situados transversalmente en la parte posterior de la superestructura.

4.2. Power Take-Off (PTO)

Para cubrir las necesidades eléctricas del buque en las condiciones de navegación se instalará a bordo una PTO de 845 kW que se acoplará al motor principal.

Además, la PTO irá acompañada de un variador de frecuencia para poder trabajar sin importar que el eje varíe su frecuencia de giro, ya que nuestro buque cuenta con una hélice de paso fijo.

Como ya se trató en otros cuadernos, el alternador de cola elegido para nuestro buque será el modelo *DSG 62 L2/4* de la casa *Stamford | AvK*.

AvK DSG62



5. DISPOSICIÓN CÁMARA DE MÁQUINAS

La cámara de máquinas se extiende entre el mamparo del pique de popa (9,75 m desde la perpendicular de popa) hasta el mamparo de la cámara de máquinas (30 m desde la perpendicular de popa), por lo que tendrá una longitud de 20,25 m.

El motor principal irá situado en crujía, a la altura del doble fondo, esto es, a 2 m sobre la línea base, de manera que se puedan ubicar en el espacio del doble fondo los tanques de sentinas, aguas aceitosas, reboses (tanto de HFO como de aceites) así como el tanque de lodos. Se ubicará los suficientemente a popa como para colocar los tanques de uso diario y de sedimentación del HFO y de uso diario y almacén de diésel en la zona de proa de la cámara de máquinas.

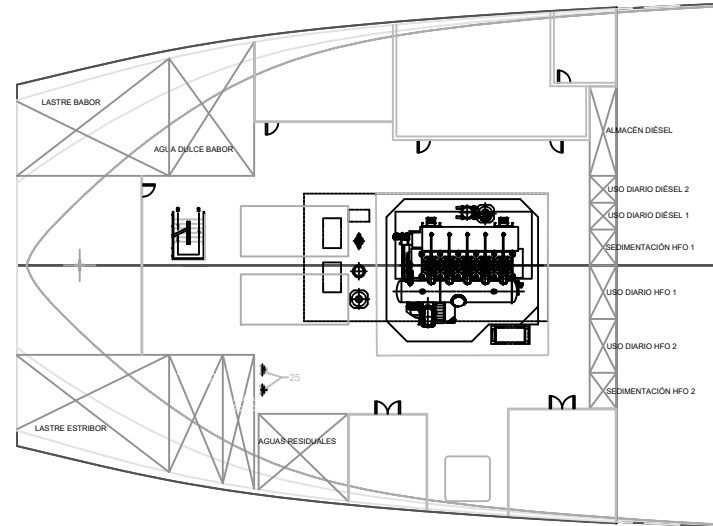
Los dos generadores de LNG se ubican en la plataforma superior de la cámara de máquinas, donde también se encontrarán varios locales destinados a diversos servicios así como una sala de control centralizado en la que se agruparán los elementos necesarios para el control a distancia del motor principal, señalizaciones y alarmas.

Para el mantenimiento y desmontaje de los diferentes elementos contenidos en la sala de máquinas existe una escotilla que conecta directamente con el exterior en la cubierta toldilla y que mediante una grúa facilitará la introducción y extracción del buque. Además, dentro de la propia sala existirán una serie de guías y grúas para el manejo de estos elementos.

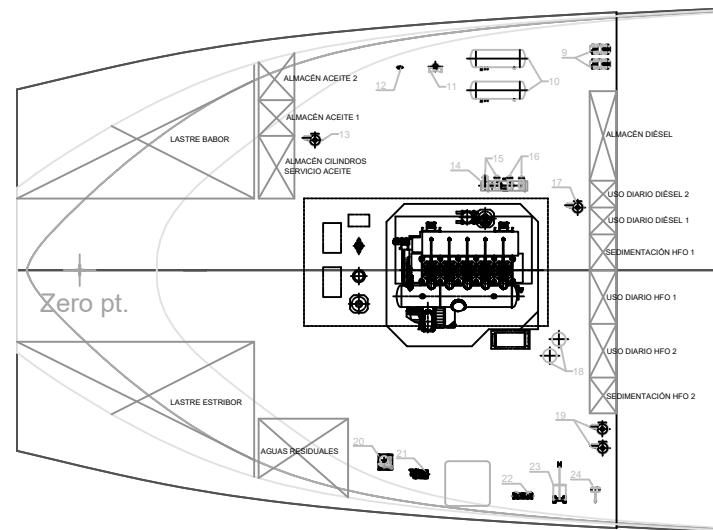
Se adjunta como *Anexo I* la disposición de la cámara de máquinas de nuestro buque distribuida en diversas alturas.

ANEXO I

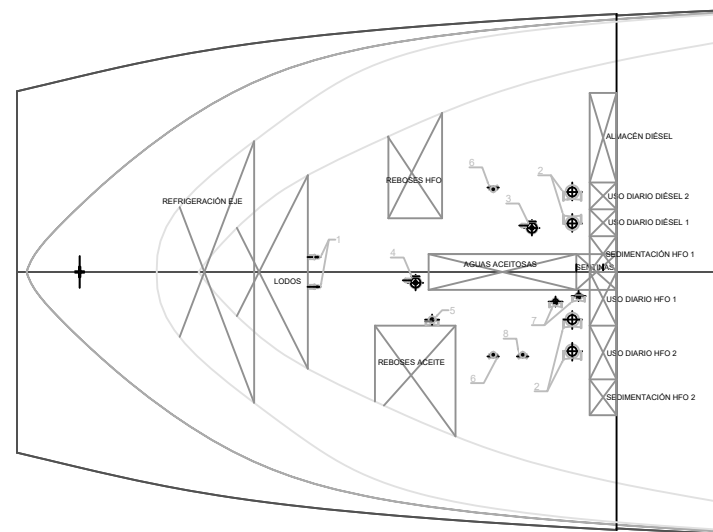
Plano disposición cámara de máquinas



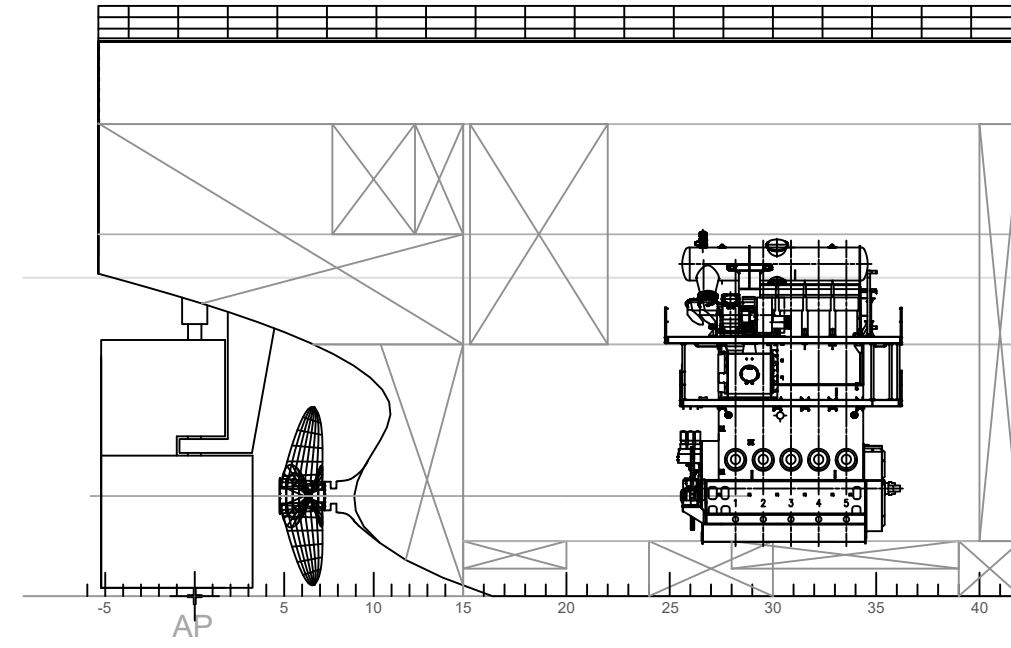
CTA. PLATAFORMA SUP.





CTA. PLATAFORMA INF.



CTA. DOBLE FONDO



LEYENDA			
1	BOMBA DESCARGA DE LODOS	14	PRECALENTADOR FUEL-OIL
2	BOMBAS DE LASTRE	15	BOMBAS SUMINISTRO FUEL-OIL
3	SEPARADOR DE SENTINAS	16	BOMBAS CIRCULACIÓN FUEL-OIL
4	BOMBA DE ACHIQUE	17	PURIFICADORA DIESEL-OIL
5	BOMBA DE CIRCULACIÓN DE ACEITE	18	BOTELLAS DE AIRE DE SERVICIO
6	BOMBAS CONTRAINCENDIOS	19	PURIFICADORAS FUEL-OIL
7	BOMBAS ACHIQUE DE SENTINAS	20	TANQUE HIDRÓFORO
8	BOMBAS CONTRAINCENDIOS EMERG.	21	POTABILIZADORA
9	COMPRESORES PRINCIPALES	22	BOMBAS A.D. REFRIGERACIÓN CAMISAS
10	BOTELLAS DE AIRE DE ARRANQUE	23	ENFRIADOR CENTRAL
11	ENFRIADOR DE ACEITE	24	ENFRIADOR AGUA DE CAMISAS
12	BOMBA TRASIEGO DE ACEITE	25	BOMBAS AGUA DULCE
13	PURIFICADOR DIESEL-OIL		

GRADO	INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA	ESCUELA:		UNIVERSIDAD:	
TFG	BULKARRIER PORTACONTENEDORES 40 000 TPM				UNIVERSIDADE DA CORUÑA
DOCUMENTO	CUADERNO 10	ALUMNA	MARTA GONZÁLEZ GARCÍA		
ESCALA:	PLANO:	TUTOR	VICENTE DÍAZ CASÁS		
1:650	CÁMARA DE MÁQUINAS				