



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2017/2018**

PETROLERO SUEZMAX 148.000 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 2.016-2017

PROYECTO NÚMERO 17-12

TIPO DE BUQUE: Petrolero Suezmax 148000 TPM

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNV, MARPOL, SOLAS, CONVENIO DE LINEAS DE CARGA TIER 3

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 148000 TPM. Transporte de petróleo CRUDOS Y DERIVADOS.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 15,8 nudos con 85%MCR+ 15% margen de mar

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Bombas de carga y descarga en los tanques de carga. Calefacción en tanques de carga.

PROPULSIÓN: Motor diésel directamente acoplado.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 30 personas

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

Ferrol, 10 Setiembre 2016

ALUMNO/A: **D^a PABLO MARTÍNEZ MARTÍNEZ**

Fernando Junco Ocampo



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Contenido

1 INTRODUCCIÓN.....	4
2 ELECCIÓN DEL MOTOR DE PROPULSIÓN.....	5
3 JUSTIFICACIÓN DE LA POTENCIA REQUERIDA.....	7
4 EQUIPOS Y SERVICIOS AXULIARES A LA PROPULSIÓN.	8
4.1 Sistema de refrigeración.	8
4.1.1 Circuito de baja temperatura.....	9
4.1.2 Circuito de alta temperatura.....	11
4.1.3 Tratamiento de agua de refrigeración.	12
4.1.4 Generador de agua dulce.	13
4.2 Servicio de combustible.	16
4.3 Sistema de lubricación.....	24
4.3.1 Componentes del sistema de lubricación.....	24
4.3.2 Sistema de lubricación de los cilindros.	26
4.3.3 Tratamiento y mantenimiento del aceite lubricante.	27
4.3.4 Tanque de drenaje del aceite lubricante.	27
4.4 Sistema de aire de arranque y de control.....	29
4.5 Sistema de gases de exhaustación.....	32
5 ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DEL MOTOR PROPULSOR Y JUSTIFICACIÓN DE LA AUTONOMÍA REQUERIDA.	34
5.1 Consumo de combustible.....	34
5.2 Consumo de aceite lubricante.....	36
6 DISPOSICIÓN DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS.....	38

1 INTRODUCCIÓN.

En este cuaderno se completa la definición de la maquinaria propulsora que se empezó en el Cuaderno 6 con la elección del motor y diseño del propulsor. Así mismo se obtendrán las capacidades de los tanques para la autonomía requerida una vez conocidas todas las características del motor principal.

También se define y calculo la potencia necesaria para los auxiliares. Todo estos cálculos tienen como finalidad la elaboración al final del documento un plano de disposición general de los equipos y maquinaria en la cámara de máquinas, distribuyéndolos adecuadamente para optimizar el espacio y simétricamente para evitar la escora.

Datos de partida:

L total (m)	288,1
Lpp (m)	273,5
Manga (m)	45,3
Puntal (m)	24
Calado (m)	17,7
Cb	0,866
Cm	0,992
Cp	0,873
Δ (t)	195.606
TPM	148.000
Volumen tanques de carga (m ³)	165.290

2 ELECCIÓN DEL MOTOR DE PROPULSIÓN

De acuerdo con lo expuesto en el Cuaderno 6, el motor que elija se debe adaptar a las condiciones de proyecto, es decir necesito un motor que me dé una potencia de 24289 kW.

Como se requiere en la RPA el motor será un motor lento de 2 tiempos directamente acoplado a la hélice, y que además tiene que cumplir una serie de restricciones por emisiones, con lo que el motor requiere un nivel exigido por la IMO de TIER III.

El fabricante recomienda varios tipos de motor y los tres que más se adaptan a los requerimientos son estos tres:

WARTSILA X82-B		WARTSILA X72		WARTSILA X92	
Nº Cilindros	7	Nº Cilindros	7	Nº Cilindros	6
BHP	25340	BHP	25270	BHP	27900
g/kWh	164,8	g/kWh	166	g/kWh	165,8
Longitud (mm)	12550	Longitud (mm)	10665	Longitud (mm)	11630
Manga (mm)	5320	Manga (mm)	4780	Manga (mm)	5550
RPM	58	RPM	89	RPM	80
Peso (t)	910	Peso (t)	642	Peso (t)	1120

Para el criterio de selección del motor no solo se basará en criterios económicos, sino que se seleccionará teniendo en cuenta criterios de consumo específico, peso y proximidad de revoluciones idóneas para el motor indicados en el Cuaderno 6.

El motor escogido es WARTSILA X72 el cual es el recomendado para buques petroleros Suezmax por el fabricante como se ve a continuación, y cumple con los requerimientos de TIER III. Sus dimensiones son las siguientes: (la especificación del motor se adjunta como ANEXO)

Tanker type	WinGD Low-speed Engines					
	X35-B	X40-B	X52 RT-flex48T-D RT-flex50-D	X62-B RT-flex58T-D	X72	X82
Small Tanker	•	•				
Product Tanker			•			
Panamax Tanker				•		
Aframax Tanker				•	•	
Suezmax Tanker					•	
VLCC						•

WARTSILA X72 IMO TIERIII	
Nº Cilindros	7
BHP	25270
g/kWh	166,8
Longitud (mm)	10665
Manga (mm)	4780
RPM	89
Peso (t)	642

3 JUSTIFICACIÓN DE LA POTENCIA REQUERIDA.

En este apartado se comprueba que la potencia que da el fabricante es en realidad la que realmente puede proporcionar el motor. Para esto se calcula la potencia por cilindro partiendo de la presión media efectiva, el volumen de los cilindros, las revoluciones del motor y del parámetro “a” que vale 1 para motores de 2 tiempos.

Según los datos que proporciona el fabricante, el motor suministra una potencia por cilindro de 3610 kW/cyl.

Bore	720 mm
Stroke	3086 mm
Number of cylinders	4 to 8
Power (MCR)	3610 kW/cyl
Speed (MCR)	84 / 89 rpm
Mean effect. press.	20.5 / 19.4 bar
Mean piston speed	8.6 / 9.2 m/s

A continuación realizo una comprobación de la potencia, mediante la expresión del libro “Máquinas para la Propulsión de buques”:

$$P = 39,24 \cdot Pe \cdot D^2 \cdot cm \cdot \frac{i}{z} = 39,24 \cdot 19,4 \cdot 0,72^2 \cdot 9,2 \cdot \frac{7}{1} = 25414 \text{ kW}$$

Esta potencia que comprobamos es muy próxima a la que dice el fabricante (25270 kW).

4 EQUIPOS Y SERVICIOS AXULIARES A LA PROPULSIÓN.

El diseño y cálculo de los elementos que componen y auxilian a los motores principales se hará siguiendo el Product Guide del motor seleccionado.

Se comprobarán los esquemas correspondientes, analizando cada componente comprobando el número de bombas, caudal, presión, diámetro y la potencia necesaria en el caso de que sean necesarias.

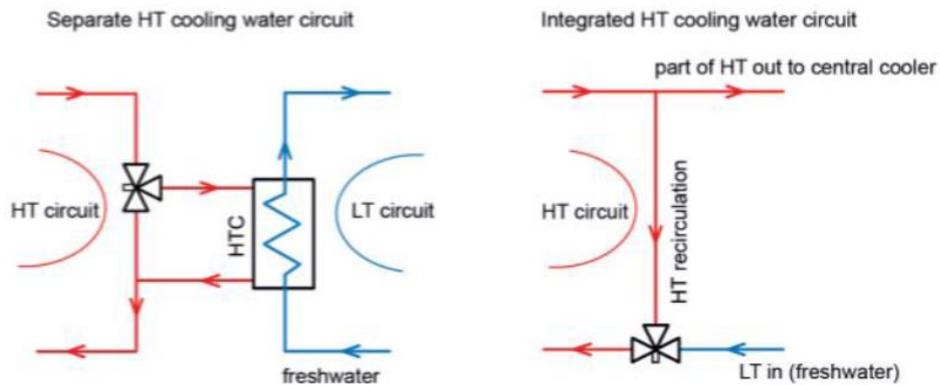
Los equipos principales que componen los sistemas auxiliares de la propulsión son los siguientes:

- Servicio de combustible.
- Servicio de lubricación.
- Servicio de agua dulce.
- Servicio de agua salada.
- Servicio de aire de arranque.
- Servicio de ventilación.

4.1 Sistema de refrigeración.

El sistema de agua de refrigeración podría ser de dos maneras distintas:

- Sistema de enfriamiento de agua dulce central con enfriador de una sola etapa de barrido de aire y el circuito de alta temperatura separado.
- Sistema de enfriamiento de agua dulce central con enfriador de una sola etapa de barrido de aire y el circuito de alta temperatura integrado.



En mi caso utilizo el primer tipo, donde tengo dos circuitos distintos: uno para agua a más baja temperatura y otro para agua a mas alta temperatura.

El sistema de refrigeración de agua dulce reduce el numero de tubería de agua de mar y sus problemas de corrosión y contaminación, proporcionando un mejor control de la refrigeración.

El fabricante me da algunas recomendaciones para el diseño de este sistema que mencionare a continuación.

4.1.1 Circuito de baja temperatura.

Componentes de este servicio:

- Filtro de agua salada.

Puede ser un filtro simple o doble, que debe ir en cada toma de mar para poder limpiar sin interrumpir el flujo de agua. Este filtro debe ser dimensionado de forma que no pasen partículas mayores de 6 mm.

- Bomba de agua salada.

Será una bomba de tipo centrífugo y tiene que cubrir las necesidades de flujo de agua para el motor con un margen del 10%.

Esta bomba según Wartsila tiene que tener un caudal de 879 m³/h, trabajando a una presión de 2 bar.

Con estos datos obtengo la potencia mediante la fórmula:

$$P_{bomba \text{ a.s.}} = \frac{Q \cdot H \cdot RO}{264} = \frac{879 \cdot 20,4 \cdot 1,026}{264} = 69,7 \text{ kW}$$

Cyl	Lubricating oil *4)		HT circuit		LT circuit		Fuel oil booster		Fuel oil feed		Seawater	
	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)
4	164	6.6	119	3.0	327	2.8	6.5	6.5	3.6	5.0	502	2.0
5	188	6.6	149	3.0	373	2.8	8.1	6.5	4.5	5.0	628	2.0
6	214	6.6	179	3.0	539	2.8	9.7	6.5	5.4	5.0	754	2.0
7	237	6.6	210	3.0	628	2.8	11.4	6.5	6.3	5.0	879	2.0
8	262	6.6	240	3.0	656	2.8	13.0	6.5	7.2	5.0	1006	2.0

- Intercambiador central.

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

Este intercambiador tiene que disipar una cantidad de calor de 18724 kW con un flujo de agua dulce de 628 m³/h. La temperatura de entrada es de 61 °C y la de salida es de 36 °C.

Para el agua de mar el flujo es de 879 m³/h, con una temperatura de entrada de 32 °C y una de salida de 50 °C.

	Heat dissipation *2) [kW]	2130	Heat dissipation [kW]	18274
	Oil flow *2) [m ³ /h]	237	FW flow [m ³ /h]	628
7	Oil temp. cooler in/out [°C]	63.0 / 45.0	FW temp. cooler in/out [°C]	61.0 / 36.0
	Water flow [m ³ /h]	185	SW flow [m ³ /h]	879
	Water temp. cooler in/out [°C]	36.0 / 46.0	SW temp. cooler in/out [°C]	32.0 / 50.0

- Controlador de temperatura.

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

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

Será una bomba de tipo centrífugo y tiene que cubrir las necesidades de flujo de agua para el motor con un margen del 10%.

Esta bomba tiene un caudal de 628 m³/h y trabaja a una presión de 2,8 bar.

La potencia de esta bomba será de:

$$P_{bomba\ a.d.} = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{1000} = \frac{628 \cdot 28,56 \cdot 1}{1000} = 67,9\ kW$$

Cyl	Lubricating oil *4)		HT circuit		LT circuit		Fuel oil booster		Fuel oil feed		Seawater	
	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)
4	164	6.6	119	3.0	327	2.8	6.5	6.5	3.6	5.0	502	2.0
5	188	6.6	149	3.0	373	2.8	8.1	6.5	4.5	5.0	628	2.0
6	214	6.6	179	3.0	539	2.8	9.7	6.5	5.4	5.0	754	2.0
7	237	6.6	210	3.0	628	2.8	11.4	6.5	6.3	5.0	879	2.0
8	262	6.6	240	3.0	656	2.8	13.0	6.5	7.2	5.0	1006	2.0

4.1.2 Circuito de alta temperatura.

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

Es una bomba centrífuga, para la que su curva de altura debe cumplir que para un incremento de presión entre 100 y 107% la capacidad de dicha bomba no debe reducirse en más de un 10%.

Tiene un margen de entre -10% y el 20% sobre su caudal que es de 210 m³/h y una altura de impulsión de 3 bar. La temperatura de trabajo es de 95 °C.

Por tanto su potencia es de:

$$P_{bomba\ a.d.} = \frac{Q \cdot H \cdot RO}{264} = \frac{210 \cdot 30,6 \cdot 1}{264} = 24,3\ kW$$

Cyl	Lubricating oil *4)		HT circuit		LT circuit		Fuel oil booster		Fuel oil feed		Seawater	
	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)
4	164	6.6	119	3.0	327	2.8	6.5	6.5	3.6	5.0	502	2.0
5	188	6.6	149	3.0	373	2.8	8.1	6.5	4.5	5.0	628	2.0
6	214	6.6	179	3.0	539	2.8	9.7	6.5	5.4	5.0	754	2.0
7	237	6.6	210	3.0	628	2.8	11.4	6.5	6.3	5.0	879	2.0
8	262	6.6	240	3.0	656	2.8	13.0	6.5	7.2	5.0	1006	2.0

- Tanque de expansión.

Debe estar situado por lo menos a 3,5 metros por encima de la brida de ventilación más alta del motor. Va conectado mediante un tubo comunicante a la aspiración de la bomba.

➤ Bomba de suministro.

Se proporciona una bomba de suministro de desplazamiento positivo con una capacidad de 0,5 m³/h a 7 bar, para reemplazar las pérdidas de agua de fuga en el sistema de agua de refrigeración del cilindro.

$$P_{bomba\ suministro} = \frac{Q \cdot H \cdot RO}{264} = \frac{0,5 \cdot 71,4 \cdot 1}{264} = 0,135\ kW$$

➤ Válvula de control automático de temperatura.

Es una válvula eléctrica o electro-neumática. La presión de diseño es de 10 bar con una pérdida de presión máxima de 0,5 bar.

Es accionada por un controlador PI que tiene un error máximo en estado estacionario de 2 °C y en estado transitorio de 4 °C.

Según el fabricante el sensor de T^a va colocado en la salida del tubo del motor.

4.1.3 Tratamiento de agua de refrigeración.

El número de válvulas en el sistema debe de ser el mínimo posible para reducir el riesgo de un funcionamiento incorrecto.

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

Wartsila recomienda los siguientes valores para el agua:

- Un pH mínimo de 6,5.
- dH máximo de 10 °dH.
- Cloruro máximo de 80 mg/l.
- Sulfatos máximos de 150 mg/l.

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

No se deben usar tuberías de acero internamente galvanizadas en contacto con agua dulce tratada, porque crean lodos.

4.1.4 Generador de agua dulce.

El generador de agua dulce puede utilizar el calor de los cilindros para destilar el agua de mar.

La capacidad del generador de agua dulce estará limitada por la cantidad de calor disponible, y esto dependerá del régimen de potencia del motor. Además, es muy importante que en las fases de diseño se tenga en cuenta y se dimensione de forma que se proteja al motor de un shock térmico cuando el generador de agua dulce está activado.

Según el fabricante se pueden instalar dos tipos de generadores: uno necesita del 50% del calor disponible para disipar los cilindros y otro necesita del 85%.

En mi caso se va a instalar la alternativa B, el cual se puede conectar en serie como se ve en el esquema a continuación:

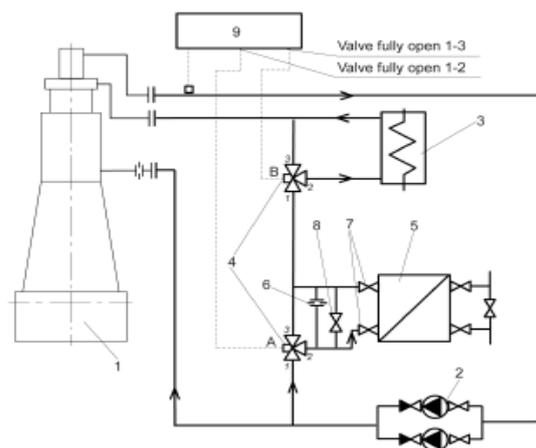


Fig 8.3.2.1 Freshwater generator installation, alternative 'B'

1	Main engine	6	Throttling disc
2	Cylinder cooling water pump	7	Freshwater valves
3	Cylinder cooling water cooler	8	Freshwater generator bypass valve
4	Automatic temperature control valve	9	Controller
5	Freshwater generator		

Esta disposición requiere de una válvula a mayores que es de control automático (B en el esquema), conectada en cascada con la válvula de control de temperatura del intercambiador de calor del circuito de agua dulce a alta temperatura y controladas ambas por un controlador que mide la temperatura del agua de salida a la salida del motor.

La cantidad de agua dulce generada se puede calcular según Wartsila:

$$\text{Agua dulce generada} \left(\frac{t}{\text{dia}} \right) = 32 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{\text{agua dulce}}$$

Donde $Q_{\text{agua dulce}}$ vale:

	Heat dissipation [kW]	3599
7	FW flow [m ³ /h]	210
	FW temp. engine in/out [°C]	75.0 / 90.0

Como se ha dicho antes este calor disipado es al 85% por tanto quedan 3059 kW.
Por tanto el agua dulce generada queda:

$$\text{Agua dulce generada} \left(\frac{t}{\text{dia}} \right) = 32 \cdot 10^{-3} \cdot 3059 = 98 \text{ toneladas al dia}$$

A continuación se muestra el esquema completo de agua de refrigeración

4.2 Servicio de combustible.

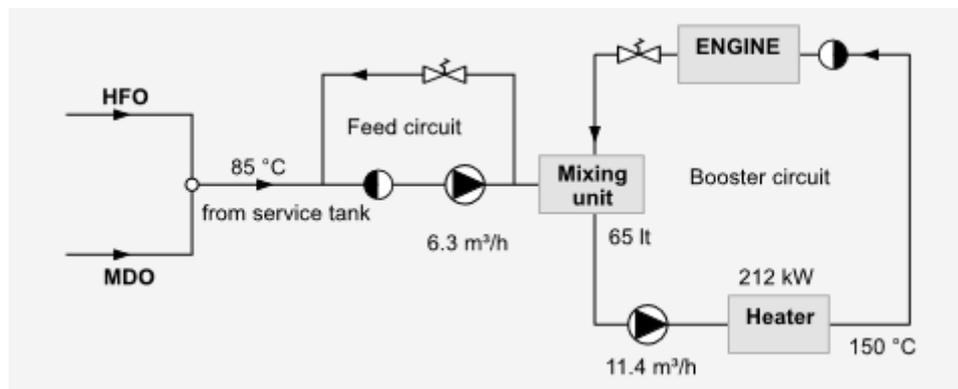
El sistema de combustible está compuesto por:

- MDO (Marine Diesel Oil): 1 Tanque almacén, 1 tanque de uso diario y un tanque de sedimentación.
- HFO (Heavy Fuel Oil): 4 tanques almacén, 2 tanques de uso diario y un tanque de sedimentación.

El combustible será trasladado de los tanques almacén a los de sedimentación, con el objetivo de limpiar el combustible de lodos antes de pasarlo al tanque de uso diario.

En el caso del fuel oil el consumo de los tanques de uso diario se hace simultáneamente de los tanques de babor y estribor para evitar escoras.

Primero voy a explicar cómo funciona el sistema y al final de la explicación se adjunta el plano del sistema. Para empezar aquí expongo un esquema básico de cómo funciona el sistema:



➤ Tanques de sedimentación

La sedimentación gravitacional de agua y de los sedimentos de combustibles es un proceso muy lento debido a la 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 se calientan en una amplia superficie permiten una mejor sedimentación que los tanques con superficies más pequeñas.

➤ Tanques de uso diario.

Las características de este tanque son muy similares a las del tanque de sedimentación. Este tanque tiene una válvula de cierre automático para la purga de 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 cuenta con una válvula de drenaje colocada en el punto más bajo, un rebose para el tanque de derrames y un tubo de recirculación al tanque de sedimentación.

La tubería de recirculación 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, hacia el tanque de sedimentación.

Cuando el motor 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 válvula de lodos se abre a intervalos regulares para comprobar si hay presencia de agua, lo que da una idea de cómo trabaja el separador.

➤ Separadores centrífugos.

Según el fabricante del motor será un separador de tipo autolimpiable y sin discos de gravedad. Una de las principales características de los separadores de ajuste automático es que solo se requiere una unidad, es decir, esta unidad funciona al mismo tiempo de purificador y de clarificador.

Por esto, como es habitual instalar un separador en stand-by de respeto, puede ser muy útil utilizarlo para mejorar el resultado de separación. La colocación en paralelo o en serie de los separadores dependerá de la recomendación de su fabricante.

Para calcular el caudal del separador, Wartsila me da la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{1,2 \cdot MCR \cdot BSFC}{1000}$$

Dónde:

- Q es el caudal en litros por hora.
- MCR: régimen máximo continuo = 25270 kW
- BSFC: consumo de combustible = 166,8 g/kWh

$$Q = 5492,4 \text{ l/h}$$

Los tanques de servicio MDO son similares a los tanques de servicio de HFO, con la excepción de que los tanques de HFO tienen que ser calentados.

- Bomba de alimentación de combustible.

Será una bomba de tornillo de desplazamiento positivo que tendrá un margen de capacidad de hasta un 20% más.

En mi caso la capacidad de esta bomba será de 6,3 m³/h.

Cyl	Lubricating oil *4)		HT circuit		LT circuit		Fuel oil booster		Fuel oil feed		Seawater	
	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)
4	164	6.6	119	3.0	327	2.8	6.5	6.5	3.6	5.0	502	2.0
5	188	6.6	149	3.0	373	2.8	8.1	6.5	4.5	5.0	628	2.0
6	214	6.6	179	3.0	539	2.8	9.7	6.5	5.4	5.0	754	2.0
7	237	6.6	210	3.0	628	2.8	11.4	6.5	6.3	5.0	879	2.0
8	262	6.6	240	3.0	656	2.8	13.0	6.5	7.2	5.0	1006	2.0

$$P_{bomba\ aliment.comb.} = \frac{Q \cdot H \cdot RO}{264} = \frac{6,3 \cdot 51 \cdot 0,9443}{264} = 1,15\ kW$$

La presión de funcionamiento debe tener en cuenta las pérdidas de presión del sistema y evitar también que el agua atrapada se evapore asegurando que la presión en el tanque de mezcla será de por lo menos 1 bar superior a la presión de vapor de agua y no inferior a 3 bar. Para nuestro motor la presión será de 5 bar (como se ve en el cuadro de arriba).

- Válvula reguladora de presión.

Esta válvula 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 de flujo principal de entorno al 20% del caudal de la bomba de alimentación.

El rango de presiones es de entre 2 y 6 bar, y limita la presión a un máximo de 10 bar.

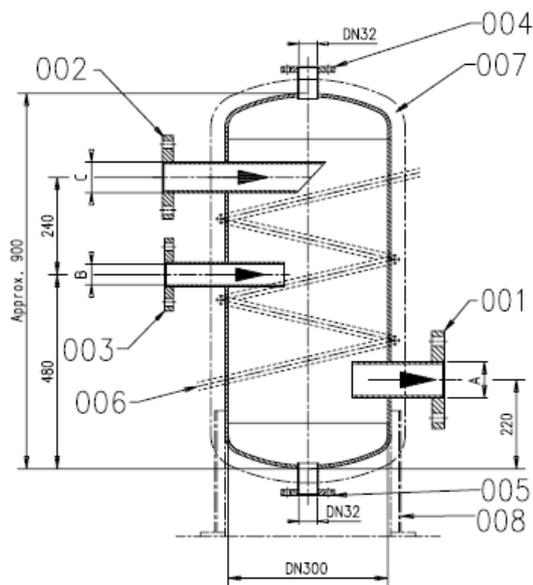
➤ Tanque de mezcla.

El fabricante recomienda que no tenga una capacidad superior a 100 litros con el objetivo de evitar que el tiempo de cambio de HFO a MDO o viceversa no sea demasiado largo.

La unidad de mezcla ecualiza la temperatura entre el combustible más caliente que regresa del motor y el aceite combustible más frío del tanque de servicio, particularmente al cambiar de combustible pesado aceite a diésel marino y viceversa.

Suele ser un recipiente metálico de forma esférica y que en mi caso tiene las siguientes características:

- Capacidad: 65 litros.
- Presión: 10 bar
- Temperatura de servicio: 150 °C



Pos.	Description
001	Outlet
002	Inlet, return line
003	Inlet, from feed pump
004	Outlet safety valve
005	Drain
006	Heating coil
007	Insulation
008	Mounting brackets *1)

➤ Bomba de alta presión.

Será una bomba de tornillo de desplazamiento positivo que tendrá un margen en su capacidad de hasta un 20%.

En mi caso la bomba tiene una capacidad de 11,4 m³/h y una presión de 6,5 bar.

Cyl	Lubricating oil *4)		HT circuit		LT circuit		Fuel oil booster		Fuel oil feed		Seawater	
	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)
4	164	6.6	119	3.0	327	2.8	6.5	6.5	3.6	5.0	502	2.0
5	188	6.6	149	3.0	373	2.8	8.1	6.5	4.5	5.0	628	2.0
6	214	6.6	179	3.0	539	2.8	9.7	6.5	5.4	5.0	754	2.0
7	237	6.6	210	3.0	628	2.8	11.4	6.5	6.3	5.0	879	2.0
8	262	6.6	240	3.0	656	2.8	13.0	6.5	7.2	5.0	1006	2.0

$$P_{bomba\ alta\ presión} = \frac{Q \cdot H \cdot RO}{264} = \frac{11,4 \cdot 66,3 \cdot 0,9443}{264} = 2,7\ kW$$

➤ Intercambiador de calor.

El intercambiador proporciona una temperatura al combustible antes de entrar al motor. Puede ser de vapor, eléctrico o de aceite.

La capacidad se calcula:

$$C = 0,75 \times 10^{-6} \cdot MCR \cdot BSFC \cdot (T1 - T2) = 107\ kW$$

Donde MCR es el régimen máximo de servicio, BSFC es el consumo de combustible, T1 es la temperatura del combustible y T2 es la temperatura del tanque de servicio.

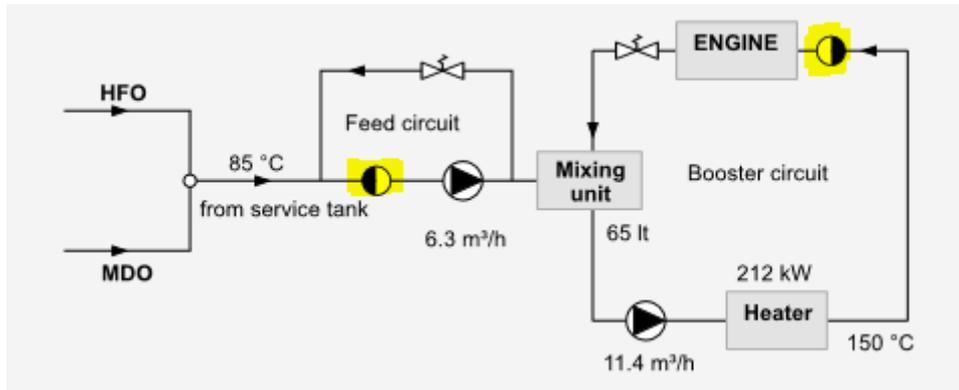
➤ Filtros de combustible.

Es necesaria la instalación de un filtro de combustible en la entrada de admisión del motor para la protección del mismo contra cualquier partícula extraña.

El fabricante da dos opciones distintas:

- Poniendo un único filtro en la entrada del motor
- Poniendo un filtro fino en el sistema de alimentación y un filtro un poco menos fino en el circuito de alta presión.

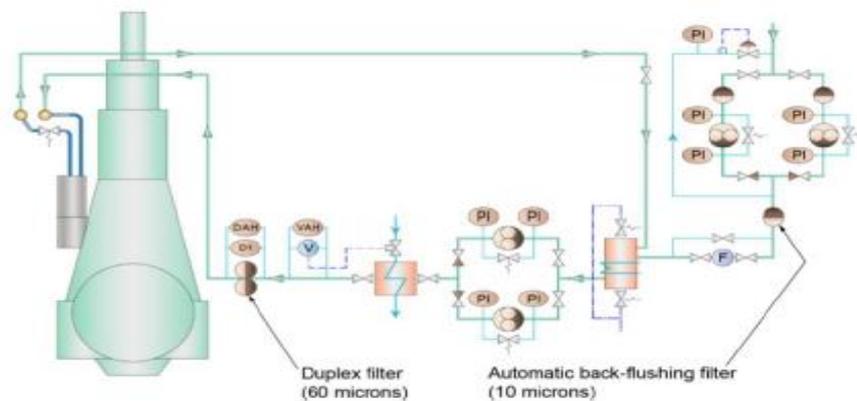
En mi caso escojo la segunda opción, que es como aparece representado en el esquema del principio y además es el que recomienda Wartsila.



El primer filtro es de 10 micras y está situado en el sistema frío de alimentación. Se utiliza para proteger al motor contra partículas que no fueron eliminadas por el separador.

Además este filtro sirve para ver si el separador funciona correctamente.

El segundo filtro será de como máximo 60 micras y está situado en el sistema de alta presión cerca de la admisión del motor. Este filtro es suficiente ya que la mayoría de partículas quedan en el filtro situado en el sistema frío de alimentación.



➤ Trasiego de combustible.

El trasiego de combustible se realiza de los tanques de almacén al tanque de sedimentación, en dónde se procede a la decantación del combustible y una vez hecho esto se pasa al tanque de uso diario preparado para inyectar al motor.

Para calcular el caudal necesario se dividirá el volumen del tanque entre las horas que dura el trasiego que en este caso serán 2 horas:

- Trasiego de Tanque Almacén a tanque de sedimentación:

$$Q_{trasiego} = \frac{Vol_{tq\ sedim.}(m^3)}{tiempo\ trasiego\ (h)} = \frac{152}{2} = 76 \frac{m^3}{h} = 0,021 \frac{m^3}{s}$$

- Trasiego de tanque sedimentación a tanque de uso diario:

$$Q_{trasiego} = \frac{Vol_{tq\ uso\ diario}(m^3)}{tiempo\ trasiego\ (s)} = \frac{138}{2} = 69 \frac{m^3}{h} = 0,019 \frac{m^3}{s}$$

Teniendo en cuenta que son 2 tanques almacén y 2 de uso diario, se necesitarán 2 bombas que den el caudal de 76 m³/h y otras dos que den 69 m³/h.

A continuación el plano del sistema de combustible.

4.3 Sistema de lubricación.

La lubricación de los rodamientos principales, rodamientos de empuje y cruceta, así como la refrigeración del pistón es llevada a cabo por el sistema 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.

A continuación se describen los componentes más importantes de este sistema:

4.3.1 Componentes del sistema de lubricación

- Bomba de lubricación.

Estas bombas suelen ser bombas centrífugas. La bomba deberá de tener un margen entre -10% y 10% más del caudal del flujo de retorno do filtro automático.

Esta bomba tiene un caudal de 237 m³/h y una altura de impulsión de 6,6 bar.

Cyl	Lubricating oil *4)		HT circuit		LT circuit		Fuel oil booster		Fuel oil feed		Seawater	
	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)	m ³ /h	bar *3)
4	164	6.6	119	3.0	327	2.8	6.5	6.5	3.6	5.0	502	2.0
5	188	6.6	149	3.0	373	2.8	8.1	6.5	4.5	5.0	628	2.0
6	214	6.6	179	3.0	539	2.8	9.7	6.5	5.4	5.0	754	2.0
7	237	6.6	210	3.0	628	2.8	11.4	6.5	6.3	5.0	879	2.0
8	262	6.6	240	3.0	656	2.8	13.0	6.5	7.2	5.0	1006	2.0

$$P_{bomba\ ac.lub.} = \frac{Q \cdot H \cdot RO}{264} = \frac{237 \cdot 67,32 \cdot 0,92}{264} = 55,6\ kW$$

La temperatura de trabajo de la bomba es de 60 °C.

Según el fabricante el tipo de aceite que se debe utilizar será un SAE30, con una viscosidad de 50 cSt a la temperatura de trabajo antes especificada.

A continuación muestro un esquema inicial con algunos datos de sus componentes:

cuando esté limpio. De 0,6 bar cuando el filtro esté sucio y saltará la alarma cuando alcance una presión máxima de 0,8 bar.

El filtro es de malla de acero inox y tendrá un paso máximo de 0,035 mm.

- Bombas de presión de aceite lubricante de la cruceta.

Son bombas de tornillo con desplazamiento positivo o bombas de engranaje que tienen una válvula de descarga de sobrepresión.

En mi caso esta bomba trabaja con un caudal de 34 m³/h a una temperatura de aproximada de 45 °C y a un presión de 8,5 bar. El tipo de aceite es el mismo que para todo el circuito (SAE 30).

No. of cyl.	Speed range A	
	m ³ /h	bar
4	19	8.5
5	24	8.5
6	29	8.5
7	34	8.5
8	38	8.5

$$P_{bomba\ presión\ ac.lub.} = \frac{Q \cdot H \cdot RO}{264} = \frac{34 \cdot 8,67 \times 10^{-4} \cdot 0,92}{264} = 10,27\ kW$$

4.3.2 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 un sola vez por el circuito y que utiliza un aceite de grado SAE 50.

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.

El consumo de aceite para los cilindros es de 0,6 g/kWh por cilindro.

4.3.3 Tratamiento y mantenimiento del aceite lubricante.

La limpieza del aceite lubricante es básico para que todo el sistema se mantenga en el mejor estado posible. Es por esto que los contaminantes sólidos y líquidos se deben eliminar y esto se hace mediante separadores centrífugos que están en bypass con el sistema de lubricación del motor como se ve en el esquema de arriba.

Los separadores deben configurarse como purificadores del aceite y deben estar siempre aislados de los sistemas de tratamiento del combustible.

El separador es de tipo centrífugo y autolimpiable, con una capacidad para purificar de 1633 l/h y trabaja entre 90 y 95 °C.

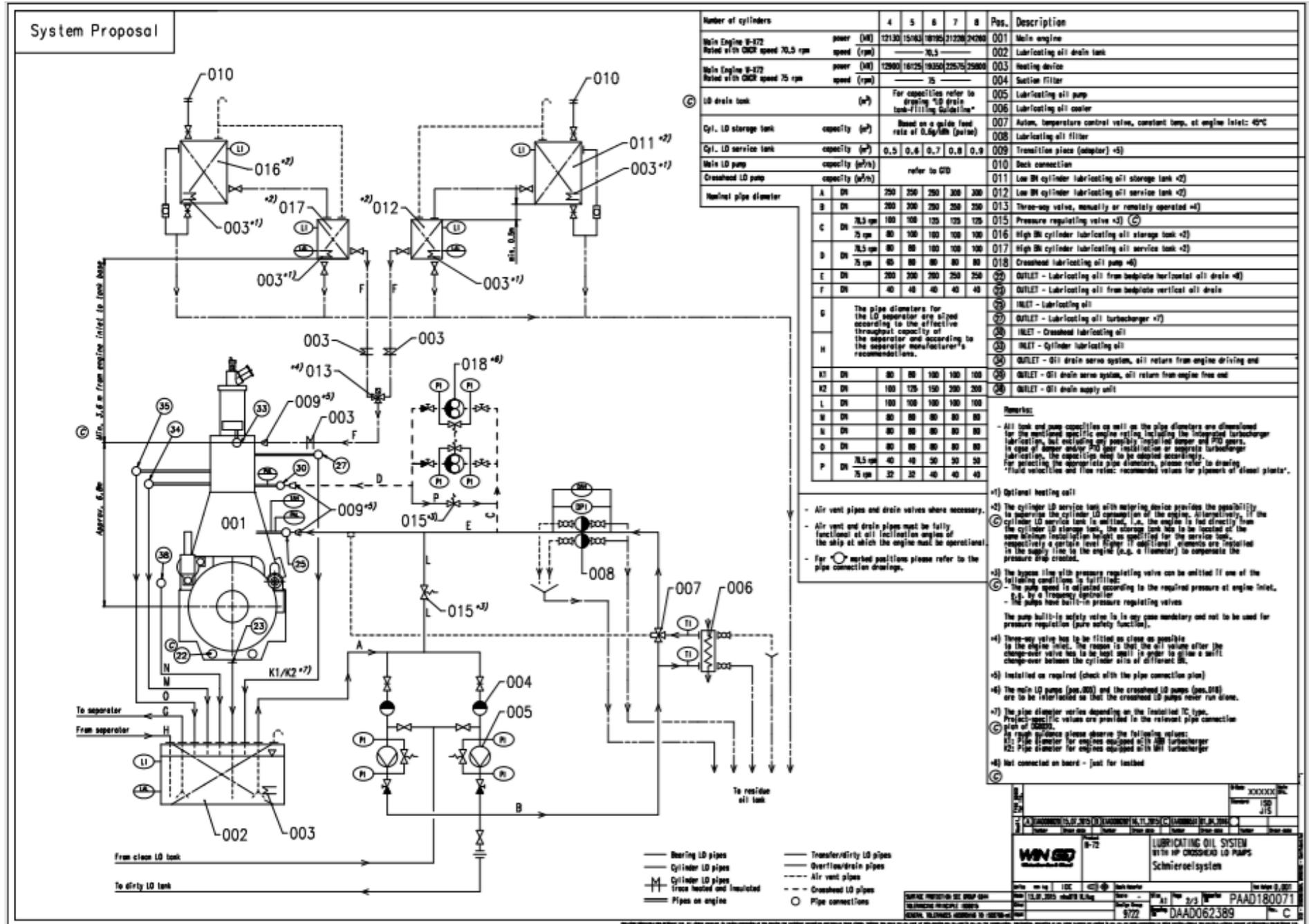
4.3.4 Tanque de drenaje del aceite lubricante.

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

El tanque de drenaje está situado debajo del motor y está equipado con:

- Sonda de profundidad
- Tubería que conecte con la purificadora de aceite
- Bobina de calentamiento a la bomba de succión
- Rejas de ventilación con protección contra las llamas.

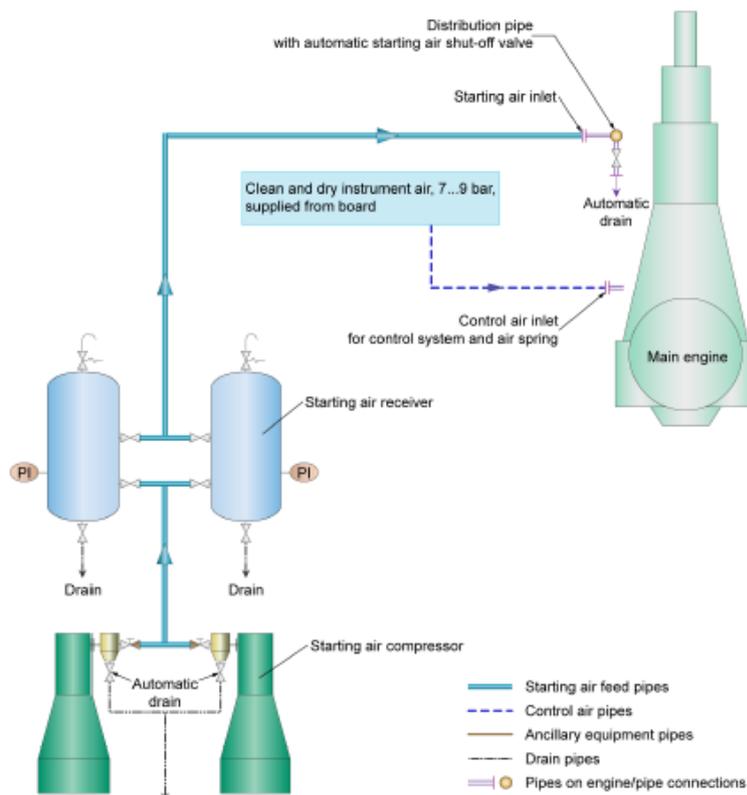
A continuación se muestra el esquema real del circuito de lubricación.



4.4 Sistema de aire de arranque y de control.

El arranque del motor del buque se hace por el sistema de aire comprimido. También se utiliza para el control del motor, válvula de exhaustación, planta de lavado para los enfriadores de aire de barrido y más servicios generales

A continuación se muestra un esquema inicial de este sistema, que tiene dos compresores de aire, dos receptores de aire y los sistema de tubería y válvulas conectadas al colector de aire de arranque del motor.



➤ Capacidad del receptor y compresor de aire.

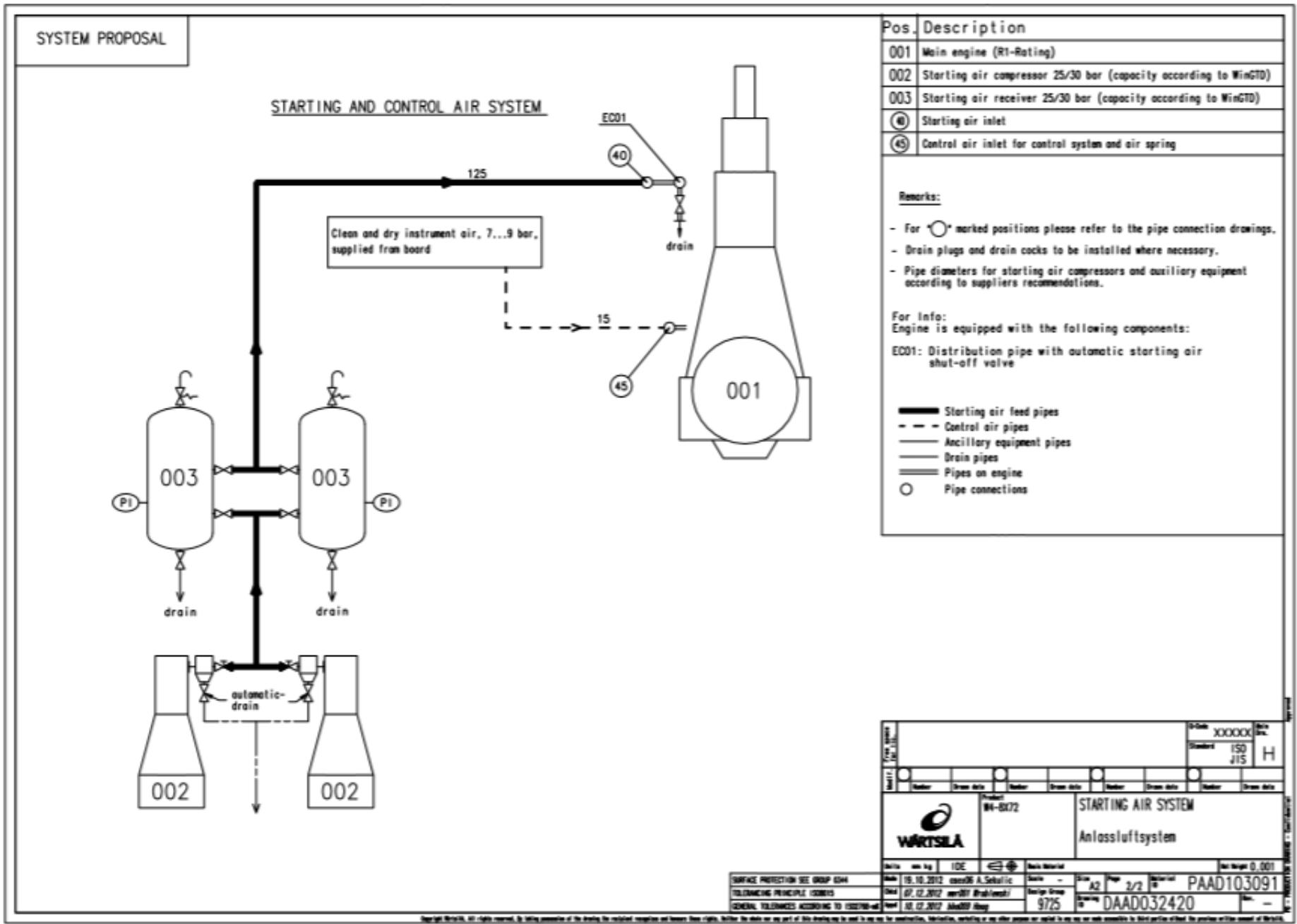
No. cyl.	Air receivers *1) Max. air pressure: 30 bar	Air compressors *1) Free air delivery at 30 bar	J_{Eng} *2) [kgm ²]
	Number x volume [m ³]	Number x capacity [Nm ³ /h]	
4	2 x 8	2 x 240	171600
5	2 x 9	2 x 270	199800
6	2 x 9	2 x 270	230600
7	2 x 9	2 x 270	266600
8	2 x 9	2 x 270	305600

La descarga de los compresores de aire no debe exceder de 90 °C y trabaja a una presión de 30 bar, la misma presión a la que trabajan los receptores de aire.

➤ Control de consumo.

No. of cyl.	Control air flow capacity [Nm ³ /h]
4	9.6
5	12.0
6	14.4
7	16.8
8	19.2

A continuación se muestra el plano del sistema de aire de arranque.



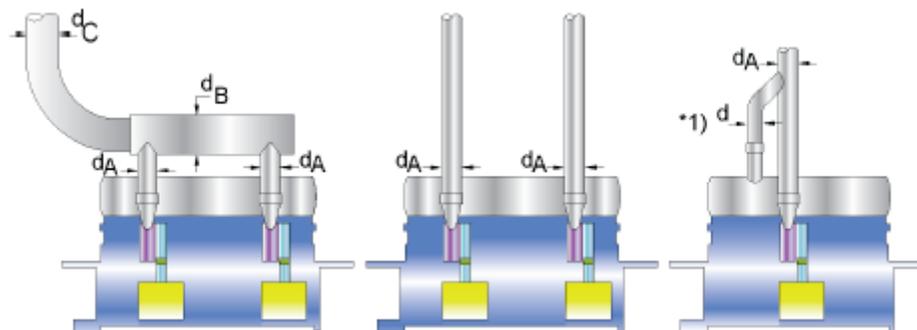
Copyright Wärtsilä. All rights reserved. No part of this document may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without the prior written permission of Wärtsilä. This document is the property of Wärtsilä. It is loaned to you for your use only and is not to be distributed outside your organization. The design and construction of the engine is the responsibility of Wärtsilä. The drawings are the property of Wärtsilä. The drawings are not to be used for any other purpose or project without the prior written permission of Wärtsilä.

4.5 Sistema de gases de exhaustación.

Según el fabricante el flujo de gases de escape es de 100,7 t/h, a una temperatura de 275 °C. La densidad de estos gases es de 0,654 kg/m³ y un flujo de aire de barrido de 95,6 t/h.

Las velocidades de gas recomendadas son:

TUBERÍA	Velocidad del gas (m/s)	Flujo (m ³ /h)	Diámetro (mm)
A	40	77033	900
B	25	154067	1500
C	35	154067	1300



5 ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DEL MOTOR PROPULSOR Y JUSTIFICACIÓN DE LA AUTONOMÍA REQUERIDA.

Los consumos y la comprobación de la autonomía se calcularán para la condición de plena carga, que en teoría es la condición a la que va a estar el buque la mayor parte de su tiempo.

5.1 Consumo de combustible.

Teniendo en cuenta que el consumo específico de motor cuando trabaja al 85% es de 166 g/kWh y que la potencia entregada es de 25270 kW, el consumo en toneladas por hora:

$$\text{Consumo} = \frac{166 \text{ g}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \cdot \frac{1 \text{ t}}{1000000 \text{ g}} \cdot \frac{25270}{0,85} \text{ kW} = 4,93 \text{ t/h}$$

La autonomía del buque son 16.000 millas a una velocidad de 15,8 nudos, lo que serían un total de horas de:

$$\frac{16000}{15,8} = 1012 \text{ horas}$$

Por tanto, las toneladas totales de combustible necesario para cumplir la autonomía son:

$$t \text{ de combustible totales} = 1012 \text{ horas} \cdot 4,93 \frac{\text{t}}{\text{h}} = 4994 \text{ t}$$

- Tanques almacén:

- Volumen HFO:

$$V_{HFO} = \frac{4994}{0,9443} = 5288 \text{ m}^3 + 10\% = 5817 \text{ m}^3$$

**El volumen de HFO es superior al calculado en el Cuaderno 4 (hay una diferencia de 1000 m³), por tanto tengo que volver a dimensionar los tanques almacén de HFO para que me entre todo el combustible.*

- Volumen MDO:

El MDO se usa solo para puerto, y el volumen de este tanque depende de la potencia de los motores auxiliares que se escogen en el Cuaderno 11 tras realizar el balance eléctrico.

- Tanques Uso diario:

$$V_{HFO} = \frac{5817}{1012/24} = 138 \text{ m}^3$$

**En este caso si que entra el combustible para el tanque de uso diario dimensionado en el cuaderno 4 que es de 158 m³*

- Tanques de sedimentación:

Según el libro “El proyecto básico del buque mercante” son un 10% mayores que los tanques de uso diario:

$$V_{HFO} = 117 \text{ m}^3 + 10\% = 152 \text{ m}^3$$

5.2 Consumo de aceite lubricante.

Según el fabricante el consumo de aceite lubricante es de 0,6 g/kWh que al régimen de 85% queda 0,7 g/kWh, y el consumo de aceite lubricante es el siguiente:

Oil consumption

System oil consumption per cylinder and per day	8.0 kg
Cylinder oil consumption, guide feed rate (pulse lubricating system)	PLS 0.6 g/kWh

$$\text{Consumo} = \frac{0,6 \text{ g}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \cdot \frac{1 \text{ t}}{1000000 \text{ g}} \cdot 25270 \text{ kW} \cdot 1012 \text{ h} = 15,34 \text{ t/h}$$

El fabricante también nos dice que el consumo de aceite por cilindro son 8 kg por día entonces:

$$\text{Aceite}_{\text{cilindros}} = 8 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \cdot 1012 \text{ h} \cdot 7 \text{ cilindros} = 1771 \text{ kg} = 1,7 \text{ t}$$

El volumen de aceite sería de:

$$V_{\text{aceite}} = \frac{15,34 + 1,7}{\rho} = 20 \text{ m}^3$$

El fabricante nos da el esquema de lubricación en el que ya incluye el tanque de aceite, y su capacidad es de 24 m³ como se ve en el esquema representado en el apartado 4.3.1.

Con lo que el cálculo es correcto porque hay que llevar un margen de aceite.

6 DISPOSICIÓN DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS.

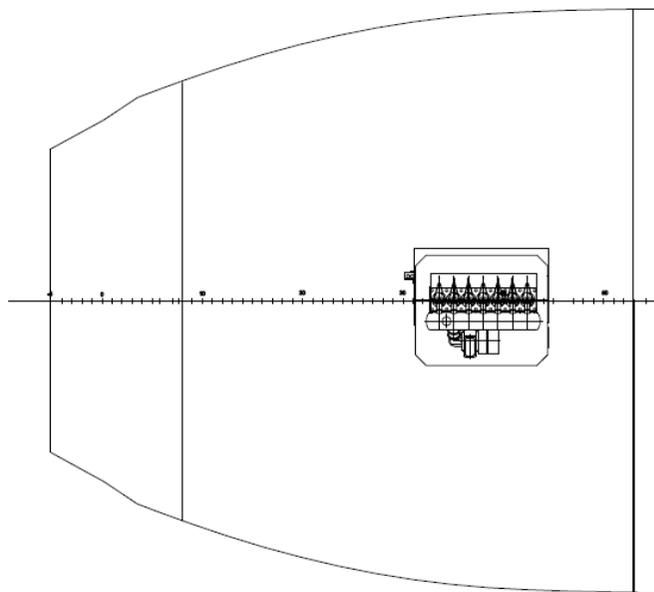
En la cámara de máquinas se sitúan el motor principal y todos sistemas auxiliares calculados antes.

Para la explicación de este punto me baso en los planos de un buque real, lo cual se adjuntan al final del cuaderno como Anexo, sacado de los apuntes de la asignatura de "Proyectos y Artefactos II". Dicho buque tiene 150.000 TPM que es casi igual a mi buque proyecto (148.000 TPM). La cámara de máquinas consta del doble fondo y tres cubiertas por encima de éste.

En el doble fondo se sitúan los tanques de aceite de lubricación del motor y sus cilindros. Justo debajo del motor, como se especificó en el Cuaderno 4, está el tanque de aceite de retorno del cárter, y a ambos lados los de lubricación para los cilindros, con las correspondientes bombas de aceite lubricante y de los demás sistemas antes indicadas.

En la Cubierta 1 se sitúa el motor principal, además de bombas, intercambiadores y separadores.

En el caso de mi buque, la cámara de máquinas mide 28 metros de eslora dentro de la cual se instala el motor principal que mide casi 11 metros. El motor real de mi buque, sacado de la especificación de éste, se ve a continuación dentro de la cámara de máquinas en la cubierta:



En la Cubierta 2 se sitúan los diesel generadores del buque, que en este caso son 3, las calderas para calentamiento de tanques de carga, la planta de destilado, la zona de control de la sala de máquinas, y condensadores, bombas...de los equipos.

En esta cubierta están los tanques de combustible de HFO y MDO que tienes que estar a una altura respecto al motor.

En la Cubierta 3 está la sala del purificador que se compone de de los separadores de lubricantes, fuel oil y diesel oil. Todo esto de lado de estribor separado por el motor en el centro, y a babor se sitúa el taller de trabajo para los operarios donde se cambian para su trabajo diario, además de unos baños para ellos.

En esta cubierta también pertenece a los tanques de combustible, que debido a sus dimensiones se encajan en las dos cubiertas.