



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2020/2021

CUADERNO 10

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA/O

Gastón Manuel Mercado Roasso

TUTORAS/ES

Raúl Villa Caro

FECHA

SEPTIEMBRE 2021

1 RPA

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.020-2021

PROYECTO NÚMERO 2021-GENO-11

TIPO DE BUQUE: Atunero congelador de 2000 m³

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNV, Marpol, Torremolinos

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Atún que se procesará y se congelará en tanques

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 14 knots con autonomía para 37 días

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Plumas en babor y estribor para la carga y descarga de la pesca

PROPULSIÓN: Motor diésel

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 35 tripulantes

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: constará de una panga para la realización del arte del cerco.

Ferrol, 15 septiembre 2021

ALUMNO/A: **D^a Gastón Manuel Mercado Roasso**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2020/2021**

ATUNERO CONGELADOR 2000 m³

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 10

PLANTA PROPULSORA

INDICE

1 RPA	2
2 Título y resumen	7
3 Introducción	8
4 Elección de la maquinaria propulsora	9
4.1 Tipo de propulsión	9
4.2 Elección del motor	9
4.3 Elección de la reductora.....	10
4.4 Línea de ejes, bocina y hélice.....	11
5 Justificación de la autonomía	12
6 Servicios del equipo propulsor	16
6.1 Servicio de refrigeración	16
6.1.1 Sistema de agua de refrigeración LT	17
6.1.2 Bomba de agua salada.....	22
6.1.3 Sistema de refrigeración HT	24
6.1.4 Diagrama sistema de refrigeración	28
6.2 Servicio de lubricación	28
6.2.1 Consumo de aceite lubricante.....	29
6.2.2 Elementos del sistema de lubricación	29
6.2.3 Diagrama lubricación	35
6.3 Sistema de combustible	36
6.3.1 Sistema de tratamiento de MDO	36
6.3.2 Sistema de suministro de MDO	40
6.3.3 Diagrama combustible	44
6.4 Sistema de aire de arranque.....	45
6.4.1 Botellas de aire comprimido.....	45
6.4.2 Compresor.....	46
7 Ventilación de cámara de máquinas	48
7.1 Flujo de aire para la combustión	48
7.2 Flujo de aire para evacuación de la emisión de calor	50
8 Lista de equipos.....	55
9 Disposición de cámara de máquinas.....	56
10 Anexo I: Catálogo ventiladores.....	57
Tabla 1 "Características del buque"	8

Cuaderno 10. Planta propulsora
Gastón Manuel Mercado Roasso

Tabla 2 "Potencia de los generadores auxiliares"	15
Tabla 3 "Enfriador principal"	22
Ilustración 1 "Disposición del equipo propulsor"	9
Ilustración 2 "Características del motor principal"	10
Ilustración 3 "Características de la reductora"	11
Ilustración 4 "Consumos específicos de combustible"	12
Ilustración 5 "Fórmulas para el cálculo del consumo"	13
Ilustración 6 "Circuito de refrigeración"	16
Ilustración 7 "Propiedades del agua dulce para refrigerar"	17
Ilustración 8 "Propiedades del motor en función de los cilindros"	18
Ilustración 9 "Agua refrigerante LT"	18
Ilustración 10 "Bomba LT"	19
Ilustración 11 "Características bomba LT"	20
Ilustración 12 "Enfriador aceite lubricante"	20
Ilustración 13 "Enfriador de combustible"	21
Ilustración 14 "Características tanque de expansión"	22
Ilustración 15 "Características bomba agua salada"	23
Ilustración 16 "Propiedades agua refrigeración HT"	24
Ilustración 17 "Características bomba refrigeración HT"	25
Ilustración 18 "Características precalentador"	26
Ilustración 19 "Bomba del precalentador"	26
Ilustración 20 "Diagrama orientativo del sistema de refrigeración"	28
Ilustración 21 "Características MDO"	29
Ilustración 22 "Consumo aceite lubricante"	29
Ilustración 23 "Tanque de servicio aceite lubricante"	30
Ilustración 24 "Características bomba de aceite lubricante"	30
Ilustración 25 "Características bomba de prelubricación"	31
Ilustración 26 "Características VCT del aceite lubricante"	31
Ilustración 27 "Cálculo separador de aceite"	32
Ilustración 28 "Elección del separador de aceite"	32
Ilustración 29 "Características del separador de aceite"	33
Ilustración 30 "Gráfica obtención bomba trasiego aceite"	34
Ilustración 31 "Características bomba trasiego de aceite"	34
Ilustración 32 "Diagrama orientativo del sistema de lubricación"	35
Ilustración 33 "Características del combustible"	36
Ilustración 34 "Cálculo separador MDO"	37

Cuaderno 10. Planta propulsora
Gastón Manuel Mercado Roasso

Ilustración 35 "Elección searador MDO"	38
Ilustración 36 "Características del separador MDO"	38
Ilustración 37 "Gráfica bomba de combustible"	39
Ilustración 38 "Características bomba de combustible"	39
Ilustración 39 "Volumen mínimo tanque de servicio diario....."	40
Ilustración 40 "Cálculo caudal requerido bomba de combustible"	40
Ilustración 41 "Presión bomba de suministro de combustible"	41
Ilustración 42 "Grafica bomba de suministro de combustible"	42
Ilustración 43 "Características bomba de suministro de combustible"	42
Ilustración 44 "Diagrama orientativo del sistema de combustible"	44
Ilustración 45 "Cálculo volumen botellas de arranque"	45
Ilustración 46 "Consumo de aire por arranque"	45
Ilustración 47 "Número de arranques"	46
Ilustración 48 "Cálculo compresor"	46
Ilustración 49 "Elección del compresor"	47
Ilustración 50 "Flujo de aire para combustión motor principal"	49
Ilustración 51 "Elementos para la obtención de flujo de aire de los generadores auxiliares"	50
Ilustración 52 "Flujo de aire para la evacuación de la emisión de calor"	51
Ilustración 53 "Motor de radiación de calor"	51
Ilustración 54 "Gráfica obtención disipación de calor generador auxiliar"	52
Ilustración 55 "Cálculo emisión calor tuberías"	52
Ilustración 56 "Gráfica emisión de calor de tuberías de escape"	53

2 TÍTULO Y RESUMEN

Título: Atunero congelador de 2000 m³

El proyecto consistirá en el diseño general de un atunero congelador de 2000 m³, con una velocidad de diseño de 14 nudos, de propulsión diésel y para navegar 37 días.

Los temas fundamentales a tratar serán: elección de la cifra de mérito y definición de alternativas, seleccionando la más favorable; el cálculo de pesos y centro de gravedad del buque; el diseño de las formas; los cálculos relacionados con la arquitectura naval; las situaciones de carga; predicción de potencia propulsora y diseño del propulsor y del timón; la disposición general; la cuaderna maestra; el francobordo y arqueado; definir la planta propulsora y sus equipos auxiliares; la planta eléctrica; los equipos y servicios auxiliares del buque; y finalmente, se calculará el presupuesto de la construcción del buque.

Título: atuneiro conxelador de 2000 m³

O proxecto consistirá no deseño xeral dun atuneiro conxelador de 2000 m³, cunha velocidade de 14 nudos, de propulsión diésel y para navegar 37 días.

Os temas fundamentais a tratar serán: elección da cifra de mérita e definición de alternativas, escollendo a máis favorable; o cálculo de peso e centro de gravidade do buque; o deseño das formas; os cálculos relacionados coa arquitectura naval; as situación de carga; predicción da potencia propulsora e deseño do propulsor e timón; a disposición xeral; a caderna maestra; o francobordo e arqueado; definir a planta propulsora e os seus equipos auxiliares; a planta eléctrica; os equipos e servizos auxiliares ao buque; e finalmente, calcularase o orzamento da construción do buque.

Title: 2000 m³ freezer tuna vessel

The project will consist of the general design of a 2000 m³ freezer tuna vessel, with a design speed of 14 knots, diesel propulsion and to sail 37 days.

The fundamental issues to be discussed will be: choice of the figure of merit and definition of alternatives, selecting the most favorable; weight calculation and center of gravity of the ship; forms design; calculations related to naval architecture; loading situations; thruster power prediction and thruster and rudder design; general arrangement; master frame; freeboard and tonnage; propulsion plant definition and its auxiliary equipment; power plant; ship's auxiliary equipment and services; and finally, the budget for the construction of the ship will be calculated.

3 INTRODUCCIÓN

El buque proyecto con número 21-11 consiste en un atunero congelador con una capacidad total de cubas de 2000 m³ con el objetivo de operar en la zona del mar del norte para la pesca del atún mediante redes de cerco. Las cubas irán dispuestas en la parte central del buque distribuidas 9 a babor y 9 a estribor y, mediante un sistema de refrigeración por tuberías, se congelará el atún en seco mediante salmuera. La habilitación será de 35 personas y la propulsión será tipo diésel, con una velocidad de diseño de 14 nudos, para dar una autonomía de 37 días. Dispondrá de embarcaciones auxiliares para la ayuda en la operación de pesca, como son la panga y tres botes rápidos.

Las características principales del buque son:

Lo.a(m)	85,75
Lpp(m)	71
B(m)	14,9
T(m)	7
Dcp(m)	7,16
Fn	0,273
CB	0,63
CM	0,989
CP	0,638
$\Delta(t)$	5032
v(kn)	14

Tabla 1 "Características del buque"

En este cuaderno se obtendrá la planta propulsora del buque proyecto, y se calculará la autonomía de este en función de la cantidad de combustible de los tanques, tanto para el motor principal como para los motores auxiliares, en las diferentes situaciones de navegación. Por otro lado, se obtendrán los equipos auxiliares de la maquina propulsora como son el sistema de refrigeración, de lubricación, combustible, arranque y ventilación de cámara de máquinas. Finalmente se dispone de un plano de la cámara de máquinas con el fin de visualizar todos estos equipos.

4 ELECCIÓN DE LA MAQUINARIA PROPULSORA

En este apartado se escogerá el tipo de propulsión y el equipo que se instalará en el buque proyecto cumpliendo con los requisitos principales exigidos en las RPA en lo que se refiere a la velocidad y autonomía.

4.1 Tipo de propulsión

El tipo de propulsión se escoge de acuerdo con las RPA y tomando de referencia los buques escogidos para la base de datos como guía debido a que este tipo de buques tienen características muy similares a la hora de la instalación propulsora. Con esto, se ha elegido un motor diésel de cuatro tiempos, no reversible, el cual acciona la hélice de paso controlable (CPP) a través de una reductora. El motor trabajará en un régimen constante y, además, la reductora permite disponer de una PTO para instalar un generador de cola.

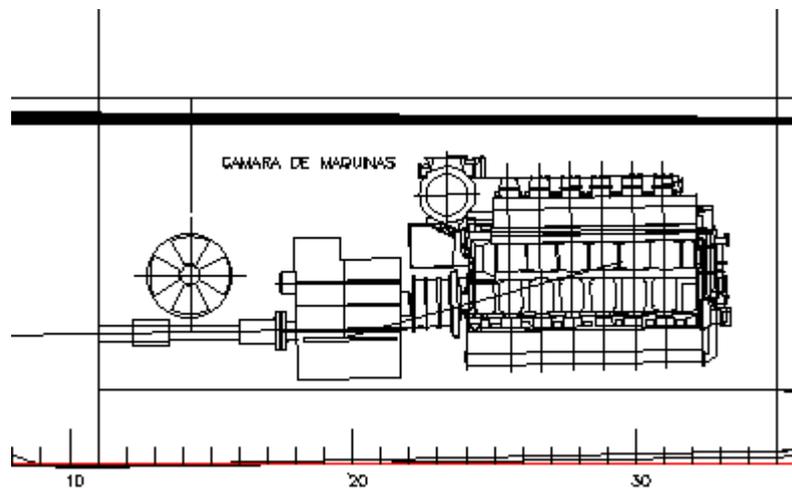


Ilustración 1 "Disposición del equipo propulsor"

4.2 Elección del motor

Una vez escogido el tipo de propulsor hay que ver que motor es el adecuado. Como se ha obtenido en el cuaderno 6 "Predicción de la potencia propulsora y diseño de propulsor y timón", la potencia del buque proyecto para la hélice de 4 palas, a una velocidad de 14 nudos es de 3223.4 kW. Como se observa en las características de este tipo de motores, el motor MAN 7L32/44CR cumpliría con la demanda, pero debido a que es un motor específico no se obtiene información en la guía proyecto, por lo que se ha escogido un motor MAN 8L32/44 CR, cuyas características principales son:

- **Características principales:**

Output L32/44CR						
Speed	rpm	750		720		
mep	bar	27.1 / 25.3*		28.3 / 26.4*		
		kW		kW		
6L32/44CR		3,600		3,600		
7L32/44CR		3,920*		3,920*		
8L32/44CR		4,800		4,800		
9L32/44CR		5,400		5,400		
10L32/44CR		6,000		6,000		
Dimensions L32/44CR						
Cyl. No.		6	7	8	9	10
L	mm	6,312	6,924	7,454	7,984	8,603
L ₁	mm	5,265	5,877	6,407	6,937	7,556
W	mm	2,174	2,359	2,359	2,359	2,359
H	mm	4,163	4,369	4,369	4,369	4,369
Dry Mass**	t	39.5	44.5	49.5	53.5	58.0

Minimum centerline distance for twin engine installation 2,500 mm
 Speed 720 rpm for generator drive/constant speed operations only
 * Different mep (7L, 14V)
 **Including built-on lube oil automatic filter and electronic equipment
 Fixed Pitch Propeller: 510 kW/cyl, 750 rpm

Ilustración 2 "Características del motor principal"

4.3 Elección de la reductora

La reductora escogida que se acoplará al motor principal tiene una relación de reducción de 6.63, para obtener las 113 rpm óptimas para el funcionamiento de la hélice, como se ha estimado en el cuaderno 6. La reductora elegida es de la marca Reintjes, modelo SVA 750, diseñada para hélices de paso controlable, con embrague y una toma de fuerza (PTO) para un alternador de cola, que se utilizará en situaciones de maniobra y navegación, con el fin de ahorrar combustible y el mantenimiento de generadores auxiliares

Observando la imagen siguiente, se comprueba la elección de la reductora en función de la potencia del motor:

Engine power

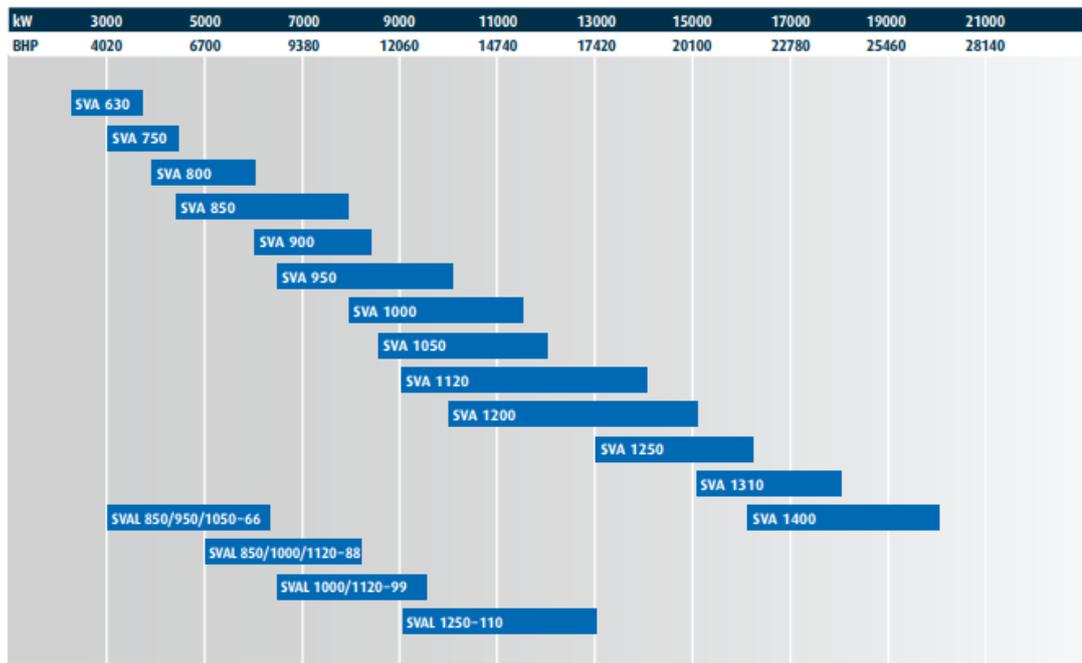


Ilustración 3 "Características de la reductora"

4.4 Línea de ejes, bocina y hélice

La línea de ejes consta de dos partes: un eje de cola y un eje intermedio para facilitar su montaje y desmontaje, el cual irá apoyado en una chumacera. El eje de cola será lo más corto posible, así se evitará alcanzar frecuencias críticas que originan vibraciones torsionales que pueden provocar daños posteriormente.

La bocina está constituida por dos piezas fundidas de acero, donde se alojan los cojinetes antifricción, unidas por un tubo de acero reforzado. Son del tipo de baño en aceite disponiéndose a proa y popa de cierres estancos. También, dispondrá de dos casquillos antifricción con sensores de temperatura para el casquillo exterior.

Como se ha comentado anteriormente, la hélice es de 4 palas y de paso controlable, con un diámetro de 4600 mm, la cual irá sujeta por cáncamos soldados en la parte popa.

5 JUSTIFICACIÓN DE LA AUTONOMÍA

Teniendo en cuenta los requisitos exigidos en las RPA, el buque proyecto debe tener una autonomía para 37 días a una velocidad de servicio de 14 nudos. Para ello, se realizará un estudio detallado del consumo del buque siguiendo las indicaciones del Project Guide del fabricante del motor.

% Output	Spec. fuel consumption [g/kWh] without attached pumps ¹⁾²⁾³⁾					
	100	85 ⁴⁾	75	65	50	25
Speed	Constant = 750 rpm					
ECOMAP 1 (standard 85 % optimum)						
MGO (DMA, DFA) or MDO (DMB, DFB)	176.0 (176.5) ⁵⁾	172.0 (173.0) ⁵⁾	178.5 (178.0) ⁵⁾	179.0 (182.0) ⁵⁾	182.0 (183.0) ⁵⁾	196.5 (198.5) ⁵⁾
HFO	178.0 (178.5) ⁵⁾	173.0 (174.0) ⁵⁾	179.5 (179.0) ⁵⁾	180.5 (183.5) ⁵⁾	184.0 (185.0) ⁵⁾	198.5 (200.5) ⁵⁾
ECOMAP 2 (part load optimised)						
MGO (DMA, DFA) or MDO (DMB, DFB)	176.0	179.0	181.0	175.0	178.0	196.5
HFO	178.0	180.5	182.0	176.5	180.0	198.5
ECOMAP 3 (derated 10 %)						
MGO (DMA, DFA) or MDO (DMB, DFB)	175.0	173.0	181.5	181.5	185.0	198.5
HFO	177.0	174.0	182.5	183.0	187.0	200.5
ECOMAP 4 (ECOMAP-SCR)						
MGO (DMA, DFA) or MDO (DMB, DFB)	176.0	172.5	171.0	173.5	178.0	196.5
HFO	178.0	173.5	172.0	175.0	180.0	198.5

Ilustración 4 "Consumos específicos de combustible"

Como la potencia necesaria es de 3223.4 kW y la proporcionada por el motor escogido es de 4800 kW, el régimen será de:

$$\text{Régimen} = \left(\frac{3223.4}{4800} \right) * 100 = 67.2 \%$$

Por lo que, el consumo específico es de 178 g/kW*h, al cual se le debe de añadir las adiciones de combustible:

For HT CW service pump (attached)¹⁾

$$f_{\text{HT pumps}} = i_{\text{HT pumps}} \times 0.0022 \times \frac{100\%}{\text{load}\%} \times \left(\frac{n_x}{n_n} \right)^3$$

For LT CW service pump (attached)

$$f_{\text{LT pumps}} = i_{\text{LT pumps}} \times 0.0028 \times a \times \frac{100\%}{\text{load}\%} \times \left(\frac{n_x}{n_n} \right)^3$$

Mechanical propulsion CPP:

$$f_{LO \text{ pumps}} = 0.0125 \times \frac{100\%}{\text{load}\%} \times \left(\frac{n_x}{n_n} \right)^1$$

Ilustración 5 "Fórmulas para el cálculo del consumo"

Donde "i" es el número de bombas para cada circuito de refrigeración, a es 1 y nx y nn coinciden, por lo que nx/nn es igual a 1. Entonces, queda:

$$f_{HTpumps} = 1 * 0.0022 * \left(\frac{100\%}{67.2\%} \right) * 1 = 0.0032$$

$$f_{LTpumps} = 2 * 0.0028 * 1 * \left(\frac{100\%}{67.2\%} \right) * 1 = 0.0083$$

$$f_{LO} = 0.0125 * \left(\frac{100\%}{67.2\%} \right) * 1 = 0.019$$

$$f_{TOTAL} = 0.0032\% + 0.0083\% + 0.019\% = 0.0305\%$$

$$\text{Consumo} = 178 + 0.0305\% = 178.1 \frac{g}{kW * h}$$

Para el cálculo de la autonomía se deberá de tener en cuenta las distintas situaciones a las que se verá sometido el buque. Las situaciones del buque serán: navegación normal, pescando y congelando, maniobrando y carga y descarga. El consumo diario en cada condición será:

- **Navegación normal:**

- velocidad de 14 nudos
- P= 3223.4 kW
- Motor= 4800 kW
- Régimen= (3223.4/4800) *100= 67.2%
- Horas operando= 12h/día;

Por lo que:

$$\text{Volumen} = \frac{4800 * 0.672 * 12 * 178(\text{consumo al } 67.2\%) * 10^{-6}}{0.85} = 8.1 \text{ m}^3$$

- **Pescando y congelando:**

- velocidad de 8 nudos
- P= 550 kW
- Motor= 4800 kW
- Régimen= (550/4800) *100= 11.46%
- Horas operando= 7.2h/día

Por lo que:

$$Volumen = \frac{4800 * 0.1146 * 7.2 * 198.5(\text{consumo al } 11.46\%) * 10^{-6}}{0.85} = 0.92 \text{ m}^3$$

- **Maniobrando:**

- velocidad de 8 nudos
- P= 550 kW
- Motor= 4800 kW
- Régimen= (550/4800) *100= 11.46%
- Horas operando= 2.4h/día

Por lo que:

$$Volumen = \frac{4800 * 0.1146 * 2.4 * 198.5(\text{consumo al } 11.46\%) * 10^{-6}}{0.85} = 0.31 \text{ m}^3$$

- **Carga y descarga:**

Estará 2.4 horas realizando las operaciones de carga y descarga, a velocidad 0, por lo que no consumirá en este tiempo.

Por lo que, el consumo diario es de:

$$Consumo \text{ diario} = 8.1 + 0.92 + 0.31 = 9.33 \text{ m}^3$$

$$Consumo \text{ en los } 37 \text{ días} = 345.21 \text{ m}^3$$

También habrá que tener en cuenta los generadores auxiliares, en las diferentes situaciones, por lo que:

Generador auxiliar		
Situación	Potencia total(kW)	%
Maniobrando	1516,59	0,1
Navegación normal	574,61	0,5
Pescando y congelando	2156,97	0,3
Carga/Descarga	610,61	0,1
Emergencia	182,42	
consumo diesel M.Aux	202,1	

Tabla 2 "Potencia de los generadores auxiliares"

El consumo diario de los generadores auxiliares es de:

$$Consumo = \frac{(1516.59 * 0.1 + 574.61 * 0.5 + 2156.97 * 0.3 + 610.61 * 0.1) * 202.1 * 24 * 10^{-6}}{0.85}$$

$$Consumo diario = 6.55 m^3$$

$$Consumo en los 37 días = 242.2 m^3$$

El volumen total de los tanques de combustible es:

$$V_{tanquecombustible} = 345.21 + 242.2 = 587.41 m^3$$

6 SERVICIOS DEL EQUIPO PROPULSOR

En este apartado se definirán los sistemas auxiliares relacionados con la propulsión. Para ello, se utiliza la guía de proyecto del fabricante del motor, en este caso, la guía empleada es la del fabricante MAN L32/44CR *Mechanical propulsion with CPP, Project Guide Marine, Four-stroke diesel engine compliant with IMO Tier III*, cuya última revisión es del 12.2020/5.0

6.1 Servicio de refrigeración

El objetivo de este sistema será el de disipar todo el calor provocado por el motor diésel tanto dentro del mismo (camisas del cilindro, válvulas de inyección de combustible, aire de carga, aceite lubricante) como fuera, en el alternador o en el combustible. Para ello, se instalará un circuito de refrigeración para el motor que circulará agua mediante un sistema central, el cual estará formado por dos circuitos: uno a baja temperatura (LT) y otro a alta temperatura (HT). El sistema de enfriamiento LT incluye intercambiadores de calor, donde se enfría agua del circuito con agua del mar para conseguir enfriar el aire de carga, el aceite lubricante y la boquilla de inyección del combustible. La temperatura del agua de enfriamiento está regulada entre 32-38°C. Por otro lado, el sistema de agua de enfriamiento HT elimina el calor del aire de carga de las camisas del cilindro y las culatas. Los componentes de este sistema están diseñados para proporcionar una temperatura de entrada a 60°C y una temperatura de salida de 90°C. La temperatura de entrada se obtiene mediante un precalentador cuando el motor se encuentra en espera, y en el enfriador cuando ya se ha atemperado todos los elementos del motor.

El circuito de refrigeración esquemáticamente sería:

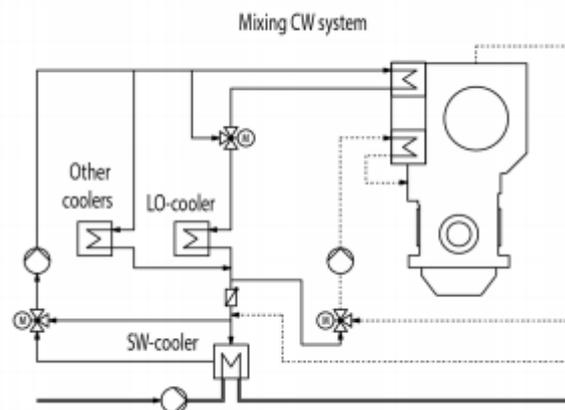


Ilustración 6 "Circuito de refrigeración"

El agua dulce que se utilice para la refrigeración deberá cumplir los siguientes requisitos establecidos por la guía proyecto del motor:

Properties/Characteristic	Properties	Unit
Water type	Distillate or fresh water, free of foreign matter.	-
Total hardness	max. 10	dGH ⁽¹⁾
pH value	6.5 – 8	-
Chloride ion content	max. 50	mg/l ⁽²⁾

Table 142: Properties of coolant that must be complied with

Ilustración 7 "Propiedades del agua dulce para refrigerar"

6.1.1 Sistema de agua de refrigeración LT

A continuación, se mencionarán los componentes del sistema, así como aquellos a través de los que circula el agua, se utilizará la misma nomenclatura del fabricante.

6.1.1.1 Bombas de agua dulce del circuito de baja temperatura: LT P-076

Se instalarán dos bombas de este tipo, una que estará en servicio, y otra en stand-by para garantizar la seguridad en caso de avería de la primera. Las propiedades son:

No. of cylinders, configuration		6L	8L	9L	10L
Engine output	kW	3,600	4,800	5,400	6,000
Speed	rpm	750			
Heat to be dissipated⁽¹⁾					
Charge air:	kW	1,091	1,436	1,643	1,783
Charge air cooler (HT stage)		557	761	828	965
Charge air cooler (LT stage)					
Lube oil cooler ⁽²⁾		455	607	682	759
Jacket cooling		341	455	511	569
Compressor wheel cooling		13	18	20	22
Nozzle cooling		14	19	21	24
Heat radiation engine (based on 55 °C engine room temperature)		71	94	106	118
Flow rates⁽¹⁾					
HT circuit (jacket cooling + charge air cooler HT)	m ³ /h	42	56	63	70
LT circuit (lube oil cooler + charge air cooler LT)		66	88	99	110
Lube oil including flushing oil amount of attached lube oil automatic filter		105	124	133.5	143
LT cooling water turbocharger compressor wheel		1.4			
Nozzle cooling water		1.0	1.4	1.6	1.8
Pumps					
a) Attached					
HT CW service pump	m ³ /h	42	56	63	70
LT CW service pump		66	88	99	110
Lube oil service pump for application with variable speed		120	162	162	191

b) Free-standing⁹					
HT CW stand-by pump	m ³ /h	42	56	63	70
LT CW stand-by pump		Depending on plant design			
Lube oil stand-by pump		110	130	140	150
Nozzle CW pump		1.0	1.4	1.6	1.8
Prelubrication pump ^{5l}		21.0 – 25.0	25.0 – 29.0	27.0 – 31.0	29.0 – 33.0
MGO/MDO supply pump		2.4	3.2	3.6	4.0
HFO supply pump		1.2	1.6	1.8	2.0
HFO circulating pump		2.4	3.2	3.6	4.0

Ilustración 8 "Propiedades del motor en función de los cilindros"

Por lo que, la bomba será independiente, pero se tomará como valor de referencia el de la bomba arrastrada, siendo el caudal de 88 m³/h.

LT cooling water - Plant

	Min.	Max.
Permitted pressure loss of external LT system (plant)	-	2.4 bar
Minimum required pressure rise of free-standing LT cooling water stand-by pump (plant)	3.0 bar	-
Cooling water expansion tank		
+ Pre-pressure due to expansion tank at suction side of cooling water pump	0.6 bar	0.9 bar
+ Pressure loss from expansion tank to suction side of cooling water pump	-	0.1 bar

Table 106: LT cooling water – Plant

Ilustración 9 "Agua refrigerante LT"

Por lo que, el caudal de la bomba será de 88 m³/h y la presión deberá ser como mínimo de 3 bares.

Con estos valores, se acude a un catálogo comercial para la elección de a bomba.

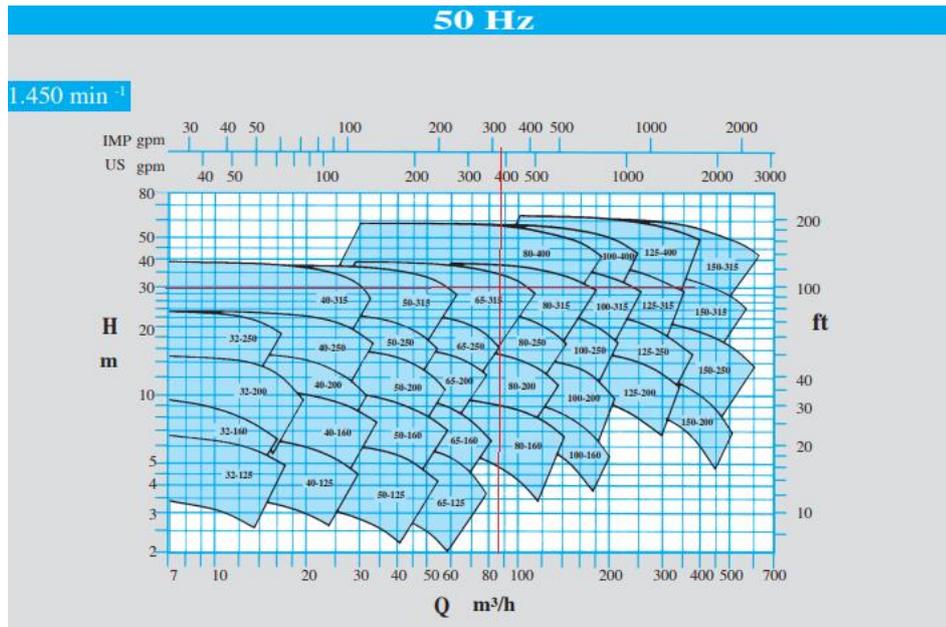
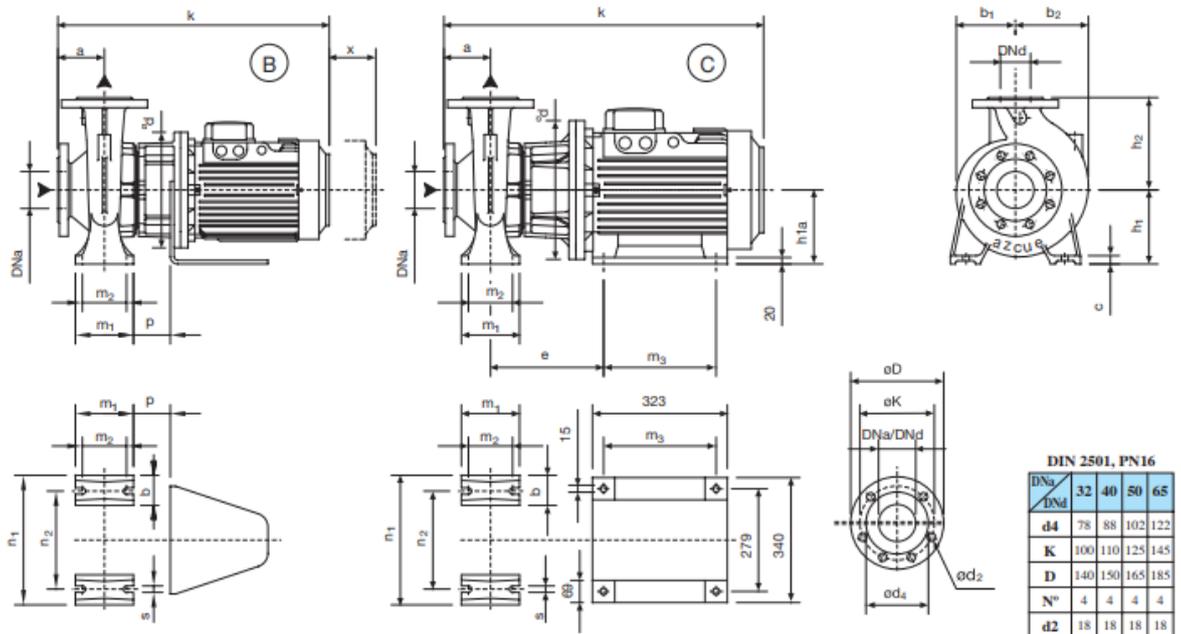


Ilustración 10 "Bomba LT"

Se ha seleccionado un modelo MN 65-315 del fabricante Azcue tipo centrífuga, con una frecuencia de 50 Hz, 1450 rpm, con una potencia absorbida de 15kW.

1450/1750 r.p.m. Serie MN / MN Series

Ejecution monobloc / Monoblock execution / Ejecution monobloc



Cuaderno 10. Planta propulsora
Gastón Manuel Mercado Roasso

Tipo/type	Motor		Forma	DNa	Dnd	a	e	h1	h2	h1a	b	b1	b2	c	m1	m2	m3	p	n1	n2	s	x	d	k	kg							
	KW	HP																														
65/125	0,55	0,7	B	80	65	100	-	160	180	-	65	120	150	18	125	95	-	-	280	212	14	100	200	490	47							
	0,75	1																						525	50							
	1,1	1,5																						575	55							
	1,5	2																						575	70							
65/160	1,1	1,5	B	80	65	100	-	160	200	-	65	130	155	18	125	95	-	-	280	212	14	100	200	525	52							
	1,5	2																						575	55							
	2,2,3	3,4																						575	70							
	2,2,3	3,4																						575	90							
65/200	4	5,5	B	80	65	100	-	180	225	-	65	155	180	18	125	95	-	-	80	320	250	14	140	250	670	100						
	5,5	7,5																							95	95						
	3	4																							100	320	250	14	140	300	670	100
	4	5,5																							100	360	280	19	140	250	615	95
65/250	5,5	7,5	B	80	65	100	-	200	250	-	80	180	200	20	160	120	-	-	120	360	280	19	140	300	710	120						
	7,5	10																							120	360	280	19	140	300	710	120
	5,5	7,5																							125	400	315	19	140	300	735	135
	7,5	10																							15	20	350	910	185			
65/315	1,5	2	B	80	65	125	-	225	280	-	80	210	230	20	160	120	-	-	120	400	315	19	140	300	735							
	7,5	10																						135	165							
	11	15																						350	910							
	15	20																						350	910							
80/160	1,5	2	B	100	80	125	-	180	225	-	65	140	180	18	125	95	-	-	80	320	250	14	140	200	550	65						
	2,2,3	3,4																							600	75						
	4	5,5																							80	80						
	3	4																							90	90						
80/200	4	5,5	B	100	80	125	-	180	250	-	65	160	190	18	125	95	-	-	115	345	280	14	140	250	640	95						
	5,5	7,5																							100	100						
	7,5	10																							135	345	280	14	140	300	735	110
	11	15																							350	910	150					

Ilustración 11 "Características bomba LT"

6.1.1.2 Válvula de derivación de agua de refrigeración: MOV-003/LT

Se encarga de desviar el agua de refrigeración LT para hacerla pasar por el enfriador de aire de carga HE-008 y al enfriador de aceite lubricante HE-002. Esta válvula es controlada por el sistema general de control del motor. Es una válvula de tres vías impulsada eléctricamente con el fin de mantener una temperatura mayor del aire de sobrealimentación cuando el motor no está trabajando a plena carga y reducir la acumulación de agua condensada tras el enfriador del aire.

6.1.1.3 Enfriador de aceite lubricante: HE-002

Se encarga de mantener el aceite lubricante en la temperatura óptima de funcionamiento. Debe de ser capaz de disipar 607 kW para el motor de 8 cilindros.

No. of cylinders, configuration		6L	8L
Engine output	kW	3,600	4,800
Speed	rpm	75	
Heat to be dissipated¹⁾			
Charge air:	kW		
Charge air cooler (HT stage)		1,091	1,436
Charge air cooler (LT stage)		557	761
Lube oil cooler ²⁾	455	607	
Jacket cooling	341	455	
Compressor wheel cooling	13	18	
Nozzle cooling	14	19	
Heat radiation engine (based on 55 °C engine room temperature)	71	94	

Ilustración 12 "Enfriador aceite lubricante"

6.1.1.4 Enfriador de aire de carga: HE-008

Como se indica en la tabla del apartado anterior, el motor de 8 cilindros tendrá que disipar 761 kW.

6.1.1.5 Válvula de control de temperatura: LT MOV-016

Válvula reguladora de 3 vías instalada como válvula mezcladora para mantener el agua de refrigeración LT a la temperatura de 32 °C.

6.1.1.6 Enfriador de combustible: HE-007

Es necesario para disipar de las bombas de inyección de combustible. Es necesario instalar un enfriador de este tipo para cada sistema de combustible del buque.

$P_c = P_1 \times br_{ISO1} \times f_1$		
$Q_c = P_1 \times br_{ISO1} \times f_2$		
Cooler outlet temperature MDO ¹⁾ $T_{out} = 45 \text{ °C}$	T_{out}	°C
Dissipated heat of the cooler	P_c	kW
MDO flow for thermal dimensioning of the cooler ²⁾	Q_c	l/h
Engine output power at 100 % MCR	P_1	kW
Specific engine fuel oil consumption (ISO) at 100 % MCR	br_{ISO1}	g/kWh
Factor for heat dissipation: $f_1 = 2.68 \times 10^{-5}$	f_1	-
Factor for MDO flow: $f_2 = 2.80 \times 10^{-3}$	f_2	l/g

Ilustración 13 "Enfriador de combustible"

$$P_c = 4800 * 176 * 2.68 * 10^{-5} = 22 \text{ kW}$$

$$Q_c = 4800 * 176 * 2.8 * 10^{-3} = 2365.44 \frac{l}{h}$$

6.1.1.7 Tanque de expansión: LT T-075

Se utiliza para compensar los cambios de volúmenes del circuito de refrigeración debido a pérdidas. Debe situarse de manera que el fondo del tanque quede por encima de cualquier sistema dependiente de este.

Service tanks	Installation height ¹⁾	Minimum effective capacity									
	m	m ³									
No. of cylinders		6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Cooling water expansion tank	6 – 9	0.5					0.7				
Required diameter for expansion pipeline	-	≥ DN40					≥ DN50				
Lube oil in lube oil service tank ²⁾	-	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	7.2	8.4	9.6	10.8	12.0

¹⁾ Installation height refers to tank bottom and crankshaft centre line.
²⁾ The minimum quantity of lube oil for the engine in the lube oil service tank is 1.0 litre/kW.

Table 110: Service tanks capacities

Ilustración 14 "Características tanque de expansión"

El tanque deber tener una capacidad de 0.5 m³ de agua de refrigeración y se situará al menos a 6 metros del cigüeñal.

6.1.1.8 Enfriador principal: HE-024

Debe tener capacidad para disipar el calor tanto del circuito de baja temperatura como el alta.

Emisor de calor	Calor 8 cilindros(kW)
Enfriador LT	761
Enfriador HT	1436
Enfriador aceite lubricante	607
Enfriador camisas cilindros	455
Enfriador combustible	22
Total	3281

Tabla 3 "Enfriador principal"

Se instalarán dos enfriadores capaces de disipar 3281 kW cada uno.

6.1.2 Bomba de agua salada

El sistema de agua salada utiliza el agua de mar para refrigerar el enfriador de baja y alta temperatura. El dimensionamiento se realiza para la potencia a disipar por el enfriador principal. Se instalarán 2 bombas de agua salada, una de servicio y otra de reserva. Sabiendo que:

$$\phi = 3281 \text{ kW} * \frac{\left(\frac{3600}{1\text{kW}}\right) \text{kJ}}{\text{h}} = 11811600 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

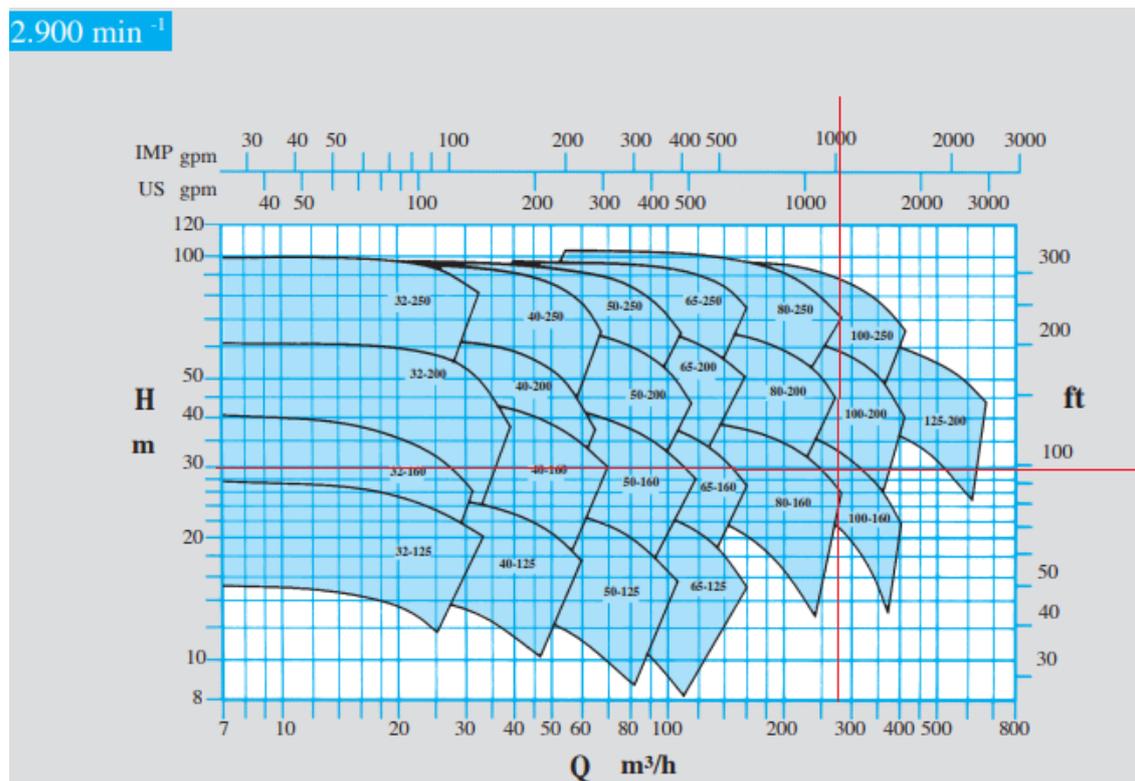
$$Q = \frac{\phi}{\Delta T * c_p * \rho}$$

Siendo:

- Q: caudal necesario para la bomba de agua salada en m³/h
- φ: calor a disipar en kW
- ΔT: salto térmico entre la entrada y salida del agua salada en el enfriador, se tomarán 22°C y 32°C, respectivamente.
- Cp: calor específico, 4.178 kJ/K·kg
- P: densidad, 1025 kg/m³

$$Q = \frac{11811600}{10 * 4.178 * 1025} = 276 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tomando una presión de descarga de 3 bares, se procede a la selección de la bomba:



80/200	18.5	25	B	100	80	125	—	180	250	—	65	160	190	18	125	95	—	135	360	280	19	140	350	910	160
	22	30	C				375	180	250	180	65	160	190	18	125	95	241	—	360	280	19	140	350	960	170
100/160	18.5	25	B	125	100	125	—	200	280	—	80	180	225	18	160	120	—	120	360	280	19	140	350	910	195
	22	30	C				375	200	280	180	80	180	225	18	160	120	241	—	360	280	19	140	350	960	225

Ilustración 15 "Características bomba agua salada"

Se escogerá la bomba modelo MN 100-160 para asegurar el buen funcionamiento del sistema, de la marca Azcue, tipo centrífuga. Las principales características son: motor eléctrico de 22 kW, 50 Hz y 2900 rpm.

6.1.3 Sistema de refrigeración HT

6.1.3.1 Bomba de refrigeración: HT P-002

Se instalarán 2 bombas para el circuito de alta temperatura, las cuales tendrán las siguientes características proporcionadas por la guía proyecto del motor:

b) Free-standing⁹					
HT CW stand-by pump	m ³ /h	42	56	63	70
LT CW stand-by pump		Depending on plant design			
Lube oil stand-by pump		110	130	140	150
Nozzle CW pump		1.0	1.4	1.6	1.8
Prelubrication pump ^{5l}		21.0 – 25.0	25.0 – 29.0	27.0 – 31.0	29.0 – 33.0
MGO/MDO supply pump		2.4	3.2	3.6	4.0
HFO supply pump		1.2	1.6	1.8	2.0
HFO circulating pump		2.4	3.2	3.6	4.0

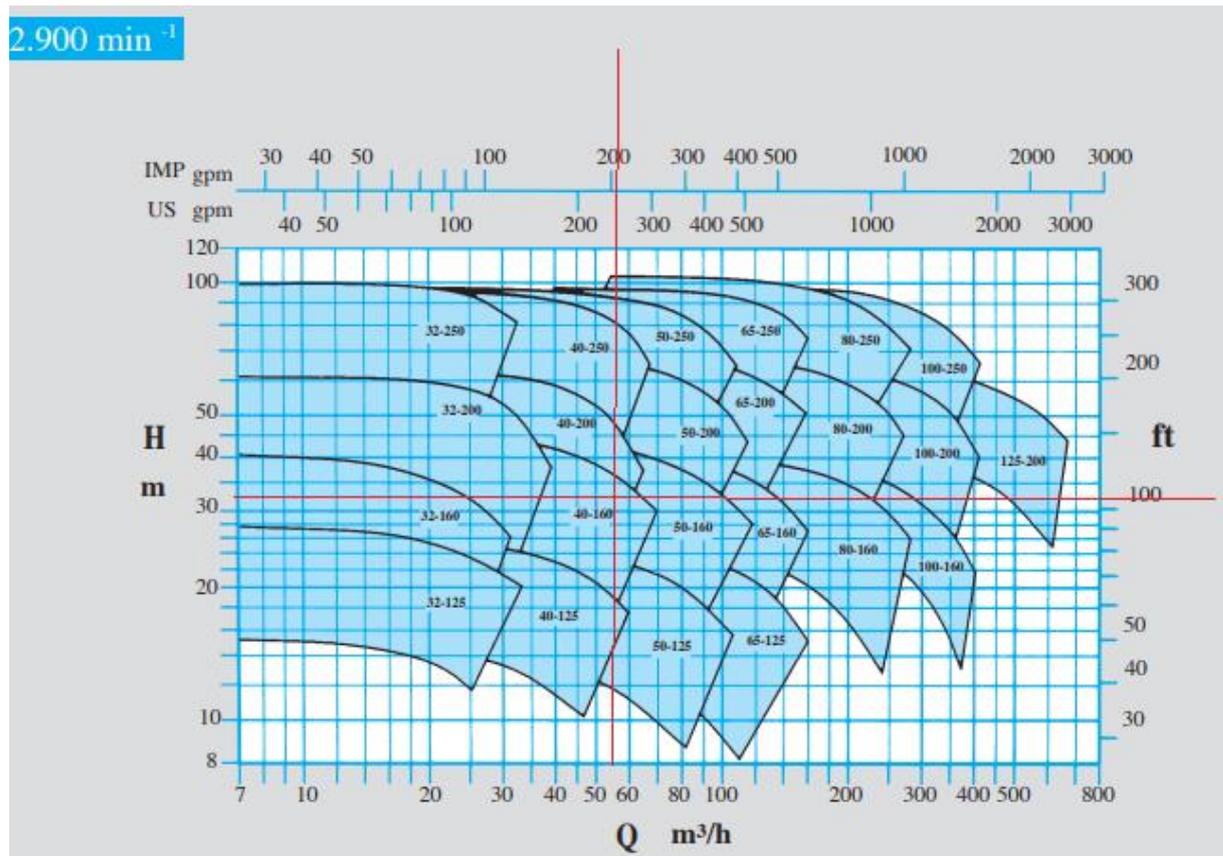
HT cooling water – Plant

	Min.	Max.
Permitted pressure loss of external HT system (plant)	-	1.85 bar
Minimum required pressure rise of free-standing HT cooling water stand-by pump (plant)	3.2 bar	-
Cooling water expansion tank		
+ Pre-pressure due to expansion tank at suction side of cooling water pump	0.6 bar	0.9 bar
+ Pressure loss from expansion tank to suction side of cooling water pump	-	0.1 bar

Table 104: HT cooling water – Plant

Ilustración 16 "Propiedades agua refrigeración HT"

El caudal necesario de cada bomba es de 56 m³/h y el valor de presión mínimo es de 3.2 bares. Por lo que se procede a la selección de la bomba:



40/160	4	5.5	B	65	40	80	-	162	160	-	100	110	135	18	100	70	-	90	340	290	14	100	250	555	65
	5.5	7.5						7.5	10		190	160	-	100	110	135		18	100	70	-	110	340	290	14

Ilustración 17 "Características bomba refrigeración HT"

Se escogerá la bomba modelo MN 40-160, de la marca Azcue, con características del motor eléctrico de 50 Hz, 2900 rpm y 11 kW de potencia.

La bomba tendrá un filtro de agua salada FIL-019 aguas abajo.

6.1.3.2 Válvula de control de temperatura circuito HT: TCV-007

Controla que la temperatura del agua de refrigeración HT a la salida del motor sea de 90°C. La temperatura por defecto es de 85°C.

6.1.3.3 Precalentador: HE-027

Tiene la función de asegurar que el agua que entra al motor a través del circuito de agua de alta temperatura se encuentre entre 60-90°C, así el motor trabajará a una temperatura óptima. El caudal mínimo necesario en el calentador durante el precalentado viene dado por:

No. of cylinders, config.	Minimum flow rate required during preheating and post-cooling
	m ³ /h
6L	7.2 – 10.8
7L	8.4 – 12.6
8L	9.2 – 13.8
9L	10.8 – 16.2
10L	12.0 – 18.0
12V	14.4 – 21.6
14V	16.8 – 25.2
16V	19.2 – 28.8
18V	21.6 – 32.4
20V	24.0 – 36.0

Table 157: Minimum flow rate during preheating and post-cooling

Ilustración 18 "Características precalentador"

Cada motor lleva su propio calentador. Siguiendo las indicaciones del fabricante se debe calcular la potencia del precalentador (para calentar el agua de 10°C a 60°C en 8 horas) tomando entre 2.5-3 kW por cilindro. Por lo que, al tener 8 cilindros, el buque proyecto necesitará un precalentador de 24 kW.

6.1.3.4 Bomba del precalentador: P-047/HT

La bomba del precalentador hace circular el agua del circuito a alta temperatura durante el precalentamiento. Se necesita una bomba accionada eléctricamente para hacer circular el agua de enfriamiento HT durante el precalentamiento. El caudal de la bomba se toma un valor de 10 m³/h y se considera una presión de 3 bares.

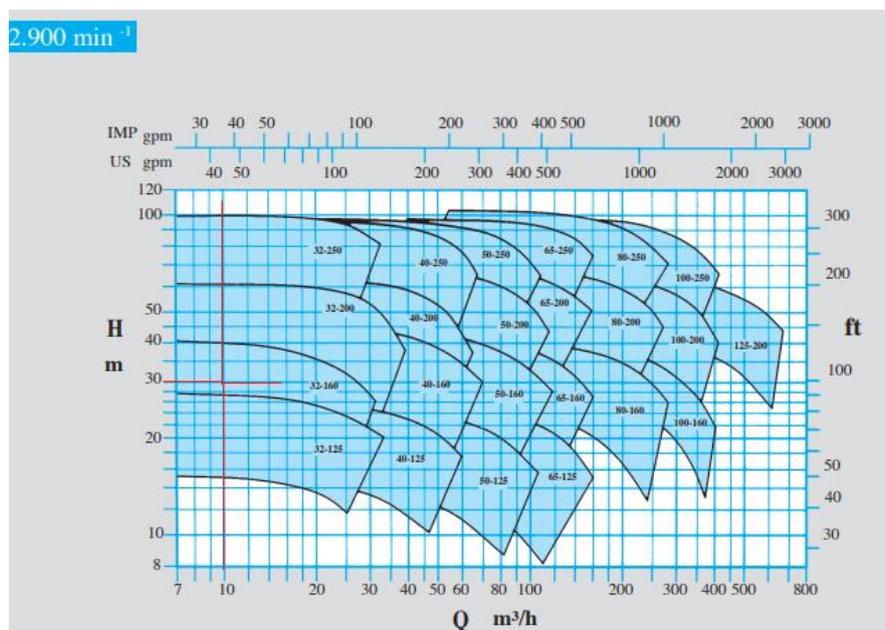


Ilustración 19 "Bomba del precalentador"

La bomba seleccionada es de la marca Azcue, modelo MN 32-160, y su potencia viene dada por:

$$P_{bomba} = \frac{9.81 * Q * \rho * H}{3600 * 10^3 * \eta}$$

$$P_{bomba} = \frac{9.81 * 10 * 1000 * 30}{3600 * 10^3 * 0.6}$$

$$P_{bomba} = 1.4 \text{ kW}$$

$$P_{motor} = \frac{P_{bomba}}{0.9} = \frac{1.4}{0.9} = 1.56 \text{ kW}$$

6.1.3.5 Enfriador del aire de carga: HE-010

Habrá que disipar 1436 kW para el motor de 8 cilindros.

6.1.3.6 Enfriador de la camisa del cilindro

Habrá que disipar 455 kW.

6.1.4 Diagrama sistema de refrigeración

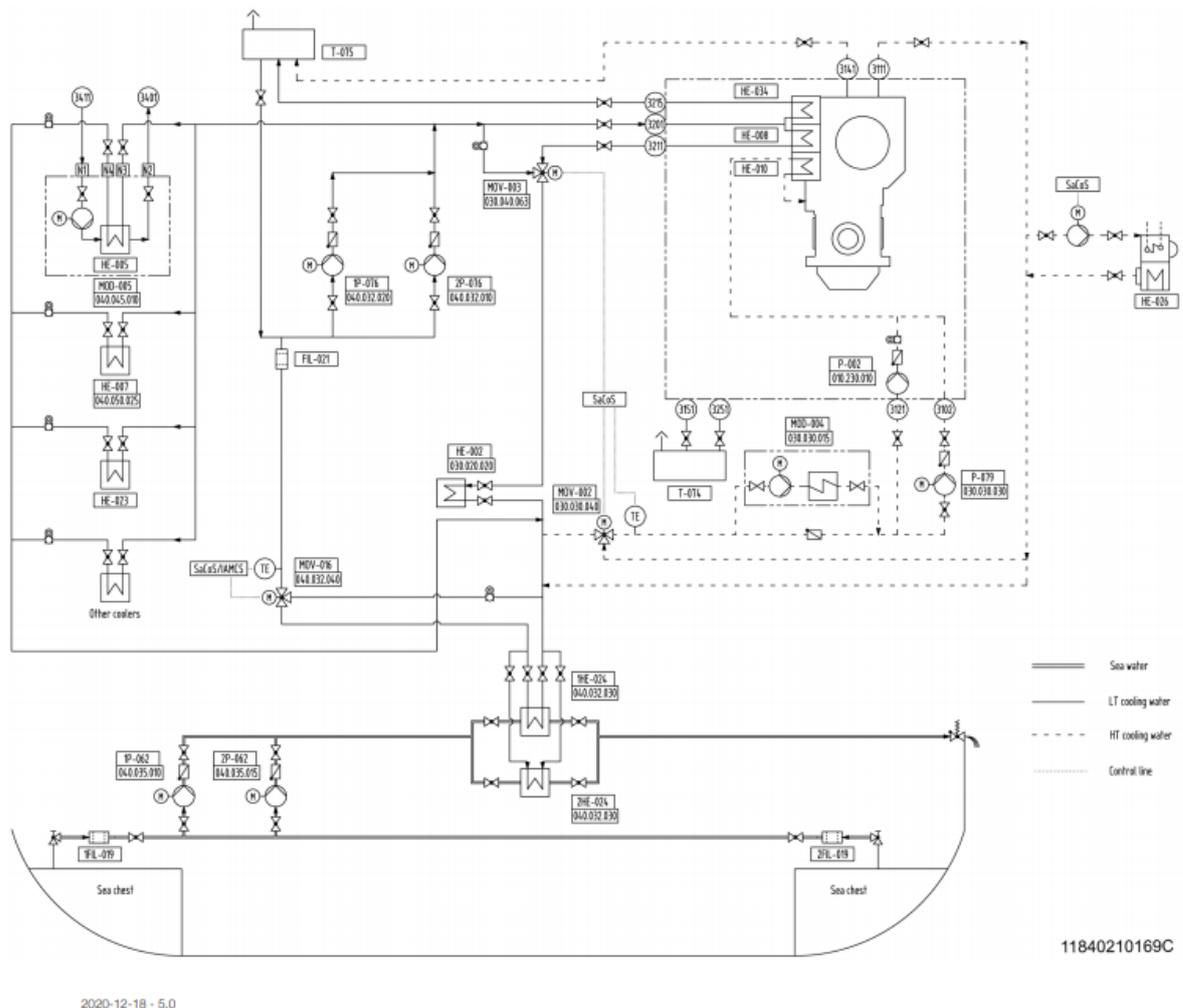


Ilustración 20 "Diagrama orientativo del sistema de refrigeración"

6.2 Servicio de lubricación

El sistema de lubricación del motor es propio de cada uno, por lo que el motor tendrá un sistema independiente. Los generadores llevarán su propio aceite lubricante. El proceso comienza en la bomba de servicio de aceite que lo extrae del cárter y lo pasa por el precalentador y por el filtro, y a partir de ahí se distribuye a todos los puntos del motor y del turbocompresor. La lubricación se produce de arriba abajo, retomando el aceite por gravedad del cárter. El buque proyecto llevará MDO, combustible que tiene las siguientes características:

Approx. BN of fresh oil (mg KOH/g oil)	Engines/operating conditions
20	Marine diesel oil (MDO) of a lower quality and with a high sulphur content or residual fuel with a sulphur content of less than 0.50%
30	generally 23/30H and 28/32H. 23/30A, 28/32A and 28/32S under normal operating conditions. For engines 16/24, 21/31, 27/38, 32/40, 32/44CR, 32/44K, 40/54, 48/60 as well as 58/64 and 51/60DF operating with 100% HFO with a sulphur content < 1.5% only.
40	Under unfavourable operating conditions and where the corresponding requirements for the oil service life and cleaning capacity exist, 23/30A, 28/32A and 28/32S. In general 16/24, 21/31, 27/38, 32/40, 32/44CR, 32/44K, 40/54, 48/60 as well as 58/64 and 51/60DF for operation with residual fuel, provided the sulphur content is over 1.5%.
50	32/40, 32/44CR, 32/44K, 40/54, 48/60 and 58/64, if the oil service life or engine cleanliness is insufficient with a BN number of 40 (high sulphur content of fuel, extremely low lubricating oil consumption).

Table 136: Base number to be used for various operating conditions

Ilustración 21 "Características MDO"

6.2.1 Consumo de aceite lubricante

El consumo del aceite lubricante viene dado por:

Lube oil consumption

600 kW/cyl., 720 rpm or 600 kW/cyl., 750 rpm

580 kW/cyl., 720 rpm or 580 kW/cyl., 750 rpm

550 kW/cyl., 720 rpm or 550 kW/cyl., 750 rpm

540 kW/cyl., 720 rpm or 540 kW/cyl., 720 rpm (ECOMAP 4)

Specific lube oil consumption:

$$0.5 \text{ g/kWh}^1) \times \frac{100\%}{\text{load}\%} \times \frac{600 \text{ kW/cyl.}}{\text{nominal output per cyl.}}$$

Ilustración 22 "Consumo aceite lubricante"

Los motores 32L/44 CR tiene una potencia de 600 kW por cilindro a 750 rpm, por lo que:

$$\text{Consumo}_{\text{lubricante}} = 0.5 * \left(\frac{100}{85}\right) * 1 = 0.6 \frac{\text{g}}{\text{kW} \cdot \text{h}}$$

6.2.2 Elementos del sistema de lubricación

6.2.2.1 Tanque de servicio: T-001

El cárter del motor tiene la función de tanque de servicio de aceite lubricante, cuyo volumen viene dado por:

Service tanks	Installation height ¹⁾ m	Minimum effective capacity									
		m ³									
No. of cylinders		6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Cooling water expansion tank	6 – 9	0.5					0.7				
Required diameter for expansion pipeline	-	≥ DN40					≥ DN50				
Lube oil in lube oil service tank ²⁾	-	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	7.2	8.4	9.6	10.8	12.0

¹⁾ Installation height refers to tank bottom and crankshaft centre line.
²⁾ The minimum quantity of lube oil for the engine in the lube oil service tank is 1.0 litre/kW.

Table 110: Service tanks capacities

Ilustración 23 "Tanque de servicio aceite lubricante"

6.2.2.2 Precalentador de aceite: H-002

Precalienta el aceite del cárter antes de introducirlo al motor. El precalentador debe tener potencia suficiente para calentar la totalidad del tanque de servicio a 40°C en menos de 4 horas. Si los motores deben mantenerse en modo de espera, el aceite lubricante de los motores correspondientes siempre debe estar en el rango de las temperaturas de las condiciones de arranque. Esto significa que el límite máximo de temperatura del aceite lubricante no debe excederse durante el arranque del motor.

6.2.2.3 Filtro de succión de aceite: FIL-004

Se utiliza como protección de las bombas de arrastre del aceite combustible.

6.2.2.4 Bomba de aceite lubricante: P-001

Características de la bomba:

Pumps					
a) Attached					
HT CW service pump	m ³ /h	42	56	63	70
LT CW service pump		66	88	99	110
Lube oil service pump for application with variable speed		120	162	162	191

Lube oil pump (attached, free-standing)		
- Design pressure	7 bar	-
- Opening pressure safety valve	-	8 bar

Ilustración 24 "Características bomba de aceite lubricante"

Esta bomba tendrá un caudal de 162 m³/h y una presión entre 7-8 bares. Esta bomba será arrastrada por el motor, por lo que no se tendrá en cuenta a la hora de realizar el balance eléctrico.

6.2.2.5 Bomba de prelubricación: P-007

Es una bomba de engranajes, autocebante, accionada eléctricamente para realizar la tarea de prelubricación antes de arrancar y la postlubricación cuando para el motor. Para buques con un solo motor principal, como es en este caso, el “Project Guide” recomienda diseñar un sistema de aceite lubricante con la bomba de servicio de aceite lubricante P-001 y una bomba de reserva independiente. Por lo que, se utilizará la bomba seleccionada en el apartado anterior, con caudal 162 m³/h y una presión de 8 bares:

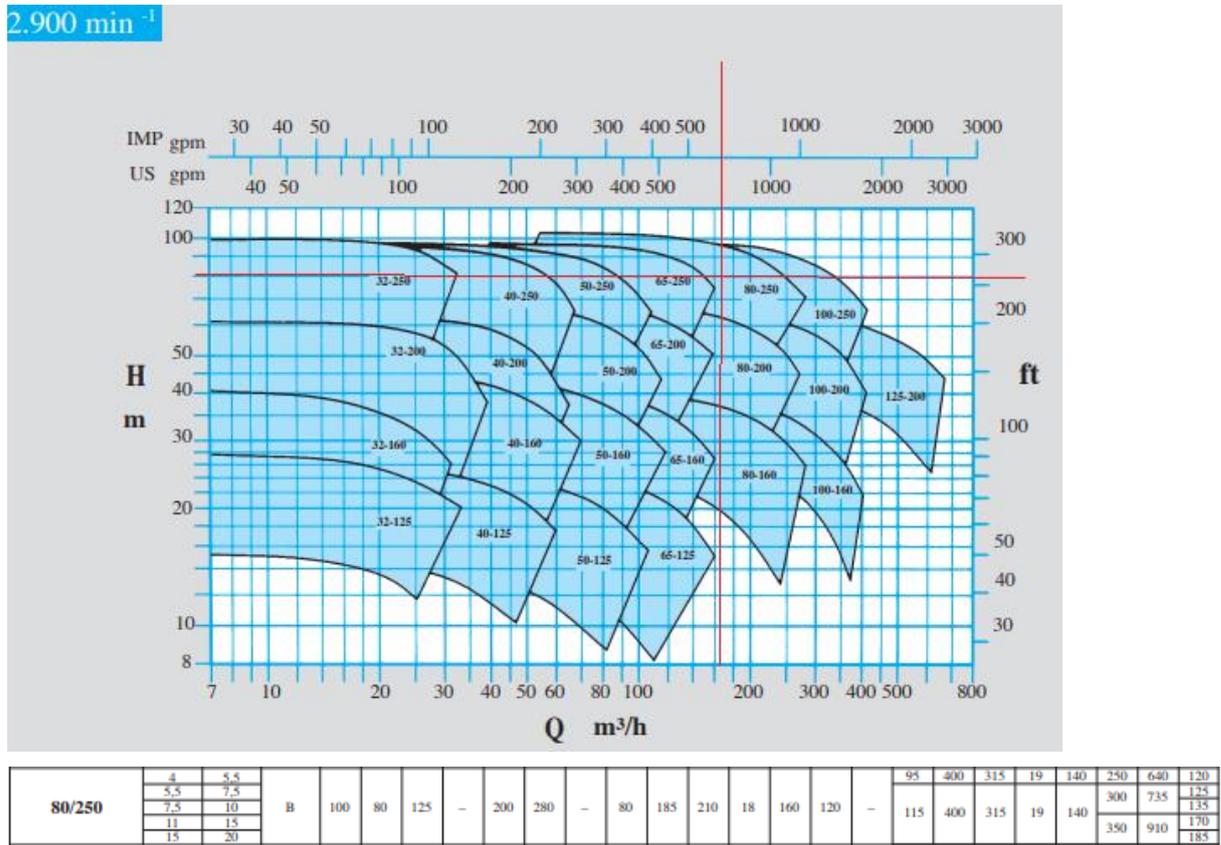


Ilustración 25 "Características bomba de prelubricación"

Se escoge la bomba de la marza Azcue, modelo MN 80-250, con un motor eléctrico de 15 kW, 2900 rpm a 50 Hz.

6.2.2.6 Válvula de control de temperatura del aceite lubricante: TCV-001

La válvula de control de temperatura del aceite lubricante regula la temperatura a la entrada del motor. Se puede controlar con termostatos.

Set point lube oil inlet temperature	Type of temperature control valve ¹⁾
65 °C	Thermostatic control valve (wax/copper elements) or electrically actuated control valve (interface to engine control)

¹⁾ Full open temperature of wax/copper elements must be equal to set point. Control range lube oil inlet temperature: Set point minus 10 K.

Table 152: Lube oil temperature control valve

Ilustración 26 "Características VCT del aceite lubricante"

6.2.2.7 Separador de aceite: CF-001

El separador de aceite tiene la función de separar los residuos producidos por la combustión y el desgaste del motor del aceite lubricante para evitar un mayor desgaste de los equipos y proporcionar el buen funcionamiento del sistema. El separador debe ser dimensionado para 1 l/kW en un tiempo de 24 horas. El caudal viene dado por:

$$Q = \frac{1.0 \times P \times n}{24}$$

Q [l/h]	Separator flow rate
P [kW]	Total engine output
n	HFO = 7 MDO/MGO = 5 Gas (+ MDO/MGO for ignition only) = 5

Ilustración 27 "Cálculo separador de aceite"

$$Q = \frac{1 * 4800 * 5}{24} = 1000 \frac{l}{h}$$

Se procede a la elección del separador:

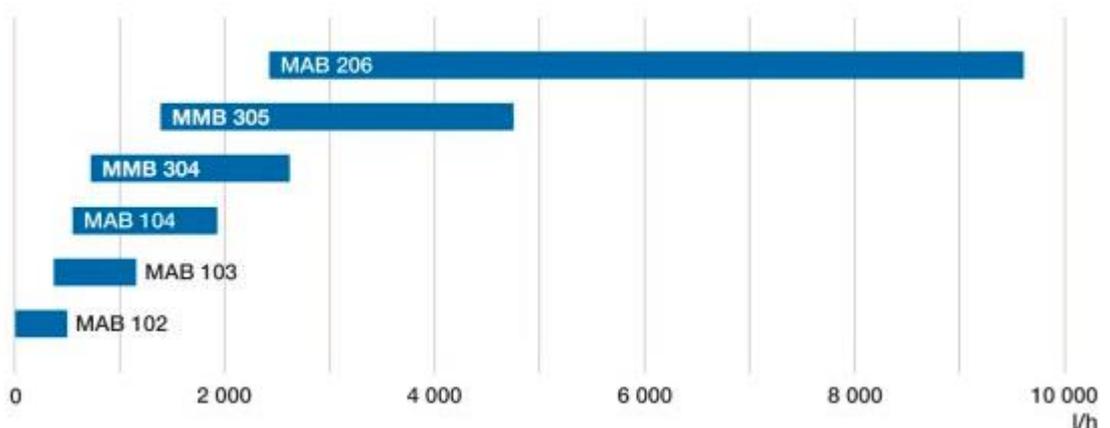


Ilustración 28 "Elección del separador de aceite"

Se escoge el modelo MAB 104 de la marca Alfa Laval, cuyas características son:

Separator type	MAB 104B-14/24	
Purpose	Continuous purification of mineral oil from solid particles and water. The flash point of the oil to be separated must be minimum 60 °C.	
Hydraulic capacity	Maximum 2.0 m ³ /h	
Max. density of sediment	1600 kg/m ³	
Max. density of feed	991 kg/m ³ , (mechanical safety max. 1100 kg/m ³)	
Feed temperature	Minimum	0 °C
	Maximum	+100 °C
Ambient temperature	Minimum	+5 °C
	Maximum	+55 °C
Motor (with pump)	4-pole 1.5 kW standard motor, 50 or 60 Hz, 3-phase. Direct on-line start. If Y/D-start is used maximum 5 seconds in Y position.	
Motor (without pump)	4-pole 1.1 kW standard motor, 50 or 60 Hz, 3-phase. Direct on-line start. If Y/D-start is used maximum 5 seconds in Y position.	
Power consumption	idling	0.5 kW
	running (at max. capacity)	1.8 kW
	(at starting-up)	1.3 kW

Ilustración 29 "Características del separador de aceite"

6.2.2.8 Bomba de trasiego de aceite: P-012

Es la bomba encargada de transferir aceite nuevo del tanque de almacén a los tanques de servicio. Se estima una presión de trabajo de 4 bares. El caudal de esta bomba viene dado por el volumen del cárter, 3.5 m³, entre un tiempo de llenado de 1 hora.

$$Q = \frac{3.5}{1} = 3.5 \frac{m^3}{h}$$

Seleccionamos la bomba:

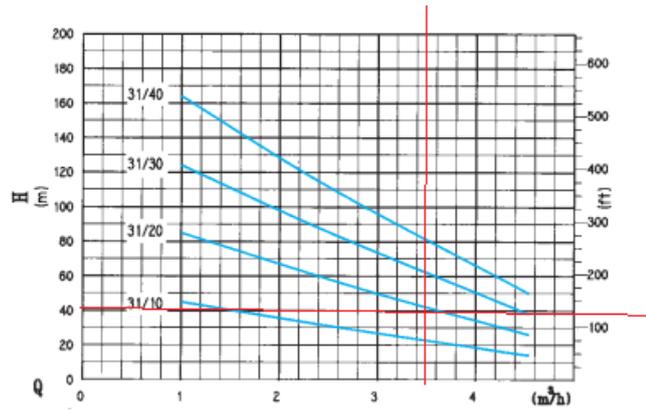


Ilustración 30 "Gráfica obtención bomba trasiego aceite"

La bomba escogida es de la marca Azcue, modelo MO/MO 31/20, 50 Hz, 1450 rpm, cuyas características son:

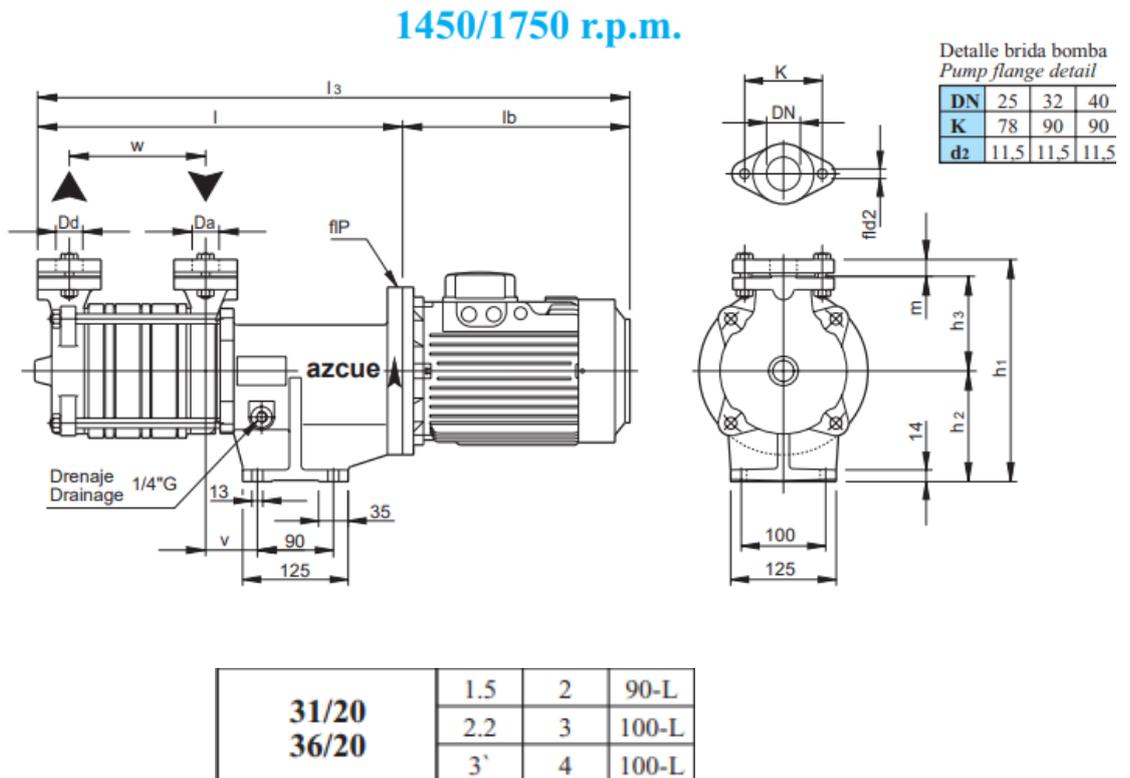


Ilustración 31 "Características bomba trasiego de aceite"

Las características del motor eléctrico son de 1.5 kW, 1450 rpm a 50 Hz.

6.2.3 Diagrama lubricación

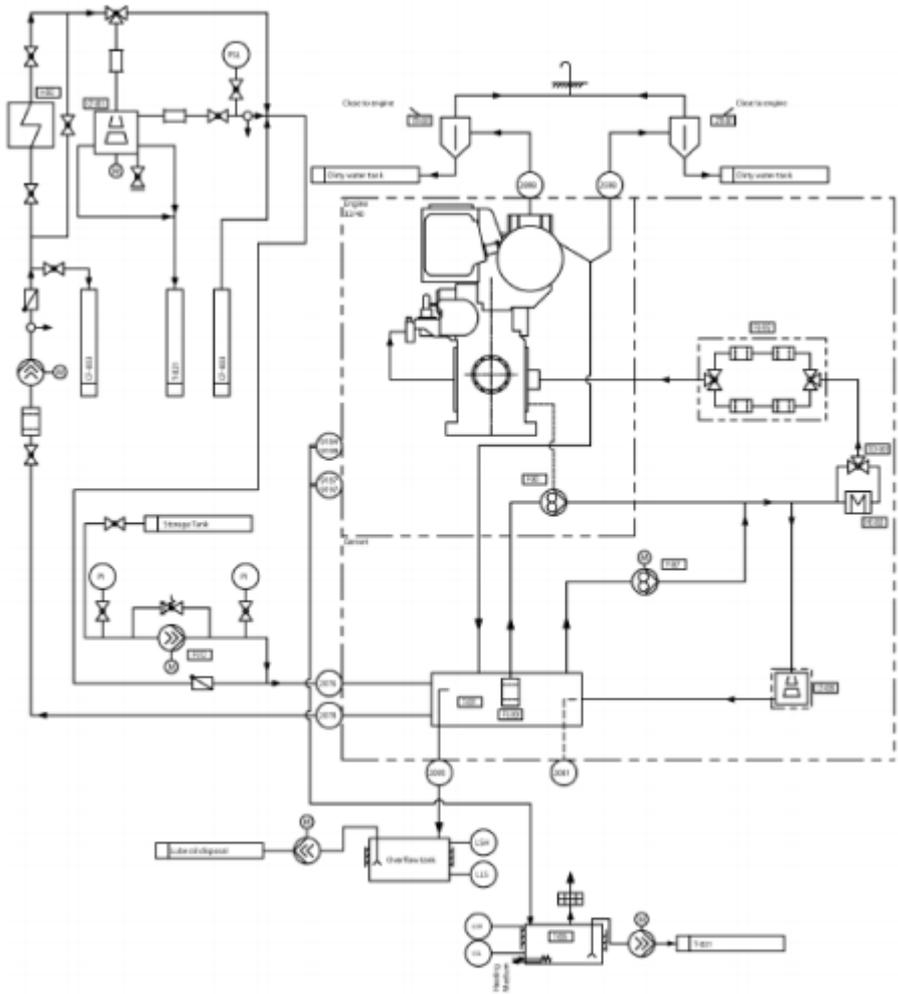


Ilustración 32 "Diagrama orientativo del sistema de lubricación"

6.3 Sistema de combustible

El sistema de combustible debe estar diseñado y construido para suministrar combustible al motor diésel, cumpliendo con los requisitos que especifica el fabricante. Para ello, se necesitarán equipos de tratamiento de combustible y equipos de suministro. Las características principales del combustible a utilizar en el buque proyecto, MDO, se muestran a continuación:

Property	Unit		Threshold value ¹⁾	Standard ²⁾
Kinematic viscosity at 40 °C ³⁾	mm ² /s	Max.	11.0	ISO 3104, ASTM D7042, ASTM D445, DIN EN 16896
		Min.	2.000	
Density at 15°C	kg/m ³	Max.	900.0	ISO 3675, ISO 12185
		Min.	820.0	
Cetane index & cetane number		Min.	35	ISO 4264 & ISO 5165
Sulphur content ⁴⁾	% (m/m)	Max.	1.50	ISO 8754, ISO 14596, ASTM D 4294, DIN 51400-10
Flash point ⁵⁾	°C	Min.	60.0	ISO 2719
Hydrogen sulphide	mg/kg	Max.	2.0	IP 570
Acid number	mg KOH/g	Max.	0.5	ASTM D664
Corrosion on copper	Class	Max.	1	ISO 2160
Oxidation stability ⁶⁾	g/m ³ h	Max.	25	ISO 12205, EN 15751
		Min.	20	
Fatty acid methyl ester (FAME) content ⁷⁾	% (V/V)	Max.	7.0	ASTM D7963, IP 579, EN 14078
Carbon residue ⁸⁾	% (m/m)	Max.	0.30	ISO 10370
Appearance ⁹⁾	-	-	Free from contamination	visually
Water content	% (m/m)	Max.	0.02	DIN 51777, DIN EN 12937, ASTM D6304
Ash content	% (m/m)	Max.	0.010	ISO 6245

Property	Unit		Threshold value ¹⁾	Standard ²⁾
Lubricity ¹⁰⁾	µm	Max.	520	ISO 12156-1, ASTM D6079

Table 139: Requirements for diesel fuel

Ilustración 33 "Características del combustible"

6.3.1 Sistema de tratamiento de MDO

6.3.1.1 Tanques de almacén: T-015

La capacidad mínima efectiva del tanque de ser suficiente para la operación de la planta propulsora durante la duración máxima del viaje. El tanque debe estar provisto de un espacio para los lodos en el fondo con una serie de válvulas de drenaje. Deberán ir provisto de un

calentador que asegure que la temperatura del MDO sea como mínimo de 10°C por encima del punto de fluidez. El volumen de los tanques es de 587.41 m³ calculados anteriormente en el apartado de la autonomía.

- Tanques de combustible

- Se disponen de 10 tanques en el doble fondo, situados en la zona central del buque debajo de las cubas, distribuidos 5 a babor y 5 a estribor.
- 1 tanque situado a proa de las cubas, que se extiende del doble fondo a la cubierta principal verticalmente.
- 2 tanques de uso diario en la popa del buque, situados en la cubierta principal, uno a babor y otro a estribor.

6.3.1.2 Tanque de lodos: T-021

Si no se planea la eliminación en una planta incineradora, el tanque debe dimensionarse de manera que sea capaz de absorber todos los residuos que se acumulan durante la operación en el curso de una duración máxima de viaje. El contenido de este tanque no debe agregarse al aceite combustible del motor. Para habilitar el vaciado del tanque, debe ser calentado. La calefacción debe dimensionarse de modo que el contenido del tanque se encuentre aproximadamente a 40 °C. En el cuaderno 4, se ha dimensionado un tanque de lodos de 2.5 m³ capacidad.

6.3.1.3 Separador de MDO: CF-003

Debe proporcionarse un separador autolimpiante. El separador de aceite combustible diésel está dimensionado de acuerdo con las pautas del fabricante de separadores. El caudal requerido se puede determinar aproximadamente mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{P \times b_e}{\rho}$$

Q [l/h]	Separator flow rate
P [kW]	Total engine output
b _e [g/kWh]	Fuel oil consumption
ρ [g/l]	Density at separating temp approximately 870 kg/m ³ = [g/l]

Ilustración 34 "Cálculo separador MDO"

$$Q = \frac{4800 \times 178.05}{870} = 982.34 \frac{l}{h}$$

Se procede a la elección del separador:

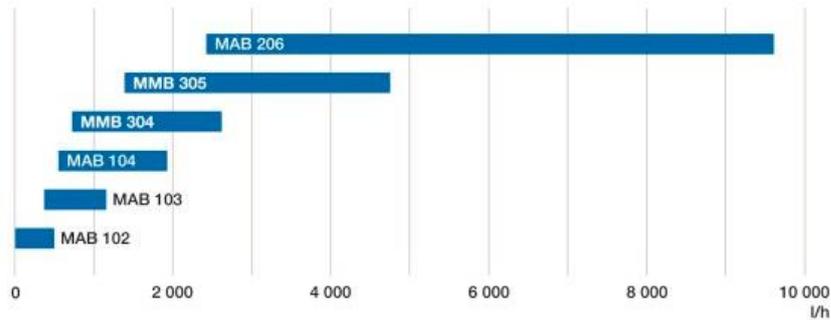


Ilustración 35 "Elección searador MDO"

Se escoge el modelo MBB 304 de la marca Alfa Laval, cuyas características son:

Technical data in brief

	MMB 304	MMB 305
Input voltage supply:	220/230, 380/400, 415, 440 V AC (50/60 Hz)	
Power consumption at max. rec. flow for gas oil:	1.4 kW	2.3 kW

Shipping data

	Dimensions (mm)	
	MMB 304	MMB 305
A	910	935
B	795	795
C	465	465

Type of equipment	Weight (kg)	
	Net	Gross
Separator MMB 304		
- without motor	185	235
- with motor	201	251
Separator MMB 305		
- without motor	190	240
- with motor	218	268

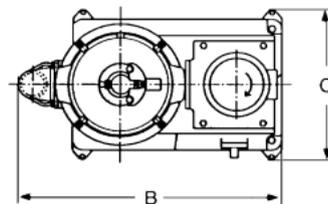
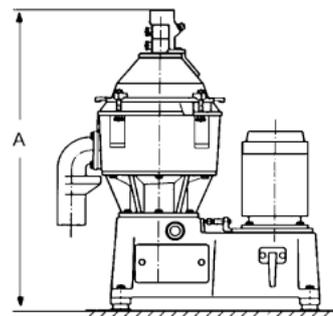


Ilustración 36 "Características del searador MDO"

6.3.1.4 Bomba del separador de combustible diésel: P-073

La bomba de alimentación del separador de aceite combustible diésel siempre deber ser accionada eléctricamente, es decir, no montado en el separador, ya que el volumen de suministro se puede igualar mejor para el rendimiento requerido. Se dimensiona para un caudal mayor que el del separador, por lo que será una bomba de caudal de 1000 l/h y la presión será de 4 bares.

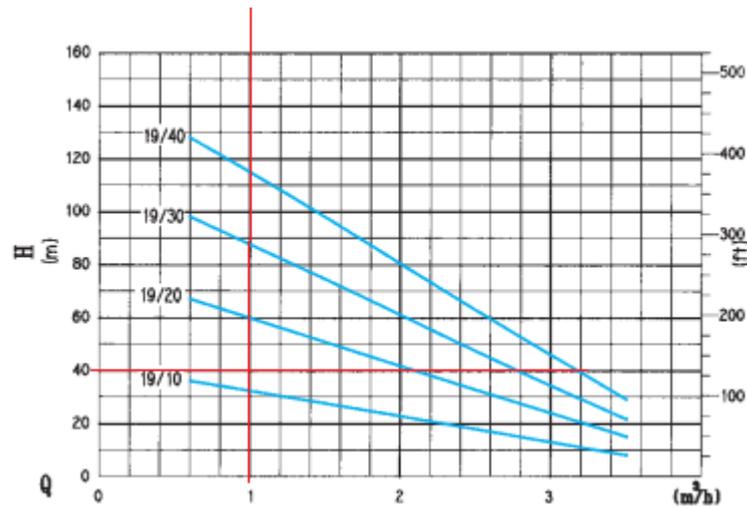


Ilustración 37 "Gráfica bomba de combustible"

Se escoge la bomba de la marca Azcue, modelo MA-80 19/20, de 50 Hz y 1450 rpm, de una potencia de 1.1 kW.

Ref. MO11-36-073

Tipo/Type MO	Motor/Moteur			Da	Dd	DN	h1	h2	h3	v	m	p	w	l	lb	ls	Kg		
	KW	HP	Tipo																
11/10	0.5	0.75	80-a	1"G	1"G	25	222	112	90	63	20	200	76	336	235	571	31		
12/10	0.75	1	80-b												235	571	32		
11/20	0.5	0.75	80-a												235	605	33		
	0.75	1	80-b												235	605	34		
12/20	1.1	1.5	90-S												270	640	37		
	0.75	1	80-b												235	639	36		
11/30	1.1	1.5	90-S										144	404	270	674	39		
	12/30	1.5	2												90-L	270	674	42	
11/40		1.1	1.5												90-S	178	438	270	708
	12/40	1.5	2												90-L			270	708
19/10		0.75	1												80-b	80	355	235	590
	1.1	1.5	90-S												270			625	41
19/20	1.1	1.5	90-S	200	116	391	270	661	44										
	1.5	2	90-L				270	661	47										
	2.2	3	100-L				250	310	701	52									
19/30	1.5	2	90-L	1 1/4"G	1 1/4"G	32	257	132	105	61	20	200	152	427	270	697	50		
	2.2	3	100-L												310	737	55		
	3	4	100-L												250	310	737	58	
19/40	2.2	3	100-L	188	463	310	773	58											
	3	4	100-L			310	773	61											
	4	5.5	112-M			310	773	64											

Ilustración 38 "Características bomba de combustible"

6.3.1.5 Tanque de servicio diario: T-003

Las sociedades de clasificación estipulan que estos tanques deben contener un volumen total suficiente para almacenar el combustible necesario para la operación del buque a plena carga durante 8 horas y que debe haber al menos dos tanques. Uno de ellos suministrará MDO purificado a los motores, mientras que el otro recibe el MDO purificado y permite que las partículas restantes se depositen en el fondo. El tanque de servicio debe estar provisto de un espacio de lodos con una inclinación del fondo de 10° y con válvulas de drenaje en el punto más bajo para drenar el lodo sedimentado. Se debe instalar tuberías de rebose desde el

Cuaderno 10. Planta propulsora
Gastón Manuel Mercado Roasso

tanque de servicio de combustible diésel T-003 al tanque de almacenamiento de combustible diésel T-015. La capacidad mínima requerida de MDO en cada tanque es de:

$V_{MDOST} = (Q_p \times t_o \times M_s) / (3 \times 1000 \text{ l/m}^3)$		
Required min. volume of one diesel fuel oil service tank	V_{MDOST}	m^3
Required supply pump capacity, MDO 45 °C	Q_p	l/h
See paragraph P-008/Diesel fuel oil supply pump, Page 325		
Operating time	t_o	h
$t_o = 8 \text{ h}$		

Margin for sludge	M_s	-
$M_s = 1.05$		

Ilustración 39 "Volumen mínimo tanque de servicio diario"

$Q_p = P_1 \times br_{ISO1} \times f_3$		
Required supply pump capacity with MDO 45 °C	Q_p	l/h
Engine output power at 100 % MCR	P_1	kW
Specific engine fuel oil consumption (ISO) at 100 % MCR	br_{ISO1}	g/kWh
Factor for pump dimensioning: $f_3 = 3.75 \times 10^{-3}$	f_3	l/g

Ilustración 40 "Cálculo caudal requerido bomba de combustible"

Por lo que:

$$V_{MDOST} = \frac{(4800 \times 178.05 \times 3.75 \times 10^{-3}) \times 8 \times 1.05}{3 \times 1000} = 8.97 \text{ m}^3$$

El tanque de uso diario de MDO tiene un volumen mínimo de 8.97 m³.

Sin embargo, el consumo diario del buque será de 15.88 m³, calculado previamente en el apartado de la autonomía.

$$\text{Consumo diario} = 9.33 + 6.55 = 15.88 \text{ m}^3$$

6.3.2 Sistema de suministro de MDO

6.3.2.1 Filtro de aspiración: STR-010

Filtro instalado en el lado de succión de la bomba de suministro. El filtro es de malla con un espacio de 0.5 mm.

6.3.2.2 Bomba de suministro de combustible: P-008

El caudal de la bomba se ha determinado anteriormente, obteniendo un valor 3.2 m³/h. Y la presión viene dado por:

Fuel		
	Min.	Max.
Fuel temperature engine inlet - MGO (DMA, DFA) and MDO (DMB, DFB) according ISO 8217 - HFO according ISO 8217	-10 °C ¹⁾ -	45 °C ²⁾ 150 °C ²⁾
Fuel viscosity engine inlet - MGO (DMA, DFA) and MDO (DMB, DFB) according ISO 8217 - HFO according ISO 8217, recommended viscosity	1.9 cSt 12.0 cSt	14.0 cSt 14.0 cSt
Fuel pressure engine inlet	9.0 bar	12.0 bar
Fuel pressure engine inlet in case of black out (to start one engine to idle; start main fuel supply system before adding load)	5 bar	-
Differential pressure (engine inlet/engine outlet)	5 bar	-
Maximum pressure variation at engine inlet	-	±1.5 bar
HFO supply system + Minimum required pressure rise of free-standing HFO supply pump (plant) + Minimum required pressure rise of free-standing HFO circulating pump (booster pumps, plant) + Minimum required absolute design pressure free-standing HFO circulating pump (booster pumps, plant)	8.0 bar 10.0 bar 14.0 bar	- - -
MDO/MGO supply system + Minimum required pressure rise of free-standing MDO/MGO supply pump (plant)	14.0 bar	-
Fuel temperature within HFO day tank (preheating)	75 °C	90 °C ³⁾
¹⁾ Maximum viscosity not to be exceeded. "Pour point" and "Cold filter plugging point" have to be observed. ²⁾ Not allowed to fall below minimum viscosity. ³⁾ If flash point is below 100 °C, then the limit is: 10 degree distance to the flash point.		

Table 101: Fuel

Ilustración 41 "Presión bomba de suministro de combustible"

Por lo que, para un caudal de 3.2 m³/h y una presión de 14 bar, se procede a la elección de la bomba:

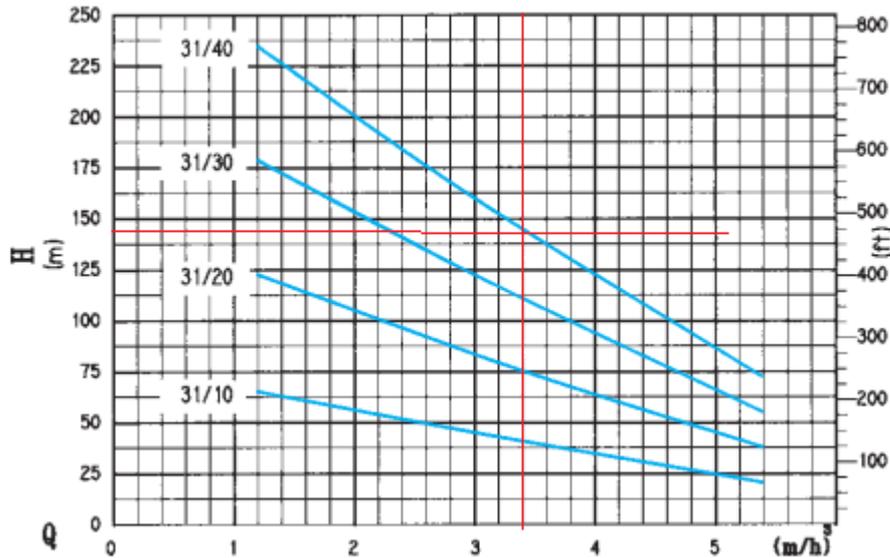


Ilustración 42 "Gráfica bomba de suministro de combustible"

Bomba de la marca Azcue, modelo BR/BR 31/40, con las siguientes características:

Tipo/Type	Motor/Moteur			DNa	DNd	h1	h2	h3	b1	b2	b3	s	x	w	a	l1	l2	l3	Kg				
	KW	HP	Tipo																				
19/10*	0.37	0.5	71-b	25	25	245	140	7	230	270	300	18	130	122	125	600	380			610	37		
	0.5	0.7	80-a																	650	40		
0.75	1	80-b	650																	40			
1.1	1.5	90-S	690																	44			
1.5	2	90-L	690																	47			
2.2	3	100-L	720																	50			
19/20*	1.1	1.5	90-S			25	25	265	160	7	270	320	350	18	130	158	120	700	490			720	52
	1.5	2	90-L																			760	57
2.2	3	100-L	760																			55	
1.1	1.5	90-S	760																			53	
1.5	2	90-L	760																			55	
2.2	3	100-L	760																			55	
19/30*	1.1	1.5	90-S	32	32			264	152	7	230	270	300	18	125	144	130	600	380			670	45
	1.5	2	90-L																			670	52
2.2	3	100-L	710																			52	
1.1	1.5	90-S	710																			54	
1.5	2	90-L	710																			54	
2.2	3	100-L	750																			54	
19/40*	1.1	1.5	90-S			32	32	284	172	7	270	320	350	18	125	184	125	700	490			750	60
	1.5	2	90-L																			790	66
2.2	3	100-L	790																			66	
4	5.5	112-M	810																			73	
2.2	3	100-L	830																			75	
4	5.5	112-M	850																			80	
31, 36/40	5.5	7.5	132-S	32	32			284	172	7	270	320	350	18	125	224	170	800	500			950	95
	4	5.5	112-M																			850	80
5.5	7.5	132-S	950																			95	

Ilustración 43 "Características bomba de suministro de combustible"

La potencia es de 4 kW, 60 Hz a 1750 rpm. Esta bomba llevará incorporada un convertidor de frecuencia de 60 Hz a 50 Hz

6.3.2.3 Válvula de seguridad del sistema de combustible: PSV-010

La presión de diseño del sistema es PN16. El sistema debe estar protegido por niveles de presión más altos mediante las correspondientes válvulas de seguridad. Por el rango de alta presión de las bombas de suministro de aceite combustible diésel, es recomendable instalar una válvula de seguridad independiente de la bomba.

6.3.2.4 Filtro automático de combustible, circuito de alimentación: FIL-003

El filtro automático debe ser de un tipo que no provoque una caída de presión significativa durante la secuencia de lavado. Como referencia, un valor aceptable para la disminución de

presión durante el lavado es de 0.3-0.5 bar. El tamaño de la malla del filtro debe ser de 0.01 mm para inyección "common rail" y 0.034 para inyección convencional.

Debe estar equipado con un indicador de presión diferencial e interruptores. El criterio de diseño se basa en la carga de la superficie del filtro, especificada por el fabricante del filtro. Debe existir un by-pass en paralelo que será abierto cuando el filtro esté en mantenimiento.

6.3.2.5 Filtro de combustible: FIL-013

Este filtro permite mantener el motor en funcionamiento cuando un elemento del filtro se obstruye.

6.3.2.6 Válvula de retención de presión: PCV-008

Esta válvula es requerida para mantener la presión del sistema a un cierto valor contra el tanque de servicio de combustible diésel.

6.3.2.7 Tanque de monitoreo de fugas de combustible: FSH-001

El tanque de monitoreo recoge todas las fugas producidas por desbordamientos de la bomba de alta presión, fugas de inyectores de combustible, escape de combustible de las tuberías de control de explosión... Para calentar la fuga, el combustible suministrado al motor pasa a través del tanque. El tanque está equipado con un interruptor de nivel, que activa una alarma en caso de un flujo de fuga mayor de lo normal.

6.3.2.8 Tanque colector de fugas: T-006

El aceite de fuga de los tubos de inyección, el aceite de lubricación de fuga y el aceite de suciedad de los filtros se recogen en el tanque de recogida de aceite de fuga. El contenido de este tanque se descarga en el tanque de lodos.

6.3.2.9 Tanque de fugas limpias de combustible: T-071

El aceite combustible con fugas limpias que escapa del sistema de aceite combustible de los motores se puede conducir a un tanque recolector de aceite combustible con fugas limpias adicionales. Desde allí, se puede vaciar en el tanque de almacenamiento de combustible diésel. El aceite con fugas limpias se puede usar de nuevo después de pasar por el separador.

6.3.2.10 Medidor del flujo de combustible: FQ-003

En caso de que se requiera una medición del consumo de combustible, se debe instalar un medidor de flujo de combustible aguas abajo del filtro automático de combustible. Se debe proporcionar una línea de derivación en caso de fallo o de mantenimiento del medidor de flujo.

6.3.3 Diagrama combustible

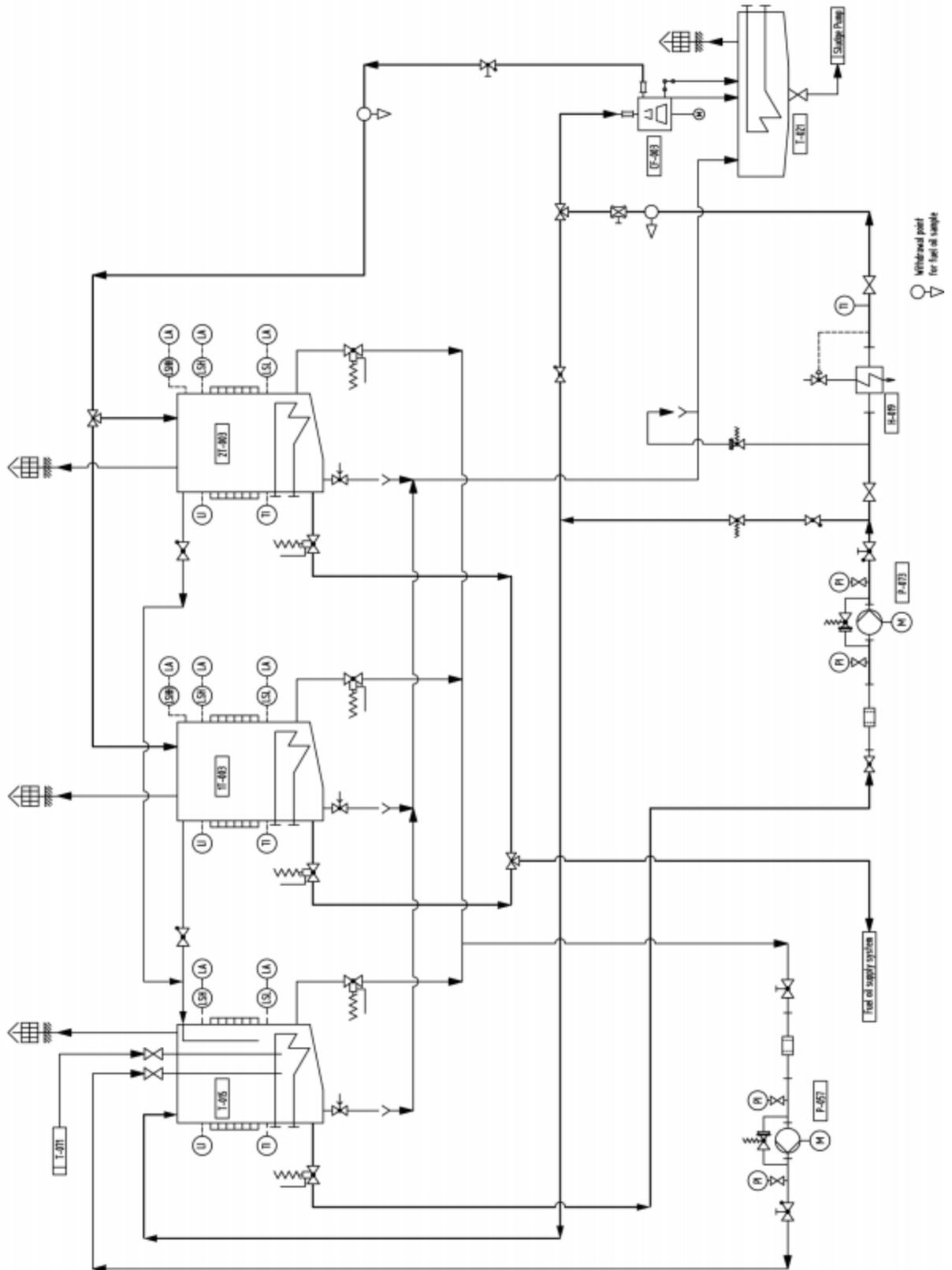


Figure 128: MDO treatment system diagram

Ilustración 44 "Diagrama orientativo del sistema de combustible"

6.4 Sistema de aire de arranque

El sistema de aire de arranque está compuesto por la botella de aire comprimido y por el compresor. Se basa en el uso de aire comprimido para arrancar el motor, así como para realizar paradas de emergencia. Para el dimensionamiento se seguirán las indicaciones del fabricante.

6.4.1 Botellas de aire comprimido

El volumen de aire necesario viene dado por la siguiente expresión:

$$V = V_{st} \times f_{Drive} \times (Z_{st} + Z_{Safe}) / (P_{max} - P_{min})$$

V_{st} [litre]	Air consumption per nominal start ¹⁾
f_{Drive}	Factor for drive type (1.0 = diesel-mechanic, 1.5 = alternator drive)
Z_{st}	Number of starts required by the classification society
Z_{Safe}	Number of starts as safety margin
V_{Jet} [litre]	Assist air consumption per jet assist ¹⁾
Z_{Jet}	Number of jet assist procedures ²⁾
t_{Jet} [sec]	Duration of jet assist procedures
V_{st}	Air consumption per Slow Turn litre ¹⁾
Z_{st}	Number of Slow Turn manoeuvres
p_{max} [bar]	Maximum starting air pressure (normally 30 bar)
p_{min} [bar]	Minimum starting air pressure (10 bar)

Ilustración 45 "Cálculo volumen botellas de arranque"

Donde:

- V_{st} viene dado por:

No. of cylinders, config.		6L	7L	8L	9L	10L	12V	14V	16V	18V	20V
Control air consumption	Nm ³ /h ¹⁾	5.0									
Air consumption per start ²⁾³⁾	Nm ³ h ⁻¹⁾	2.3	2.5	2.7	2.9	3.0	4.5	4.8	5.0	5.2	5.4
Air consumption per slow turn manoeuvre ²⁾³⁾⁴⁾	Nm ³ h ⁻¹⁾	5.0	5.5	5.5	6.0	6.0	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0
Reference moment of inertia for stated air consumption figures ²⁾	kgm ²	1,416	1,503	1,566	1,629	1,692	2,033	2,175	2,317	2,459	2,639
Air consumption per jet assist activation ⁵⁾	Nm ³ h ⁻¹⁾	1.4	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	5.3	5.3	5.3	5.3
Air consumption jet assist in case of emergency loading	Nm ³ h ⁻¹⁾	To be considered: 20 jet assist activations during loading from 0 % to 100 % load									

Ilustración 46 "Consumo de aire por arranque"

Toma un valor de 2.7 N*m³

- F_{drive}: toma un valor de 1, motor diésel.
- Z_{st} : son el valor de número mínimo de arrancadas consecutivas y de seguridad que deben realizarse. Este valor es requerido por la sociedad de clasificación, DNV, el cual establece en la parte 4, capítulo 6, sección 5, lo siguiente:

Table 2 Capacity for number of starts

<i>Duty of engines</i>	<i>Number of starts</i>
Propulsion engines, reversible	12 starts
Propulsion engines, non-reversible	6 starts
Engines for driving electric generators and emergency generators, and engines for other purposes	3 starts each

Ilustración 47 "Número de arranques"

Por lo que, se toma un valor de 6, ya que es motor no reversible.

- Z_{safe}: el número de arranques de seguridad se tomará 6, como margen
- P_{max} y P_{min} son las presiones máximas y mínimas para el arranque, y son 30 y 10 bares, respectivamente.

Con esto obtenemos el volumen de aire necesario:

$$V = \frac{2.7 * 1 * (6 + 6)}{30 - 10} = 1.62 \text{ m}^3$$

Se instalarán 2 botellas de aire comprimido de 0.85 m³, 850 litros.

6.4.2 Compresor

Se instalarán como mínimo 2 compresores, de los cuales, al menos uno debe accionarse independientemente del motor principal y debe suministrar al menos el 50 % de la capacidad total requerida. La capacidad total de los compresores de aire tiene que ser capaz de cargar los receptores desde la presión atmosférica hasta la presión máxima de 30 bar en 1 hora. La capacidad total viene dada por:

The compressor capacities are calculated as follows:

$$P = \frac{V \times 30}{1000}$$

P [Nm ³ /h]	Total volumetric delivery capacity of the compressors
V [litres]	Total volume of the starting air receivers at 30 bar service pressure

Ilustración 48 "Cálculo compresor"

Cuaderno 10. Planta propulsora
Gastón Manuel Mercado Roasso

Siendo V el volumen total del aire de arranque, 1.7 m³, ya que se han seleccionado 2 botellas de 0.85 m³. Por lo que:

$$P = \frac{1.7 * 30}{1000} = 51 \frac{m^3}{h}$$

Se procede a elección del compresor:

Type	Final pressure barg	Stages	Cylinder	Speed rpm	Charging capacity m ³ /h	Power consumption kW	Heat dissipation kJ/sec	Weight kg	Length mm	Width mm	Height mm
WP15L Marine	30	2	2	1,180	12.0	2.7	3	135	855	600	630
				1,480	15.0	3.4	4				
				1,780	18.0	4.1	5				
WP22L Marine	30	2	2	1,180	17.0	3.5	4	135	855	600	630
				1,480	21.0	4.4	5				
				1,780	25.0	5.4	6				
WP33L Marine	30	2	2	1,180	23.0	5.1	6	145	890	600	630
				1,480	30.0	6.5	7				
				1,780	35.0	7.8	9				
WP45L Marine	30	2	2	1,180	40.0	7.6	9	318	1,214	742	820
				1,480	50.0	9.6	11				
				1,780	60.0	11.5	13				
WP65L Marine	30	2	2	1,180	53.0	10.2	12	328	1,254	742	820
				1,480	67.0	12.8	15				
				1,780	80.0	15.4	18				

Ilustración 49 "Elección del compresor"

El compresor seleccionado es del fabricante Sauer, modelo Mistral WP 65L Marine con una capacidad de 53 m³/h, 30 bar y un consumo de 10.2 kW. Se llevarán 2 unidades.

7 VENTILACIÓN DE CÁMARA DE MÁQUINAS

La ventilación es el suministro de aire a un espacio cerrado para satisfacer las necesidades de sus ocupantes y/o los requisitos del equipamiento. Se seguirá la Norma UNE-EN-ISO 8861 “Ventilación de cámara de máquinas de barcos de motor diésel”. La ventilación ha de ser suficiente para proporcionar unas condiciones de trabajo confortables, así como de proporcionar el aire adecuado para la combustión de los motores y evitar sobrecalentamiento. La norma exige unas condiciones de diseño:

- La temperatura ambiente del aire exterior debe tomarse como 35°C.
- El incremento de temperatura del aire desde la aspiración hasta el paso del aire desde la sala de máquinas a la entrada del guardacalor debe ser como máximo de 12.5 °C.
- La capacidad de la planta de ventilación debería ser de tales características que proporcionara unas condiciones de trabajo confortables de la sala de máquinas, que suministrara el aire necesario para la combustión del motor diésel y de la caldera, y que evitara el sobrecalentamiento de los aparatos sensibles al calor.

Para cumplir con estos requisitos el aire debería distribuirse a todas las partes de la cámara de máquinas de tal manera que se eviten bolsas de aire caliente estancado. Se debería tener especial cuidado con las áreas de gran emisión de calor y con todas las áreas de trabajo habitual, en las que debería suministrarse aire exterior razonablemente fresco y limpio a través de dispositivos de admisión orientables.

Al establecer la distribución de aire, se debe tener en cuenta todas las condiciones normales de funcionamiento de maquinaria, tanto en puerto como en la mar.

El primer cálculo para realizar es el del flujo de aire total, Q , que debe tener la sala de máquinas, tomando el valor más alto entre:

$$Q = q_c + q_h$$

$$Q = 1.5 * q_c$$

7.1 Flujo de aire para la combustión

El flujo de aire para la combustión viene dado por la siguiente expresión:

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

Siendo:

- q_{dp} : flujo de aire para la combustión del motor principal diésel. Viene dado por la guía proyecto:

Cuaderno 10. Planta propulsora
Gastón Manuel Mercado Roasso

No. of cylinders, configuration		6L	8L	9L	10L
Engine output	kW	3,600	4,800	5,400	6,000
Speed	rpm	750			
Temperature basis					
HT cooling water engine outlet ¹⁾	°C	90			
LT cooling water air cooler inlet		38 °C (Setpoint 32 °C) ²⁾			
Lube oil engine inlet		65			
Nozzle cooling water engine inlet		60			
Air data					
Temperature of charge air at charge air cooler outlet	°C	60	60	60	60
Air flow rate ³⁾	m ³ /h	20,207	26,943	30,311	33,678
	t/h	22.1	29.5	33.2	36.9
Charge air pressure (absolute)	bar abs	5.15			
Air required to dissipate heat radiation (engine) (t ₂ - t ₁ = 10 °C)	m ³ /h	22,686	30,248	34,029	37,810
Exhaust gas data⁴⁾					
Volume flow (temperature turbocharger outlet) ⁵⁾	m ³ /h	41,167	53,724	60,438	68,380
Mass flow	t/h	22.8	30.4	34.2	38.0
Temperature at turbine outlet	°C	353			
Heat content (190 °C)	kW	1,131	1,384	1,557	1,861
Permissible exhaust gas back pressure after turbocharger (maximum)	mbar	50			

Ilustración 50 "Flujo de aire para combustión motor principal"

Por lo que:

$$q_{dp} = 53724 \frac{m^3}{h}$$

- q_{dg} : flujo de aire para la combustión del motor diésel de los generadores. Viene dado por:

$$q_{dg} = \frac{P_{dg} * m_{ad}}{\rho}$$

donde

P_{dg} es la potencia normalizada de servicio del/los motor(es) diesel del/los generador(es) a la máxima potencia de salida, en kilowatios;

m_{ad} es el aire necesario para la combustión del motor diesel, en kilogramos por kilowatio segundo;

NOTA – Cuando no haya datos específicos disponibles para m_{ad} , se pueden utilizar los siguientes valores para el cálculo:

$m_{ad} = 0,0023 \text{ kg/(kW}\cdot\text{s)}$ para motores de 2 tiempos,

$0,0020 \text{ kg/(kW}\cdot\text{s)}$ para motores de 4 tiempos.

$\rho = 1,13 \text{ kg/m}^3$ (es decir, la densidad del aire, a + 35°C, 70 RH y 101,3 kPa).

Ilustración 51 "Elementos para la obtención de flujo de aire de los generadores auxiliares"

$$q_{dg} = \frac{1278 * 3 * 0.002}{1.13} = 6.79 \frac{m^3}{s}$$

- q_b : flujo de aire para la combustión en las calderas. Como el buque proyecto no llevará caldera, este valor es cero.

7.2 Flujo de aire para evacuación de la emisión de calor

La cantidad de flujo de aire necesaria para la evacuación de calor, q_h , viene dado por:

$$q_h = \frac{\phi_{dp} + \phi_{dg} + \phi_b + \phi_p + \phi_g + \phi_{el} + \phi_{cp} + \phi_t + \phi_o}{\rho \times c \times \Delta T} - 0,4(q_{dp} + q_{dg}) - q_b$$

donde

ϕ_{dp} es la emisión de calor del motor(es) diesel de propulsión principal, en kilowatios (véase apartado 6.1);

ϕ_{dg} es la emisión de calor del motor(es) diesel del generador, en kilowatios (véase 6.2);

ϕ_b es la emisión de calor de las calderas y los calentadores de fluido térmico, en kilowatios (véase 6.3);

ϕ_p es la emisión de calor de las tuberías de vapor y condensación, en kilowatios (véase 6.4);

ϕ_g es la emisión de calor del generador(es) eléctrico refrigerado por aire, en kilowatios (véase 6.5);

ϕ_{el} es la emisión de calor de las instalaciones eléctricas, en kilowatios (véase 6.6);

Cuaderno 10. Planta propulsora
Gastón Manuel Mercado Roasso

- ϕ_{ep} es la emisión de calor de las tuberías de escape incluidas las calderas alimentadas por llama de gas (véase 6.7);
- ϕ_t es la emisión de calor de los tanques de calefacción, en kilowatios (véase 6.8);
- ϕ_o es la emisión de calor de otros componentes, en kilowatios (véase 6.9);
- q_{dp} es el flujo de aire para combustión del motor diesel de propulsión principal, en metros cúbicos por segundo (véase 5.2.2);
- q_{dg} es el flujo de aire para combustión del motor diesel del generador en metros cúbicos por segundo (véase 5.2.3);
- q_b es el flujo de aire para combustión de la caldera, en metros cúbicos por segundo (véase 5.2.4);
- $\rho = 1,13 \text{ kg/m}^3$ (es decir la densidad de aire, a +35°C, 70 RH y 101,3 kPa);
- $c = 1,01 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ (la capacidad de calor específico del aire);
- $\Delta T = 2,5 \text{ K}$ (el aumento de la temperatura del aire en la sala de máquinas es decir, la diferencia entre la temperatura de entrada y la de salida medida en las condiciones de diseño. La temperatura de salida debe medirse a la salida de la sala de máquinas al guardacalor o chimenea sin instalaciones sensibles al calor).

Ilustración 52 "Flujo de aire para la evacuación de la emisión de calor"

- ϕ_{dp} : este valor se toma de la guía proyecto

No. of cylinders, configuration		6L	8L	9L	10L
Engine output	kW	3,600	4,800	5,400	6,000
Speed	rpm	750			
Heat to be dissipated¹⁾					
Charge air:	kW				
Charge air cooler (H1 stage)		1,091	1,436	1,643	1,783
Charge air cooler (LT stage)		557	761	828	965
Lube oil cooler ²⁾		455	607	682	759
Jacket cooling		341	455	511	569
Compressor wheel cooling		13	18	20	22
Nozzle cooling		14	19	21	24
Heat radiation engine (based on 55 °C engine room temperature)		71	94	106	118
Flow rates³⁾					
HT circuit (jacket cooling + charge air cooler HT)	m ³ /h	42	56	63	70
LT circuit (lube oil cooler + charge air cooler LT)		66	88	99	110
Lube oil including flushing oil amount of attached lube oil automatic filter		105	124	133.5	143
LT cooling water turbocharger compressor wheel		1.4			
Nozzle cooling water		1.0	1.4	1.6	1.8

Ilustración 53 "Motor de radiación de calor"

$$\phi_{dp} = 94 \text{ kW}$$

$$\phi_{dg} = P_{dg} * \left(\frac{\Delta h_d}{100}\right)$$

Teniendo en cuenta la gráfica, la potencia de los generadores:

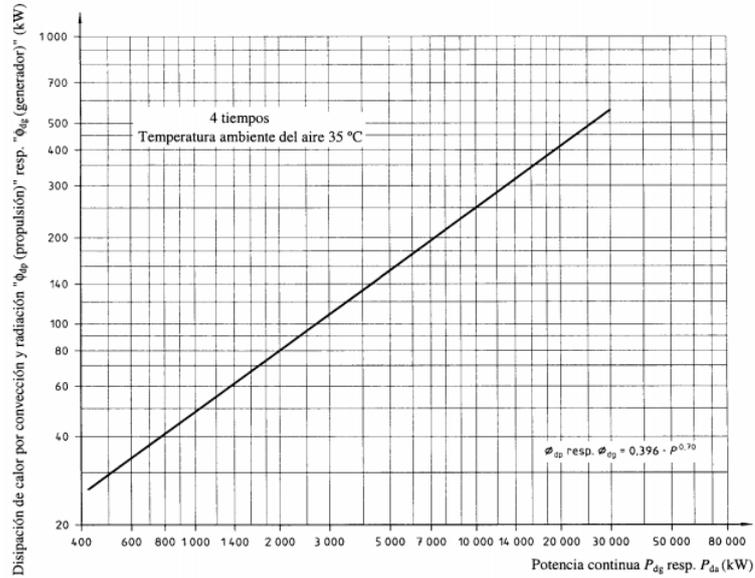


Ilustración 54 "Gráfica obtención disipación de calor generador auxiliar"

$$\phi_{dg} = (1278 * 2) * \left(\frac{138\%}{100}\right) = 35.27 \text{ kW}$$

$$\phi_p = m_{sc} * \left(\frac{\Delta h_p}{100}\right)$$

m_{sc} es el consumo total de vapor, en kilowatios (1 kW ~ 1,6 kg/h de vapor);

Δh_p es la pérdida de calor de las tuberías de vapor y condensación, en porcentaje del consumo de vapor en kilowatios.

NOTA – Cuando no haya datos específicos disponibles, se puede utilizar $\Delta h_p = 0,2\%$ para el cálculo.

Ilustración 55 "Cálculo emisión calor tuberías"

$$\phi_p = 213 * \left(\frac{0.2}{100}\right) = 0.426 \text{ kW}$$

$$\phi_g = P_g * \left(1 - \frac{\eta}{100}\right)$$

$$\phi_g = (1278 * 2) * \left(1 - \frac{96.5}{100}\right) = 89.46 \text{ kW}$$

- $\phi_{et} = 0.2 * \phi_g$

$$\phi_{et} = 0.2 * 168 = 33.6 \text{ kW}$$

- ϕ_{ep}

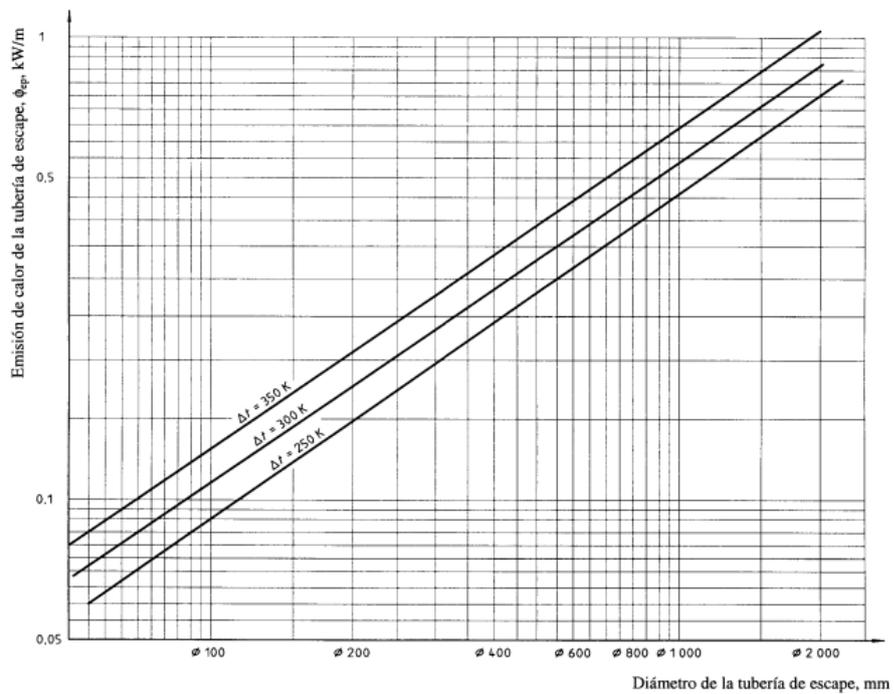


Ilustración 56 "Gráfica emisión de calor de tuberías de escape"

$$\phi_{ep} = 0.45 \text{ kW}$$

- $\phi_o = 5\%$

Por lo que, tomando como valores $c=1.01 \text{ kJ/Kg}^{\circ}\text{k}$ y $\Delta T=12.5$

$$q_h = \frac{94 + 35.27 + 0.426 + 89.46 + 33.6 + 0.45}{1.13 * 1.01 * 12.5} - 0.4 \left[\left(\frac{53724}{3600} \right) + \left(\frac{24444}{3600} \right) \right]$$

$$q_h = 9.073 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 21.69 + 9.073 = 30.763 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 1.5 * 21.69 = 32.54 \frac{m^3}{s}$$

Con lo que, el flujo de aire total, Q, será de 32.54 m³/s = 117126 m³/h, por lo que se escogerá unos ventiladores adecuados para cubrir esta demanda.

Se han seleccionado 2 ventiladores para colocar en la cámara de máquinas de 68500 m³/h de flujo de aire cada uno, de 11 kW de potencia. Son del fabricante Airotech Industrial Development, modelo A-AXITUB SOLID 4-10000T 34-6.

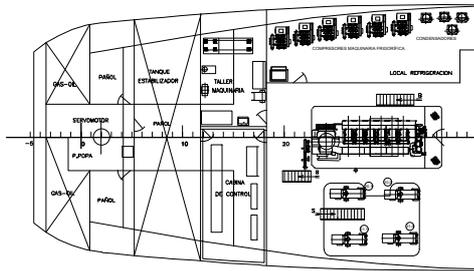
El aire que hay que extraer de la cámara de máquinas es $q_h = 9.073 \frac{m^3}{s} = 32662.8 \frac{m^3}{h}$

Se han seleccionado 2 extractores del fabricante Airotech Industrial Development, modelo A-AXITUB SOLID 4-560T45-6 de 17000 m³/h con una potencia de 1.5 kW cada uno.

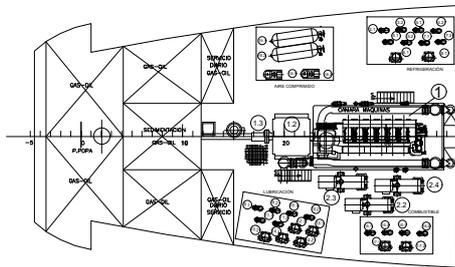
En el anexo I se adjuntan todas las características de los ventiladores y extractores.

8 LISTA DE EQUIPOS

9 DISPOSICIÓN DE CÁMARA DE MÁQUINAS



CTA_PRINC



DOBLE FONDO

NÚMERO	EQUIPO
1	Motor principal
1.2	Reductora
1.3	Alternador de cola
2	Grupo generador
3	Bomba agua salada
4	Bomba agua dulce HT
5	Bomba agua dulce LT
6	Enfriador principal
7	Bomba precalentador
8	Precalentador
9	Bomba lubricación
10	Bomba prelubricación
11	Bomba trasiego aceite
12	Precalentador aceite
13	Separador aceite
14	Enfriador aceite
15	Bomba sumunistro MDO
16	Separador MDO
17	Bombas separador MDO
18	Compresor de aire
19	Botellas aire arranque
20	Ventilador CCMM
21	Extractor CCMM

	ATUNERO CONGELADOR 2000 m3	
	DISPOSICIÓN CÁMARA DE MÁQUINAS	
	GASTÓN MANUEL MERCADO ROASSO	

10 ANEXO I: CATÁLOGO VENTILADORES



A-AXITUB SOLID FANS

AIROTECH INDUSTRIAL DEVELOPMENT

A-AXITUB SOLID

Long cased axial flow fan

Long cased axial flow fan with thermoplastic impellers variable pitch angle. Up to five different solutions for the same diameter, rotation speed and number of blades. This allows to select the most suitable fan whether airflow, pressure, consumption, sound level, size, or price is requested. Adjustable to any voltage and rotation speed.



CHARACTERISTICS

- Up to 4 Kw IP 65 motors, class F electrical isolation with thermal protector (Klixon); > 4Kw: IP 55.
- Permanently lubricated ball bearings.
- Cylindrical long casing made of steel with epoxy painting finish.
- Aluminium frame.
- Working temperature from -30°C to 70°C.
- Air direction: motor impeller.
- OPTIONS: Different frequencies and tensions under order. Casing available in stainless steel or hot-dip galvanised.

APPLICATION

Air extraction through ducts in industry applications, shopping centres, workshops halls, co-generation plants.

230V 50Hz (I~) 2.800 r.p.m. (n: min-1) Ø 315 - 450 m.m.

Model	Ø mm	Airflow m³/h	Intensity Amp.	Power Kw	OPTIONAL ACCESSORIES					
					R	RP	CA	JN	SL/SLN	SB
A-AXITUB SOLID 2-315M 30-8	315	3.000	4,20	0,55	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-315M 40-8	315	4.000	6,40	0,75	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-315M 45-8	315	4.500	8,00	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-355M 24-8	355	3.500	4,20	0,55	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-355M 30-8	355	4.700	6,40	0,75	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-355M 40-8	355	6.600	8,00	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-355M 45-8	355	7.800	15,40	2,2	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-400M 24-8	400	5.400	8,00	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-400M 34-8	400	9.200	11,63	1,50	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-400M 40-8	400	10.400	15,40	2,20	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-450M 24-8	450	7.600	8,00	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-450M 34-8	450	12.300	15,40	2,20	•	•	•	•	•	•

400V 50Hz (III~) 2.800 r.p.m. (n: min-1) Ø 315 - 450 m.m.

Model	Ø mm	Airflow m³/h	Intensity Amp.	Power Kw	OPTIONAL ACCESSORIES					
					R	RP	CA	JN	SL/SLN	SB
A-AXITUB SOLID 2-315T 30-8	315	3.000	1,40	0,55	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-315T 40-8	315	4.000	1,98	0,75	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-315T 45-8	315	4.500	2,80	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-355T 24-8	355	3.500	1,40	0,55	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-355T 30-8	355	4.700	1,98	0,75	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-355T 40-8	355	6.600	2,80	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-355T 45-8	355	7.800	5,10	2,2	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-400T 24-8	400	5.400	2,80	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-400T 34-8	400	9.200	3,78	1,50	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-400T 40-8	400	10.400	5,10	2,20	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-400T 45-8	400	11.800	5,90	3,00	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-450T 24-8	450	7.600	2,80	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-450T 34-8	450	12.300	5,10	2,20	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-450T 40-8	450	14.200	5,90	3,00	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 2-450T 45-8	450	15.750	8,30	4,00	•	•	•	•	•	•

230V 50Hz (I~) 1.400 r.p.m. (n: min-1) Ø 315 - 500 m.m.

Model	Ø mm	Airflow m³/h	Intensity Amp.	Power Kw	OPTIONAL ACCESSORIES					
					R	RP	CA	JN	SL/SLN	SB
A-AXITUB SOLID 4-315M 34-8	315	1.925	1,10	0,09	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-315M 40-8	315	2.200	1,40	0,12	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-315M 45-8	315	2.475	1,80	0,18	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-355M 30-8	355	2.550	1,10	0,09	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-355M 34-8	355	3.060	1,40	0,12	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-355M 45-8	355	3.850	1,80	0,18	•	•	•	•	•	•

A-AXITUB SOLID 4-400M 24-8	400	3.000	1,40	0,12	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-400M 34-8	400	4.650	1,80	0,18	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-400M 40-8	400	5.200	2,10	0,25	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-400M 45-8	400	5.900	3,10	0,37	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-450M 24-8	450	4.000	1,80	0,18	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-450M 34-8	450	6.350	2,10	0,25	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-450M 40-8	450	7.300	3,10	0,37	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-450M 45-8	450	8.100	4,50	0,55	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-500M 24-8	500	5.600	2,10	0,25	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-500M 30-8	500	7.800	3,10	0,37	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-500M 34-8	500	9.150	4,50	0,55	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-500M 45-8	500	11.900	5,80	0,75	•	•	•	•	•	•

400V 50Hz (III-) 1.400 r.p.m. (n: min-1) Ø 315 - 1.250 m.m.

Model	Ø mm	Airflow m³/h	Intensity Amp.	Power Kw	OPTIONAL ACCESSORIES					
					R	RP	CA	JN	SL/SLN	SB
A-AXITUB SOLID 4-315T 34-8	315	1.925	0,42	0,09	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-315T 40-8	315	2.200	0,65	0,12	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-315T 45-8	315	2.475	0,80	0,18	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-355T 30-8	355	2.550	0,42	0,09	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-355T 34-8	355	3.060	0,65	0,12	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-355T 45-8	355	3.850	0,80	0,18	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-400T 24-8	400	3.000	0,65	0,12	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-400T 34-8	400	4.650	0,80	0,18	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-400T 40-8	400	5.200	1,10	0,25	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-400T 45-8	400	5.900	1,30	0,37	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-450T 24-8	450	4.000	0,80	0,18	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-450T 34-8	450	6.350	1,10	0,25	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-450T 40-8	450	7.300	1,30	0,37	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-450T 45-8	450	8.100	1,60	0,55	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-500T 24-8	500	5.600	1,10	0,25	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-500T 30-8	500	7.800	1,30	0,37	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-500T 34-8	500	9.150	1,60	0,55	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-500T 45-8	500	11.900	2,20	0,75	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-560T 30-6	560	13.000	2,20	0,75	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-560T 40-6	560	14.000	2,60	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-560T 45-6	560	17.000	3,65	1,50	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-630T 24-3	630	13.500	1,60	0,55	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-630T 30-3	630	16.000	2,20	0,75	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-630T 40-3	630	19.500	2,90	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-630T 45-3	630	21.000	3,65	1,50	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-630T 24-4	630	14.000	2,20	0,75	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-630T 34-4	630	19.000	2,90	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-630T 40-4	630	21.000	3,65	1,50	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-630T 45-4	630	23.000	5,05	2,20	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-630T 24-6	630	14.500	2,20	0,75	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-630T 30-6	630	17.000	2,90	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-630T 34-6	630	19.500	3,65	1,50	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-630T 40-6	630	22.000	5,05	2,20	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-630T 45-6	630	24.500	6,60	3,00	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-710T 24-3	710	20.000	2,20	0,75	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-710T 30-3	710	22.500	2,90	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-710T 34-3	710	25.000	3,65	1,50	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-710T 45-3	710	30.000	5,05	2,20	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-710T 24-4	710	21.000	2,90	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-710T 30-4	710	24.000	3,65	1,50	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-710T 34-4	710	27.000	5,05	2,20	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-710T 45-4	710	32.500	6,60	3,00	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-710T 24-6	710	20.000	3,65	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-710T 30-6	710	24.500	5,05	1,50	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-710T 40-6	710	32.000	6,60	3,00	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-710T 45-6	710	35.000	9,40	4,00	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 24-3	800	21.500	2,90	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 30-3	800	24.000	3,65	1,50	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 34-3	800	28.000	5,05	2,20	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 40-3	800	31.000	6,60	3,00	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 45-3	800	34.500	9,40	4,00	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 24-4	800	22.500	2,90	1,10	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 30-4	800	26.000	3,65	1,50	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 34-4	800	30.000	5,05	2,20	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 40-4	800	34.000	6,60	3,00	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 45-4	800	38.000	9,40	4,00	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 24-6	800	32.500	3,65	2,20	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 30-6	800	27.000	5,05	3,00	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 34-6	800	32.000	6,60	4,00	•	•	•	•	•	•
A-AXITUB SOLID 4-800T 40-6	800	37.000	12,14	5,50	•	•	•	•	•	•

A-AXITUB SOLID 4-800T 45-6	800	42.000	16,90	7,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-800T 24-9	800	21.000	5,05	2,20	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-800T 30-9	800	26.000	6,60	3,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-800T 34-9	800	30.000	9,40	4,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-800T 40-9	800	37.100	12,14	5,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-800T 45-9	800	42.300	16,90	7,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-800T 24-12	800	18.572	6,60	3,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-800T 30-12	800	25.072	9,40	4,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-800T 34-12	800	30.600	12,14	5,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-800T 40-12	800	37.144	16,90	7,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-800T 45-12	800	42.716	22,60	11,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 24-3	900	31.700	5,05	2,20	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 30-3	900	39.000	6,60	3,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 34-3	900	44.300	9,40	4,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 40-3	900	51.600	12,14	5,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 45-3	900	56.800	16,90	7,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 24-4	900	32.500	5,05	2,20	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 30-4	900	40.700	6,60	3,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 40-4	900	54.900	12,14	5,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 45-4	900	61.200	16,90	7,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 24-6	900	33.100	6,60	3,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 30-6	900	41.600	9,40	4,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 34-6	900	48.000	12,14	5,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 40-6	900	58.700	16,90	7,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 45-6	900	66.300	22,60	11,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 24-9	900	34.200	9,40	4,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 30-9	900	38.600	12,14	5,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 34-9	900	41.400	16,90	7,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 40-9	900	61.800	22,60	11,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 45-9	900	63.500	31,00	15,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 24-12	900	26.400	12,14	5,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 30-12	900	35.698	16,90	7,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 40-12	900	52.800	22,60	11,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-900T 45-12	900	60.820	31,00	15,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 24-3	1.000	46.000	6,60	3,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 30-3	1.000	53.500	9,40	4,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 34-3	1.000	61.000	12,14	5,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 45-3	1.000	78.000	22,60	11,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 24-4	1.000	46.500	9,40	4,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 30-4	1.000	55.800	12,14	5,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 34-4	1.000	65.300	16,90	7,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 40-4	1.000	75.300	22,60	11,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 45-4	1.000	83.900	31,00	15,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 24-6	1.000	47.000	12,14	5,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 30-6	1.000	57.100	16,90	7,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 34-6	1.000	68.500	22,60	11,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 40-6	1.000	80.000	31,00	15,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 45-6	1.000	90.900	37,00	18,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 24-9	1.000	41.500	16,90	7,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 34-9	1.000	72.000	22,60	11,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 40-9	1.000	76.200	37,00	18,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 45-9	1.000	87.100	43,00	22,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 24-12	1.000	36.273	22,60	11,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 34-12	1.000	59.851	31,00	15,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 40-12	1.000	72.547	37,00	18,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1000T 45-12	1.000	83.429	43,00	22,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 24-3	1.250	87.000	22,60	11,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 30-3	1.250	105.000	31,00	15,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 34-3	1.250	118.600	37,00	18,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 40-3	1.250	138.000	58,00	30,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 45-3	1.250	152.000	75,00	37,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 24-4	1.250	88.000	22,60	11,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 30-4	1.250	109.000	37,00	18,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 34-4	1.250	127.500	43,00	22,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 40-4	1.250	147.000	58,00	30,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 45-4	1.250	163.900	85,00	45,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 24-6	1.250	90.000	31,00	15,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 30-6	1.250	115.600	43,00	22,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 34-6	1.250	133.700	58,00	30,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 40-6	1.250	157.600	85,00	45,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 45-6	1.250	177.600	104,00	55,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 24-9	1.250	88.800	37,00	18,50	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 34-9	1.250	131.600	58,00	30,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 40-9	1.250	159.000	85,00	45,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 45-9	1.250	178.700	134,00	75,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 24-12	1.250	88.000	43,00	22,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 30-12	1.250	104.000	58,00	30,00	*	*	*	*	*	*
A-AXITUB SOLID 4-1250T 34-12	1.250	130.000	75,00	37,00	*	*	*	*	*	*