



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO  
CURSO 2017/18**

---

*Buque PSV. Buque de suministro a plataformas de 5000  
TPM*

---

**Grado en Ingeniería Naval Oceánica**

**CUADERNO 10  
Definición de la planta propulsora y sus auxiliares**

**Sandra Allegue García**

**PROYECTO 18-02**

**GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

*CURSO 2.017-2018*

**PROYECTO NÚMERO 18-02**

**TIPO DE BUQUE:** Buque PSV (Platform Vessel Supply). Buque de suministro a plataformas.

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** DNV GL, SOLAS, MARPOL.

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** Carga líquida y seca a granel para suministro a plataformas, 5000 TPM.

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 13 nudos en condiciones de servicio al 85% de MCR y 15% de margen de mar. 6000 millas a la velocidad de servicio

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** Bombas para la carga y descarga de la carga líquida. Dos grúas.

**PROPULSIÓN:** Propulsión diésel-eléctrica. LNG para estancias en puerto

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** 35 personas.

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:** Sistema de posicionamiento dinámico con redundancia DP 3. FIFI

Ferrol, 2 Noviembre 2017

**ALUMNO/A: D<sup>a</sup> Sandra Allegue García**

# ÍNDICE

---

1	Introducción.....	4
2	Selección de la planta propulsora.....	5
2.1	Generadores principales .....	5
2.2	Generador de puerto .....	11
3	Servicio de combustible .....	13
3.1	Tanque de sedimentación.....	15
3.2	Tanque de uso diario .....	15
3.3	Bombas de trasiego .....	16
3.4	Bombas stand-by.....	18
3.5	Filtro de combustible.....	19
3.6	Válvula reguladora de presión.....	20
3.7	Enfriador del combustible.....	20
4	Servicio de lubricación.....	22
4.1	Separadora .....	23
4.2	Bombas de lubricación del motor.....	25
4.3	Ventilación del cárter del cigüeñal.....	26
5	Servicio de aire de arranque.....	28
6	Servicio de refrigeración.....	31
6.1	Bomba de etapa de alta temperatura (HT) .....	33
6.2	Bomba de etapa de baja temperatura (LT).....	35
6.3	Bomba de agua salada.....	36
7	Disposición esquemática de cámara de máquinas.....	37

## 1 INTRODUCCIÓN

---

En el presente cuaderno se realizará la definición de la planta propulsora, así como algunos sistemas principales:

- Servicio de combustible
- Servicio de lubricación
- Servicio de aire de arranque
- Servicio de refrigeración

Así como la disposición de la cámara de máquinas siguiendo lo prescrito por el fabricante.

Las dimensiones principales del buque base son:

$L_{pp} = 78,58 \text{ m}$
$Loa = 85,78 \text{ m}$
$B = 19,13 \text{ m}$
$T = 6,58 \text{ m}$
$D = 8,26 \text{ m}$
$BHP = 1985 \text{ kW}$
$\Delta = 7.742 \text{ t}$
$F_n = 0,241$
$C_b = 0,764$
$C_m = 0,989$
$C_p = 0,772$
$C_f = 0,925$
$Acubierta = 0,7 \cdot L_{pp} \cdot 0,9 \cdot B = 947 \text{ m}^2$

## 2 SELECCIÓN DE LA PLANTA PROPULSORA

### 2.1 GENERADORES PRINCIPALES

Para la selección de la planta propulsora vuelve a hacer el cálculo realizado en el Cuaderno 2 para hacer una hipótesis preliminar de la potencia que hay que instalar.

Este cálculo no es el mismo ya que en el Cuaderno 2 no se ha tenido en cuenta que el posicionamiento dinámico tienen redundancia DP 3, esto es que en caso de falla de algunos equipos generadores el buque pueda seguir operando con total normalidad. Para ello hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Necesidad de una separación física entre los motores generadores en un compartimento estanco e ignífugo, debiendo estar los componentes por duplicado en cada compartimento.
- Necesidad de 4 motores generadores para cumplir con el punto anterior.
- Dimensionamiento como si solo existieran dos motores generadores ya que si un compartimento queda inhabilitado los otros motores han de dar la suficiente energía como para continuar las operaciones normales del buque.
- Se supondrá una potencia instalada de 8000 kW ya que 3300 kW van dirigidos a la propulsión propiamente (2 propulsores de 1650 kW) y los otros 5000 kW irán dirigidos al resto de consumos.
- Los motores, en condiciones normales que ningún motor falle, irán los cuatro al 50 % de carga o se irán alternando 2 a 2.

Con estas consideraciones se obtiene:

$$HP = \frac{BP}{1,15} = \frac{5000}{1,15} \rightarrow HP = 4347 \text{ kW}$$

Por lo tanto:

$$DFG = \frac{5000 + 3000}{2} \rightarrow DFG = 4000 \text{ kW}$$

Con este valor se eligen cuatro Diesel generadores de Wärtsilä 12V26 con las siguientes características principales:

Diámetro interior del cilindro	260 mm
Carrera	320 mm
Cilindrada	17,0 litros por cilindro
Número de válvulas	2 de admisión y 2 de escape
Configuración de los cilindros	12 cilindros en V
Velocidad	1000 rpm
Velocidad del pistón	10,7 m/s

La presión media efectiva se calcula de la siguiente manera:

Cylinder configuration	Main engines		Generating sets			
	900 rpm	1000 rpm	900 rpm		1000 rpm	
	[kW]	[kW]	[KVA]	[kWe]	[KVA]	[kWe]
6L26	1950	2040	2352	1882	2461	1969
8L26	2600	2720	3136	2509	3281	2625
9L26	2925	3060	3528	2823	3691	2953
12V26	3900	4080	4704	3764	4922	3937
16V26	5200	5440	6273	5018	6562	5250

The generator outputs are calculated for an efficiency of 96.5% and a power factor of 0.8. The maximum fuel rack position is mechanically limited to 110% of the continuous output for engines driving generators.

The mean effective pressure  $p_e$  can be calculated as follows:

$$P_e = \frac{P \times c \times 1.2 \times 10^9}{D^2 \times L \times n \times \pi}$$

where:

- $P_e$  = mean effective pressure [bar]
- $P$  = output per cylinder [kW]
- $n$  = engine speed [rpm]
- $D$  = Cylinder diameter [mm]
- $L$  = length of piston stroke [mm]
- $c$  = operating cycle (4)

$$P_e = \frac{340 \text{ kW} \cdot 4 \cdot 1.2 \cdot 10^9}{(260 \text{ mm})^2 \cdot 320 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ rpm} \cdot \pi} \rightarrow P_e = 24 \text{ bar}$$

Las inclinaciones máximas en las que puede operar el motor son las siguientes:

- Transverse inclination, permanent (list) 15.0°
- Transverse inclination, momentary (roll) 22.5°
- Longitudinal inclination, permanent (trim) 5.0°
- Longitudinal inclination, momentary (pitch) 7.5°

El motor tiene las siguientes dimensiones:

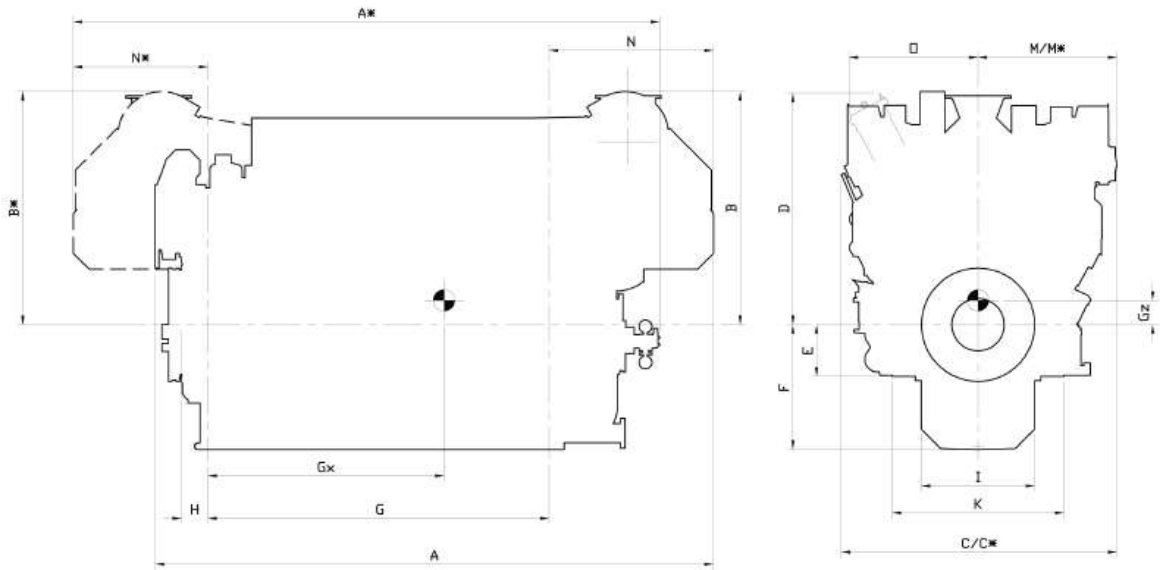


Fig 1-2 V-engines (DAAE034757b)

Engine	A*	A	B*	B	C*	C	D	E	F <sub>wet</sub>	F <sub>dry</sub>	G
W 12V26	5442	5314	2034	2034	2552	2602	2060	460	1110	800	3035
W 16V26	6223	6025	2151	2190	2489	2763	2060	460	1110	800	3875

Engine	H	I	K	M*	M	N*	N	O	Weight	
									dry sump	wet sump
W 12V26	235	1010	1530	1364	1238	1433	1698	1148	28.7	29.0
W 16V26	235	1010	1530	1248	1248	1363	1626	1160	36.1	37.9

Engine	Wet sump				Dry sump			
	Gx*	Gz*	Gx	Gz	Gx*	Gz*	Gx	Gz
W 12V26	1224	413	1811	413	1224	470	1811	470
W 16V26	1852	548	2258	548	1852	568	2258	568

\* Turbocharger at flywheel end.

All dimensions in mm. Weight in metric tons with liquids (wet sump) but without flywheel.

El resto de las características del motor son:

[Nombre del autor]  
CUADERNO 10

Wärtsilä 12V26		AE/DE IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2	ME IMO Tier 2	ME IMO Tier 2
Cylinder output	kW/cyl	325	340	325	340
Engine speed	rpm	900	1000	900	1000
Engine output	kW	3900	4080	3900	4080
Mean effective pressure	MPa	2.55	2.4	2.55	2.4
<b>Combustion air system (Note 1)</b>					
Flow of air at 100% load	kg/s	7.5	8.1	8.0	8.2
Temperature at turbocharger intake, max.	°C	45	45	45	45
Air temperature after air cooler, nom. (TE601)	°C	50	50	50	50
<b>Exhaust gas system (Note 2)</b>					
Flow at 100% load	kg/s	7.7	8.3	8.4	8.4
Flow at 85% load	kg/s	6.6	7.3	7.2	7.2
Flow 75% load	kg/s	6.0	6.7	6.0	6.0
Flow 50% load	kg/s	5.2	5.9	3.6	4.8
Temp. after turbo, 100% load (TE517)	°C	329	312	306	312
Temp. after turbo, 85% load (TE517)	°C	326	304	311	313
Temp. after turbo, 75% load (TE517)	°C	337	311	326	327
Temp. after turbo, 50% load (TE517)	°C	271	252	327	322
Backpressure, max.	kPa	3.0	3.0	3.0	3.0
Exhaust gas pipe diameter, min	mm	700	700	700	700
Calculated exhaust diameter for 35 m/s	mm	688	705	706	710
<b>Heat balance (Note 3)</b>					
Jacket water	kW	660	708	636	708
Lubricating oil	kW	564	600	552	600
Charge air	kW	408	432	456	480
Radiation	kW	180	192	180	192



[Nombre del autor]  
CUADERNO 10

<b>Fuel system (Note 4)</b>					
Pressure before injection pumps (PT101)	kPa	700±50	700±50	700±50	700±50
Engine driven pump capacity at 12 cSt (MDF only)	m³/h	4.6	5.2	4.6	5.2
Fuel flow to engine (without engine driven pump), approx.	m³/h	3.2	3.4	3.2	3.4
HFO viscosity before engine	cSt	16...24	16...24	16...24	16...24
HFO temperature before engine, max. (TE 101)	°C	140	140	140	140
MDF viscosity, min	cSt	2.0	2.0	2.0	2.0
MDF temperature before engine, max. (TE 101)	°C	45	45	45	45
Fuel consumption at 100% load	g/kWh	187.3	191.1	188.2	191.1
Fuel consumption at 85% load	g/kWh	185.9	189.7	185.9	188.7
Fuel consumption at 75% load	g/kWh	189.7	193.0	188.2	191.1
Fuel consumption at 50% load	g/kWh	196.1	200.9	189.5	194.2
Clean leak fuel quantity, MDF at 100% load	kg/h	15.4	16.4	15.5	16.4
Clean leak fuel quantity, HFO at 100% load	kg/h	3.1	3.3	3.1	3.3
<b>Lubricating oil system (Note 5)</b>					

Wärtsilä 12V26		AE/DE IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2	ME IMO Tier 2	ME IMO Tier 2
Cylinder output	kW/cyl	325	340	325	340
Engine speed	rpm	900	1000	900	1000
Pressure before bearings, nom. (PT201)	kPa	450	450	450	450
Pressure after pump, max.	kPa	800	800	800	800
Suction ability including pipe loss, max.	kPa	30	30	30	30
Priming pressure, nom. (PT201)	kPa	80	80	80	80
Temperature before bearings, nom. (TE201)	°C	63	63	63	63
Temperature after engine, approx.	°C	79	79	79	79
Pump capacity (main), engine driven	m³/h	99	110	99	110
Pump capacity (main), stand-by	m³/h	83	83	83	83
Priming pump capacity, 50Hz/60Hz	m³/h	20 / 25	20 / 25	20 / 25	20 / 25
Oil volume, wet sump, nom.	m³	2.4	2.4	2.4	2.4
Oil volume in separate system oil tank, nom.	m³	5.3	5.5	5.3	5.5
Oil consumption (100% load), approx.	g/kWh	0.5	0.5	0.5	0.5
Crankcase ventilation flow rate	l/min/cyl	150	150	150	150
Crankcase backpressure (max)	kPa	0.3	0.3	0.3	0.3
Oil volume in speed governor	l	1.4 / 2.0	1.4 / 2.0	1.4 / 2.0	1.4 / 2.0

<b>High temperature cooling water system</b>					
Pressure at engine, after pump, nom. (PT401)	kPa	280 + static	350 + static	280 + static	350 + static
Pressure at engine, after pump, max. (PT401)	kPa	500	500	500	500
Temperature before cylinders, approx. (TE401)	°C	73	73	73	73
HT-water out from the engine, nom (TE402)	°C	93	93	93	93
Capacity of engine driven pump, nom.	m <sup>3</sup> /h	60	67	60	67
Pressure drop over engine	kPa	160	160	160	160
Pressure drop in external system, max	kPa	60	60	60	60
Pressure from expansion tank	kPa	70...150	70...150	70...150	70...150
Water volume in engine	m <sup>3</sup>	0.55	0.55	0.55	0.55
<b>Low temperature cooling water system</b>					
Pressure at engine, after pump, nom. (PT471)	kPa	280 + static	350 + static	280 + static	350 + static
Pressure at engine, after pump, max. (PT471)	kPa	500	500	500	500
Temperature before engine (TE471)	°C	25...38	25...38	25...38	25...38
Capacity of engine driven pump, nom.	m <sup>3</sup> /h	60	67	60	67
Pressure drop in external system, max.	kPa	60	60	60	60
Pressure drop over charge air cooler	kPa	50	50	50	50
Pressure drop over oil cooler	kPa	71	71	71	71
Pressure from expansion tank	kPa	70...150	70...150	70...150	70...150
<b>Starting air system (Note 6)</b>					
Pressure, nom.	kPa	3000	3000	3000	3000
Pressure, max.	kPa	3300	3300	3300	3300
Low pressure limit in air vessels	kPa	1800	1800	1800	1800

Wärtsilä 12V26		AE/DE IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2	ME IMO Tier 2	ME IMO Tier 2
Cylinder output	kW/cyl	325	340	325	340
Engine speed	rpm	900	1000	900	1000
Starting air consumption, start (successful)	Nm <sup>3</sup>	3.0	3.0	3.0	3.0

**Notes:**

- Note 1 At ISO 15550 conditions (ambient air temperature 25°C, LT-water 25°C) and 100% load. Flow tolerance 5%.
- Note 2 At ISO 15550 conditions (ambient air temperature 25°C, LT-water 25°C). Flow tolerance 5% and temperature tolerance 20°C.
- Note 3 The heat balances are made for ISO 15550 standard reference conditions. The heat balances include engine driven pumps (two water pumps and one lube oil pump).
- Note 4 According to ISO 15550, lower calorific value 42700 kJ/kg at constant engine speed, with engine driven pumps (two cooling water + one lubricating oil pumps). Tolerance 5%. The fuel consumption at 85 % load is guaranteed and the values at other loads are given for indication only.
- Note 5 Speed governor oil volume depends on the speed governor type.
- Note 6 At manual starting the consumption may be 2...3 times lower.

ME = Engine driving propeller, variable speed

AE = Auxiliary engine driving generator

DE = Diesel-Electric engine driving generator

Subject to revision without notice.

## 2.2 GENERADOR DE PUERTO

Para generar la energía en el puerto se usa, como se indica en las RPA, gas natural licuado. Se ha elegido el fabricante Mitsubishi y el motor auxiliar GS16R-MPTK con las siguientes características:

	GS8R-MPTK	GS8R2-MPTK	GS12R-MPTK	GS16R-MPTK	GS16R2-MPTK
Type	4-cycle, intercooled, Natural Gas engine	4-cycle, intercooled, Natural Gas engine	4-cycle, intercooled, Natural Gas engine	4-cycle, intercooled, Natural Gas engine	4-cycle, intercooled, Natural Gas engine
Aspiration	Turbocharged	Turbocharged	Turbocharged	Turbocharged	Turbocharged
Number of cylinders	6	6	12	16	16
Bore x stroke mm	170x180	170x220	170x180	170x180	170x220
Displacement Ltr	24,51	29,96	49,03	65,37	79,9
Combustion system	Prechamber, Spark Ignited	Prechamber, Spark Ignited	Prechamber, Spark Ignited	Prechamber, Spark Ignited	Prechamber, Spark Ignited
Fuel	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas
Dry weight (engine only) 50Hz / 60Hz kg	2400	2650	5375	6770	8105
Maximum output kWm 50Hz 1500rpm	368	On request	722	959	1563
60Hz 1200rpm	315	394	632	845	1250
Emission compliance	—	—	—	—	—
Dimensions (engine only) mm L x H x W	1797 x 1638 x 1088	1864 x 1718 x 1063	2371 x 2137 x 1820	2841 x 2137 x 1820	3423 x 2122 x 2164

Se supondrá el motor de 722 kW a 50 Hz y 1500 rpm, se tendrá que comprobar posteriormente el Cuaderno 11 cuando se realice el balance eléctrico.

### 3 SERVICIO DE COMBUSTIBLE

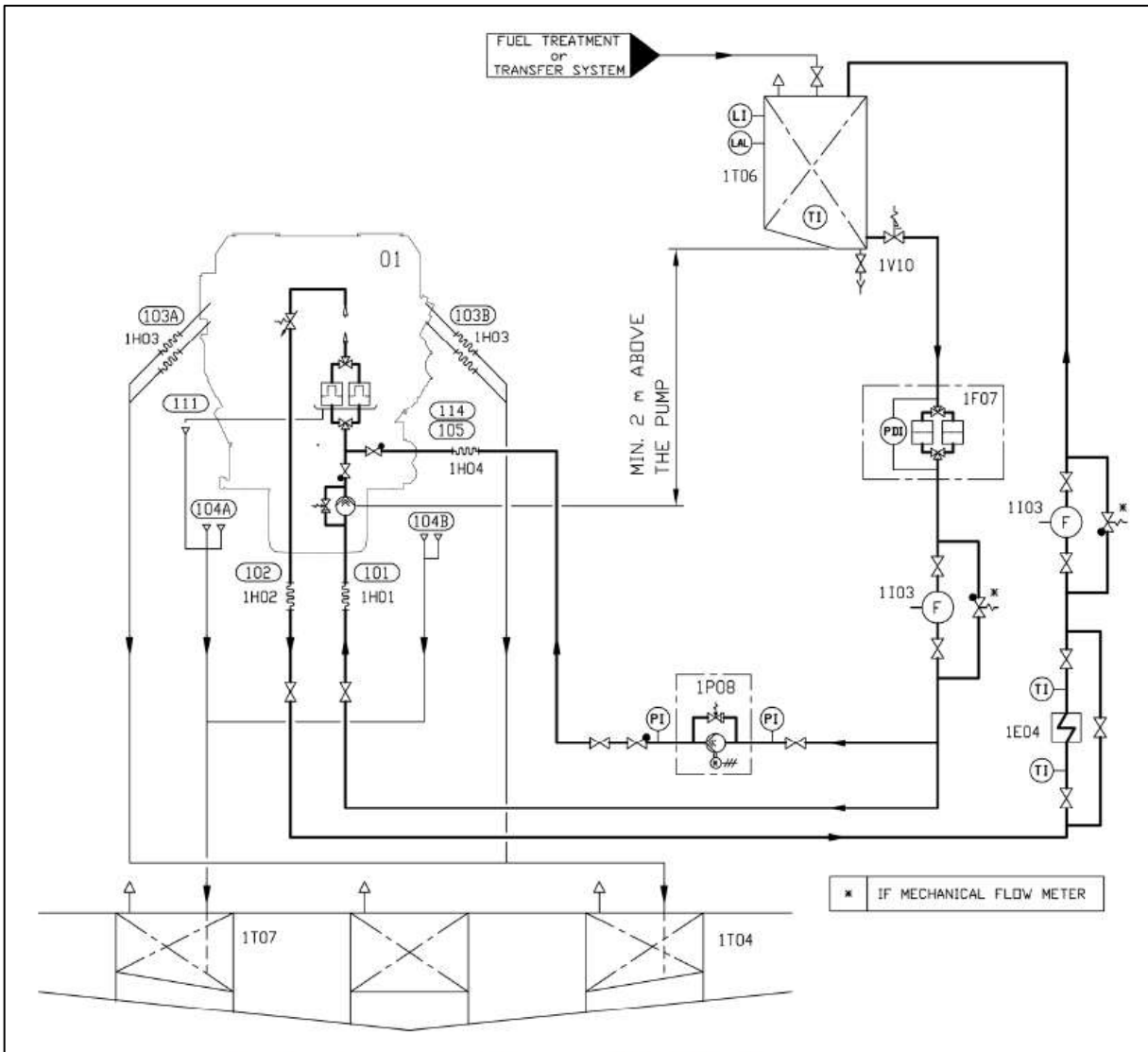
Los motores generadores utilizan Diesel Óil (MDO). Se usará la ISO-F-MDB ya que es el diseñado para MDO:

Property	Unit	ISO-F-DMA	ISO-F-DMZ	ISO-F-DMB	Test method ref.
Viscosity, before injection pumps, min. <sup>1)</sup>	cSt	2.0	2.0	2.0	
Viscosity, before injection pumps, max. <sup>1)</sup>	cSt	24	24	24	
Viscosity at 40°C, min.	cSt	2	3	2	
Viscosity at 40°C, max.	cSt	6	6	11	ISO 3104
Density at 15°C, max.	kg/m <sup>3</sup>	890	890	900	ISO 3675 or 12185
Cetane index, min.		40	40	35	ISO 4264
Sulphur, max.	% mass	1.5	1.5	2	ISO 8574 or 14596
Flash point, min.	°C	60	60	60	ISO 2719
Hydrogen sulfide, max. <sup>2)</sup>	mg/kg	2	2	2	IP 570
Acid number, max.	mg KOH/g	0.5	0.5	0.5	ASTM D664
Total sediment by hot filtration, max.	% mass	—	—	0.1 <sup>3)</sup>	ISO 10307-1
Oxidation stability, max.	g/m <sup>3</sup>	25	25	25 <sup>4)</sup>	ISO 12205
Carbon residue: micro method on the 10% volume distillation residue max.	% mass	0.30	0.30	—	ISO 10370
Carbon residue: micro method, max.	% mass	—	—	0.30	ISO 10370
Pour point (upper) , winter quality, max. <sup>5)</sup>	°C	-6	-6	0	ISO 3016

Property	Unit	ISO-F-DMA	ISO-F-DMZ	ISO-F-DMB	Test method ref.
Pour point (upper) , summer quality, max. <sup>5)</sup>	°C	0	0	6	ISO 3016
Appearance	—	Clear and bright <sup>6)</sup>		<sup>3)4) 7)</sup>	
Water, max.	% volume	—	—	0.3 <sup>3)</sup>	ISO 3733
Ash, max.	% mass	0.01	0.01	0.01	ISO 6245
Lubricity, corrected wear scar diameter (wsd 1.4) at 60°C , max. <sup>8)</sup>	µm	520	520	520 <sup>7)</sup>	ISO 12156-1

El esquema de flujo del combustible para un motor con los cilindros en V:





**Fig 6-6 Fuel feed system for V-engine (DAAF078370)**

System components			
01	Diesel engine Wärtsilä V26	1P08	Stand-by pump, MDF
1E04	Cooler (MDF)	1T04	Leak fuel tank, clean fuel
1F07	Suction strainer, MDF	1T06	Day tank, MDF
1H0X	Flexible pipe connection	1T07	Leak fuel tank, dirty fuel
1I03	Flow meter	1V10	Quick closing valve (fuel oil tank)

Pos	Pipe connections	Size
101	Fuel inlet	DN32
102	Fuel outlet	DN25
103	Leak fuel drain, clean fuel	4 * OD22
104	Leak fuel drain, dirty fuel	4 * OD22
105	Fuel stand-by connection	DN25
111	Drain fuel from fuel filter drip tray	OD22
114	Fuel from starting/day tank	DN25

### 3.1 TANQUE DE SEDIMENTACIÓN

Separate settling tanks for HFO and MDF are recommended.

To ensure sufficient time for settling (water and sediment separation), the capacity of each tank should be sufficient for min. 24 hours operation at maximum fuel consumption.

The tanks should be provided with internal baffles to achieve efficient settling and have a sloped bottom for proper draining.

The temperature in HFO settling tanks should be maintained between 50°C and 70°C, which requires heating coils and insulation of the tank. Usually MDF settling tanks do not need heating or insulation, but the tank temperature should be in the range 20...40°C.

El buque dispondrá de un tanque de sedimentación. Como se ve en la imagen anterior se dimensionará para 24 horas al máximo consumo, que en este caso el consumo máximo es al 50% de carga:

Fuel consumption at 100% load	g/kWh	187.3	191.1	188.2	191.1
Fuel consumption at 85% load	g/kWh	185.9	189.7	185.9	188.7
Fuel consumption at 75% load	g/kWh	189.7	193.0	188.2	191.1
Fuel consumption at 50% load	g/kWh	196.1	200.9	189.5	194.2

$$V_{DO} = \frac{200,9 \text{ g}}{\text{kWh} \cdot \text{h}} \cdot 4008 \text{ kW} \cdot 24 \text{ horas} \cdot 4 \text{ generadores} \cdot \frac{1 \text{ tn}}{10^6 \text{ g}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{0,89 \text{ t}} \cdot 0,5 = 43,43 \text{ m}^3$$

Este valor no coincide con el calculado en el Cuaderno 4 ya que se han elegido otros motores, se revisarán todos los Cuadernos para el Trabajo de Fin de Grado.

### 3.2 TANQUE DE USO DIARIO

Two day tanks for HFO are to be provided, each with a capacity sufficient for at least 8 hours operation at maximum fuel consumption.

A separate tank is to be provided for MDF. The capacity of the MDF tank should ensure fuel supply for 8 hours.

Settling tanks may not be used instead of day tanks.

The day tank must be designed so that accumulation of sludge near the suction pipe is prevented and the bottom of the tank should be sloped to ensure efficient draining.

HFO day tanks shall be provided with heating coils and insulation. It is recommended that the viscosity is kept below 140 cSt in the day tanks. Due to risk of wax formation, fuels with a viscosity lower than 50 cSt at 50°C must be kept at a temperature higher than the viscosity would require. Continuous separation is nowadays common practice, which means that the HFO day tank temperature normally remains above 90°C.

The temperature in the MDF day tank should be in the range 20...40°C.

The level of the tank must ensure a positive static pressure on the suction side of the fuel feed pumps. If black-out starting with MDF from a gravity tank is foreseen, then the tank must be located at least 15 m above the engine crankshaft.

El buque dispondrá de dos tanques de sedimentación. Como se ve en la imagen anterior se dimensionará para 8 horas al máximo consumo, que en este caso el consumo máximo es al 50% de carga:

Fuel consumption at 100% load	g/kWh	187.3	191.1	188.2	191.1
Fuel consumption at 85% load	g/kWh	185.9	189.7	185.9	188.7
Fuel consumption at 75% load	g/kWh	189.7	193.0	188.2	191.1
Fuel consumption at 50% load	g/kWh	196.1	200.9	189.5	194.2

$$V_{DO} = \frac{200,9 \text{ g}}{\text{kWh} \cdot \text{h}} \cdot 4008 \text{ kW} \cdot 8 \text{ horas} \cdot 4 \text{ generadores} \cdot \frac{1 \text{ tn}}{10^6 \text{ g}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{0,89 \text{ t}} \cdot 0,5 = \mathbf{14,47 \text{ m}^3}$$

Este valor es el de cada tanque y no coincide con el calculado en el Cuaderno 4 ya que se han elegido otros motores, se revisarán todos los Cuadernos para el Trabajo de Fin de Grado.

### 3.3 BOMBAS DE TRASIEGO

Para calcular el caudal de las bombas de trasiego se supondrá que el tanque de sedimentación tiene que llenarse en 2 horas y recordando que la capacidad del tanque de sedimentación es de 50 m<sup>3</sup>:

$$Q = \frac{50}{2} = 25 \text{ m}^3/\text{h}$$

The circulation pump maintains the pressure at the injection pumps and circulates the fuel in the system. It is recommended to use a screw pump as circulation pump. A suction strainer with a fineness of 0.5 mm should be installed before each pump. There must be a positive static pressure of about 30 kPa on the suction side of the pump.

**Design data:**

Capacity	6 x the total consumption of the connected engines
Design pressure	1.6 MPa (16 bar)
Max. total pressure (safety valve)	1.0 MPa (10 bar)
Nominal pressure	see chapter "Technical Data"
Design temperature	50°C
Viscosity for dimensioning of electric motor	90 cSt

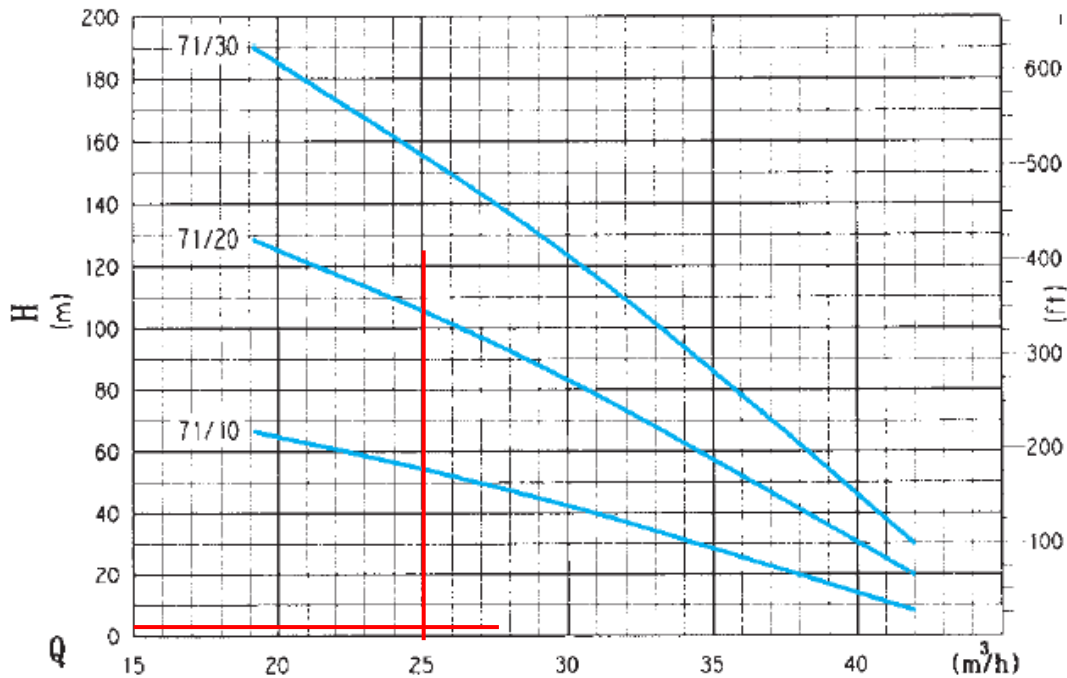
Para calcular la potencia de la bomba se supone un rendimiento de la bomba de 0,75. El diseño de la bomba tiene que ser de 30 kPa y la densidad del combustible es de 900 kg/m<sup>3</sup>:

$$P = \frac{Q(\text{m}^3/\text{h}) \cdot H(\text{m. c. a}) \cdot \rho(\text{kg}/\text{m}^3)}{75 \cdot 3600 \cdot \eta}$$

$$P = \frac{25 \cdot 3 \cdot 900}{3600 \cdot 0,75 \cdot 75} \rightarrow P = 0,5 \text{ kW}$$



Para estas bombas se selecciona al fabricante Azcue y la serie de bombas SP:



Como se observa se precisa el modelo 71/10 de 3 kW de potencia cada una:

71/10	3	4	100-I	360	210	7	310	360	390	18	210	190	205	1000	690	905	100
	4	5.5	112-M													935	107
	5.5	7.5	132-S													1010	118
	7.5	10	132-M													1010	128

Se dispondrán de 4 bombas de trasiego de combustible. La dos trasvasarán el combustible desde los tanques almacén hasta el tanque de sedimentación, así en caso de falla de una bomba se pondrá alimentar el tanque desde la otra. Las otras dos bombas restantes tranavarsar' en el combustible desde el tanque de sedimentación hasta los tanques de uso diario.

### 3.4 BOMBAS DE ALIMENTACIÓN

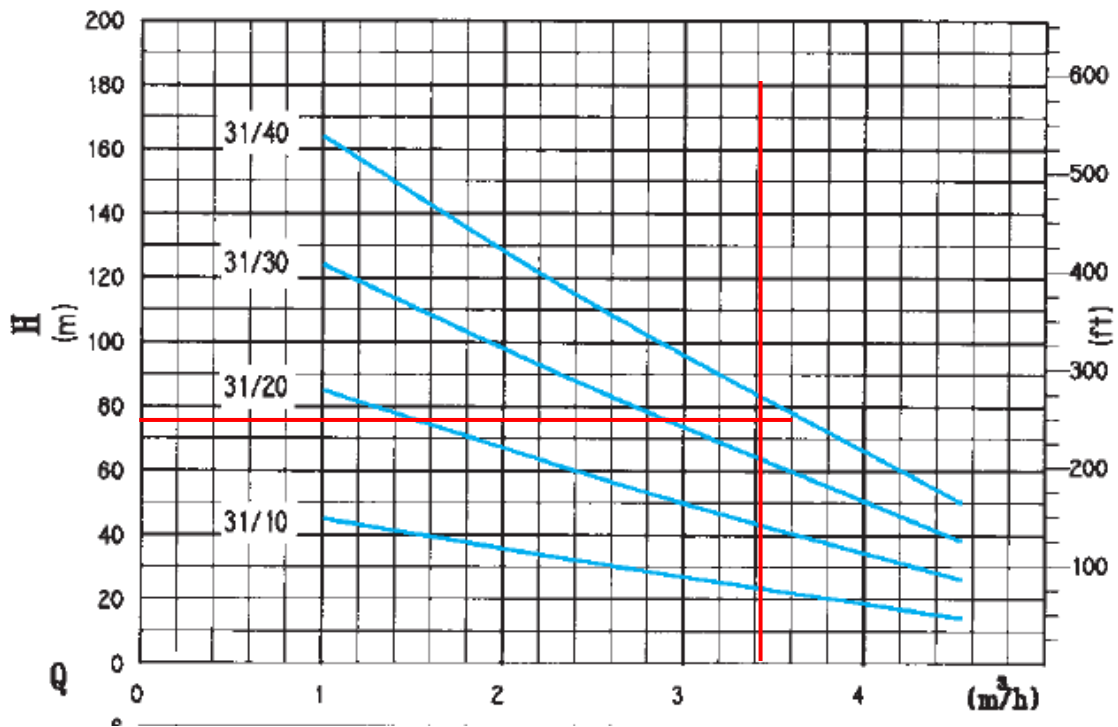
Para las bombas de alimentación:

<b>Fuel system (Note 4)</b>					
Pressure before injection pumps (PT101)	kPa	700±50	700±50	700±50	700±50
Engine driven pump capacity at 12 cSt (MDF only)	m³/h	4.6	5.2	4.6	5.2
Fuel flow to engine (without engine driven pump), approx.	m³/h	3.2	3.4	3.2	3.4

El fabricante exige para las bombas de alimentación un apresión de 750 kPa (75 m.c.a.) y un caudal de 3,4 m³/h. Siendo la densidad del combustible de 900 kg/m³:

$$P = \frac{3,4 \cdot 75 \cdot 900}{3600 \cdot 0,75 \cdot 75} \rightarrow P = 1,13 \text{ kW}$$

Para estas bombas se selecciona al fabricante Azcue y la serie de bombas SP:



Como se observa se precisa el model 31/40 de 2,2 kW de potencia cada una:

31/40 36/40	2.2	3	100-L	207	482	310	792	59
	3	4	100-L			310	792	62
	4	5.5	112-M			310	792	65

Existirán 8 bombas de alimentación, dos para cada motor, para hacer el sistema lo más redundante posible.

### 3.5 BOMBAS STAND-BY

Para las bombas stand-by:

The stand-by pump is required in case of a single main engine equipped with an engine driven pump. It is recommended to use a screw pump as stand-by pump. The pump should be placed so that a positive static pressure of about 30 kPa is obtained on the suction side of the pump.

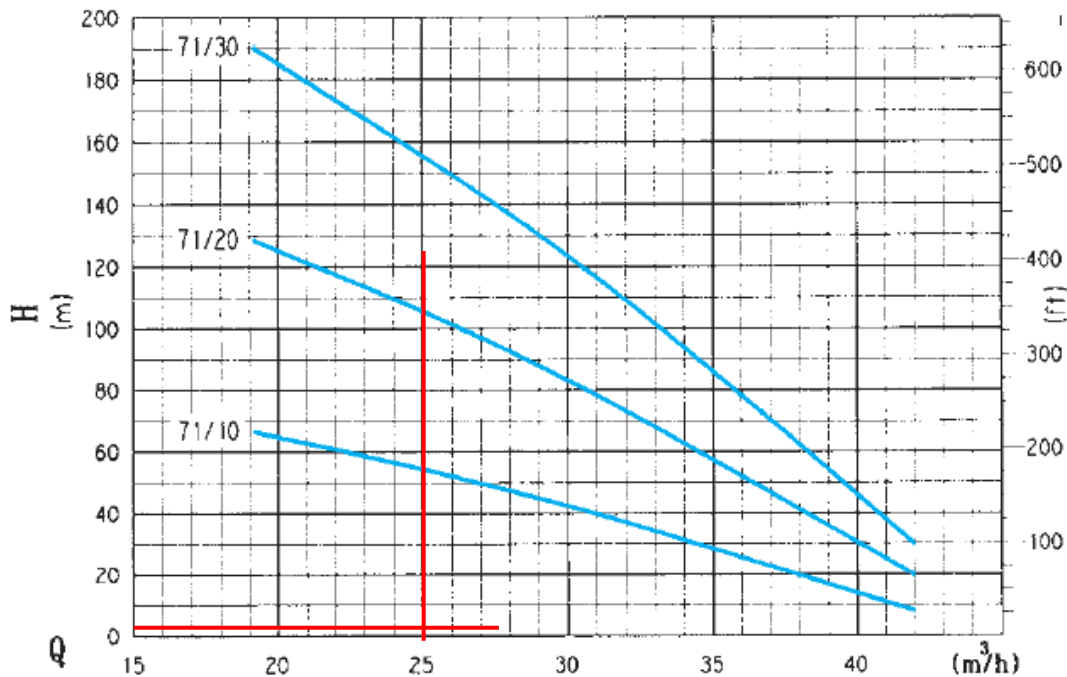
**Design data:**

Capacity	6 x the total consumption of the connected engine
Design pressure	1.6 MPa (16 bar)
Max. total pressure (safety valve)	1.2 MPa (12 bar)
Design temperature	50°C
Viscosity for dimensioning of electric motor	90 cSt

El fabricante exige bombas de 30 kPa y de un caudal de 25 m<sup>3</sup>/h. En el caso del buque proyecto se dispondrá de una bomba para cada Diesel generador, para tener un sistema más fiable en caso de fallos. Calculando la potencia a través de estos datos:

$$P = \frac{25 \cdot 3 \cdot 900}{3600 \cdot 0,75 \cdot 75} \rightarrow P = 0,5 \text{ kW}$$

Para estas bombas se selecciona al fabricante Azcue y la serie de bombas SP:



Como se observa se precisa el modelo 71/10 de 3 kW de potencia cada una:

71/10	3	4	100-L	360	210	7	310	360	390	18	210	190	205	1000	690	905	100
	4	5,5	112-M													935	107
	5,5	7,5	132-S													1010	118
	7,5	10	152-M													1010	128

### 3.6 FILTRO DE COMBUSTIBLE

El filtro de combustible se instalará lo más cerca del motor generador para así filtrar todas las impurezas que pueda tener el combustible por lo tanto se instalará un filtro de combustible en cada motor generador.

Tendrá las siguientes características:

<b>Design data:</b>	
Fuel viscosity	according to fuel specifications
Design temperature	50°C
Design flow	Larger than feed/circulation pump capacity
Design pressure	1.6 MPa (16 bar)
Fineness	37 µm (absolute mesh size)
Maximum permitted pressure drops at 14 cSt:	
- clean filter	20 kPa (0.2 bar)
- alarm	80 kPa (0.8 bar)

### 3.7 VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN

La válvula reguladora de presión se instala para incrementar la presión en la línea de retorno para que siempre llegue la presión necesaria al motor generador. Existirá una línea de retorno del motor al tanque de uso diario.

La válvula tendrá las siguientes características:

<b>Design data:</b>	
Capacity	Equal to circulation pump
Design temperature	50°C
Design pressure	1.6 MPa (16 bar)
Set point	0.4...0.7 MPa (4...7 bar)

### 3.8 ENFRIADOR DEL COMBUSTIBLE

Normalmente cuando se está inyectando combustible al motor el Diesel oíl sube de temperatura, no pudiendo dejar que la temperatura del combustible alcanza valores mayores de 45º por ello se necesita un enfriador.

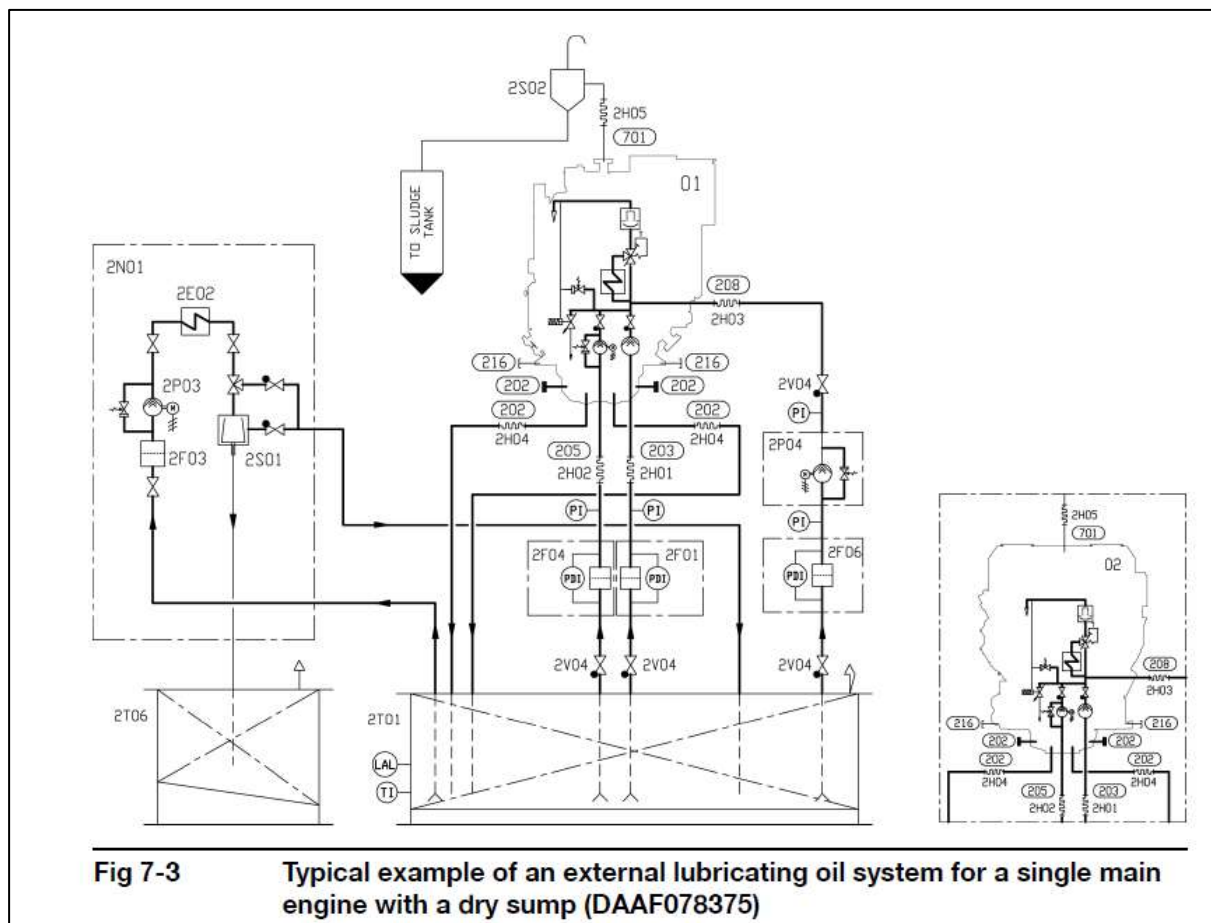
El enfriador se instalará en la línea de retorno después de los motores. Las características para la instalación son las siguientes:

<b>Design data:</b>	
Heat to be dissipated	2 kW/cyl
Max. pressure drop, fuel oil	80 kPa (0.8 bar)
Max. pressure drop, water	60 kPa (0.6 bar)
Margin (heat rate, fouling)	min. 15%
Design temperature MDF/HFO installation	50/150°C

## 4 SERVICIO DE LUBRICACIÓN

El fabricante exige que para el sistema de lubricación el aceite tenga un índice de viscosidad mínimo de 95.

El esquema de servicio de lubricación externa es el siguiente:



System components:			
01	Diesel engine Wärtsilä L26	2N01	Separator unit
02	Diesel engine Wärtsilä V26	2P03	Separator pump (separator unit)
2E02	Heater (separator unit)	2P04	Stand-by pump
2F01	Suction strainer (main LO pump)	2S01	Separator (separator unit)
2F03	Suction filter (separator unit)	2S02	Condensate trap
2F04	Suction strainer (pre lubricating oil pump)	2T01	System oil tank
2F06	Suction strainer (stand-by pump)	2T06	Sludge tank
2H0#	Flexible pipe connections	2V04	Non-return valve

Pos	Pipe connections	L26	V26
202	Lube oil outlet (from oil sump)	4 * DN150	
203	Lube oil to engine driven pump	DN200	DN150
205	Lube oil to priming pump	DN65	
208	Lube oil from el. driven pump	DN80	DN100
216	Lube oil drain	2 * plug G 3/4"	
701	Crankcase air vent	DN80	DN100

#### 4.1 BOMBAS DE LUBRICACIÓN

Para calcular las bombas se establece como referencia el flujo de aceite que aporta la separadora de aceite lubricante al sistema.

Cada motor ha de tener una separadora de aceite lubricante, en caso de las instalaciones de Diesel oíl solo serán necesarias hacer la separación de forma intermitente y en el caso de los motores que tengan los cilindros en V se tendrá dos separadoras, una para dos motores.

Se puede calcular el caudal de la siguiente manera:

The separators should preferably be of a type with controlled discharge of the bowl to minimize the lubricating oil losses.

The service throughput  $Q$  [l/h] of the separator can be estimated with the formula:

$$Q = \frac{1.35 \times P \times n}{t}$$

where:



Q = volume flow [l/h]

P = engine output [kW]

n = number of through-flows of tank volume per day: 5 for HFO, 4 for MDF

t = operating time [h/day]: 24 for continuous separator operation, 23 for normal dimensioning

$$Q = \frac{1,35 \cdot 4080 \cdot 4}{23} = 958,85 \text{ l/h} = 0,96 \text{ m}^3/\text{h}$$



*The CJC™ Marine Lube Oil Purifier  
HDU 27/54, 3 stay version*

	Dim.	CJC™ Marine Lube Oil Purifier	
		From	To
Pump flow/hour (std.)	ltr/gal	500/132	3000/793
Inverter operation		Down to approx. 30% of std. flow	
Power consumption, ave.	kW	0.18-0.80	
Pump type		screw spindle	
Pump inlet pressure, max	bar/psi	2.0 / 29	

Como no aparecen los datos para un flujo de 1000 litros se supondrá el máximo consumo de la separadora, 0,90 kW. Además, la bomba ya bien establecida por la separadora, cuya presión es de 2 bar.



## 4.2 BOMBAS STAND-BY

Siendo la presión y el flujo de las bombas de lubricación:

**Design data:**

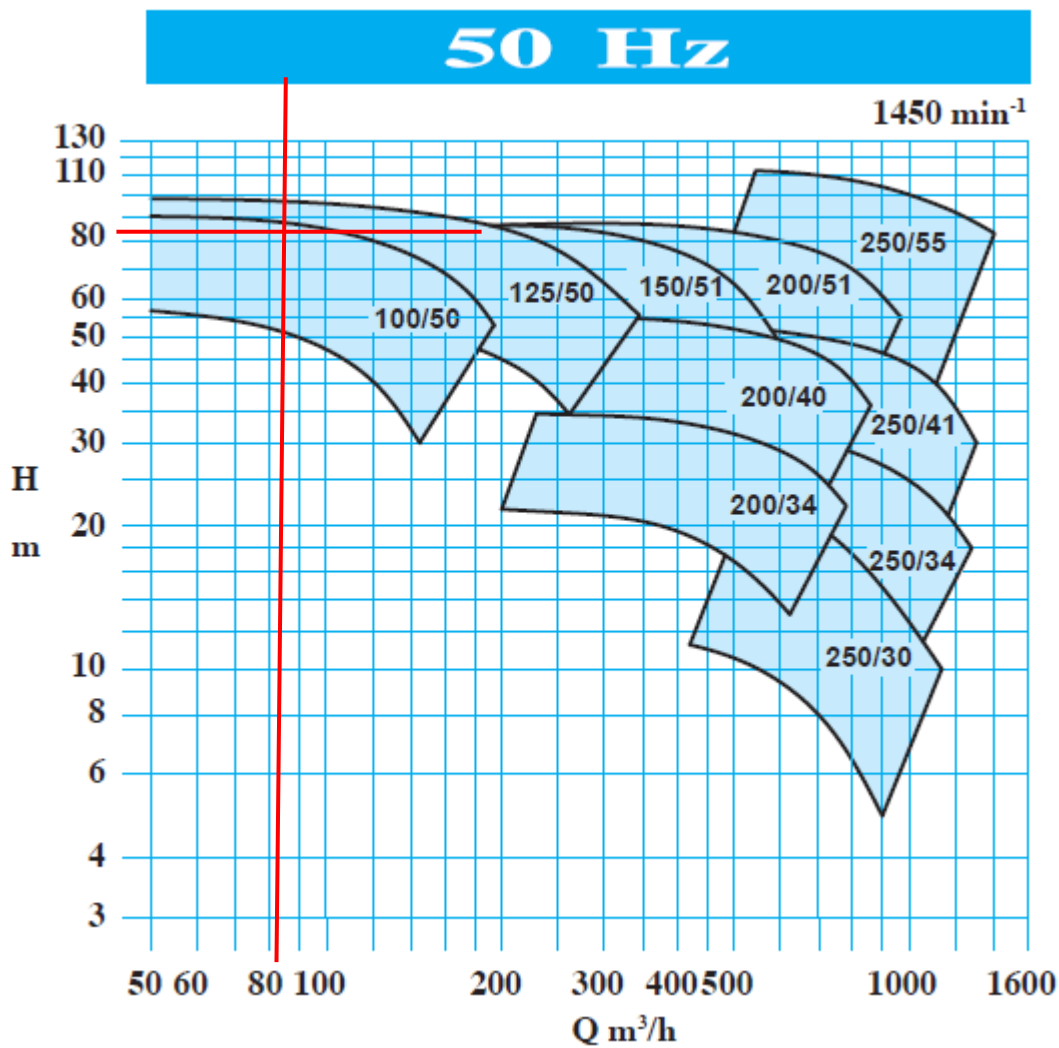
Capacity	see <i>Technical data</i>
Design pressure, max	0.8 MPa (8 bar)
Design temperature, max.	100°C
Lubricating oil viscosity	SAE 40
Viscosity for dimensioning the electric motor	500 mm <sup>2</sup> /s (cSt)

Pump capacity (main), engine driven	m <sup>3</sup> /h	99	110	99	110
Pump capacity (main), stand-by	m <sup>3</sup> /h	83	83	83	83
Priming pump capacity, 50Hz/60Hz	m <sup>3</sup> /h	20 / 25	20 / 25	20 / 25	20 / 25

Con estos datos y siendo la densidad del aceite de 930 kg/m<sup>3</sup> se puede calcular la potencia de las bombas de lubricación será de:

$$P = \frac{83 \cdot 81 \cdot 930}{3600 \cdot 0,75 \cdot 75} \rightarrow P = 31 \text{ kW}$$

Para estas bombas se selecciona al fabricante Azcue y la serie de bombas BOB:



Como se observa se precisa el modelo 100/50 de 37 kW de potencia cada una:

Tipo Type	Motor		DNa	DNd	a	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	s	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	g	i	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	kg
	KW	Type																
100-50	30	200L-4	125	100	235	410	400	810	10	20	580	540	540	350	1400	900	1640	560
	37	225S-4															1720	650
	45	225M-4															680	
	55	250M-4												400	1500	900	1835	835
	75	280SM-4													1600	1000	1940	1080

### 4.3 VENTILACIÓN DEL CÁRTER DEL CIGÜEÑAL

El propósito de esta ventilación es evacuar gases para mantener la presión en el cárter del cigüeñal dentro de unos límites aceptables. Cada motor ha de tener su propia ventilación conectada con el aire exterior.

Las características de la ventilación son:

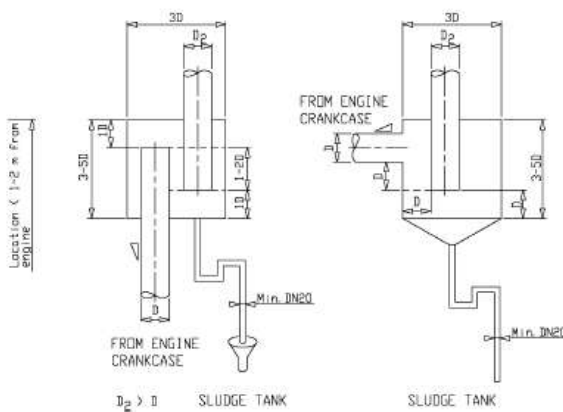
The diameter of the pipe shall be large enough to avoid excessive back pressure. Other possible equipment in the piping must also be designed and dimensioned to avoid excessive flow resistance.

A condensate trap must be fitted on the vent pipe near the engine.

The connection between engine and pipe is to be flexible.

**Design data:**

Flow	see <i>Technical data</i>
Backpressure, max.	see <i>Technical data</i>
Temperature	80°C



The size of the ventilation pipe (D2) out from the condensate trap should be bigger than the ventilation pipe (D) coming from the engine. For more information about ventilation pipe (D) size, see the external lubricating oil system drawing.

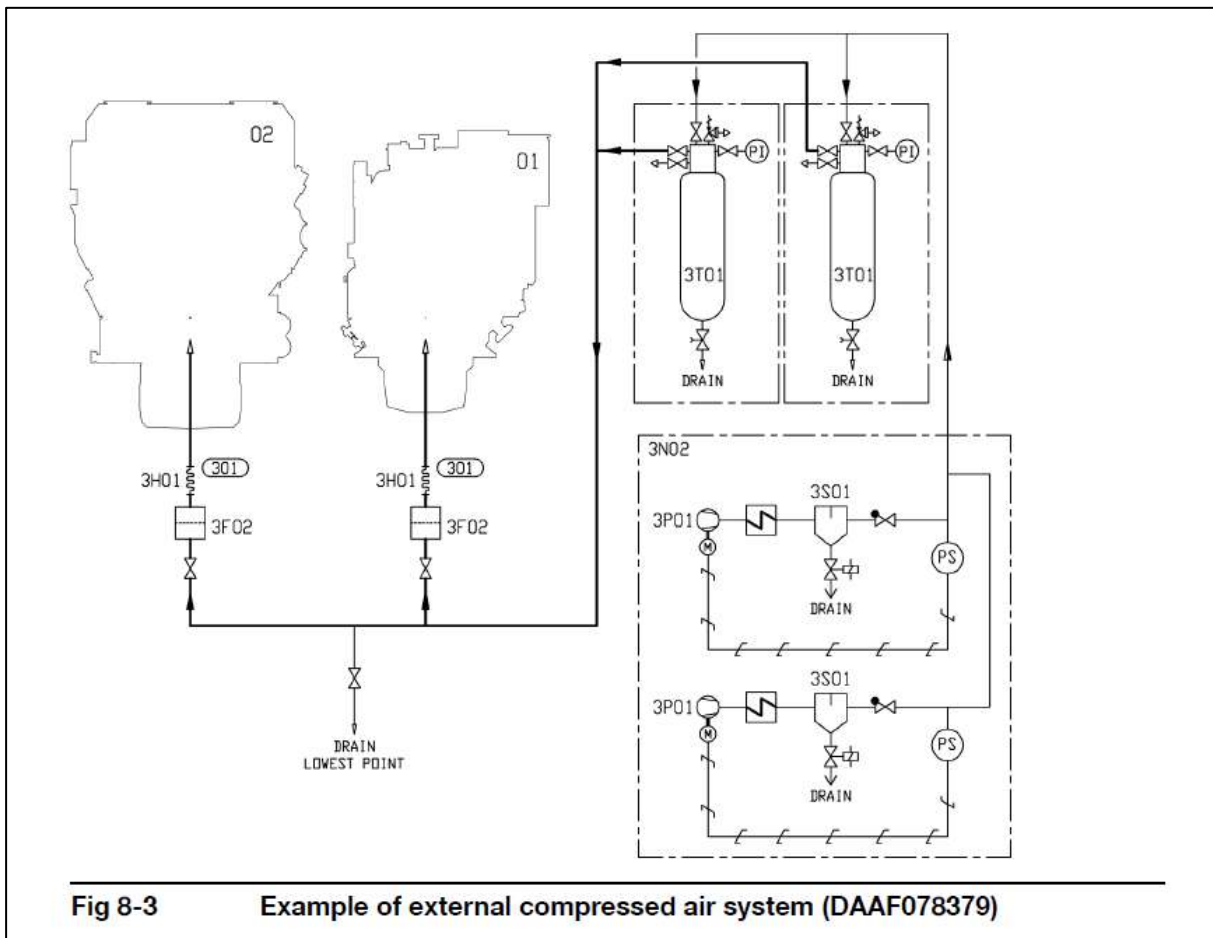
The max. back-pressure must also be considered when selecting the ventilation pipe size.

**Fig 7-7 Condensate trap (DAAE032780B)**

Crankcase ventilation flow rate	l/min/cyl	150	150	150	150
Crankcase backpressure (max)	kPa	0.3	0.3	0.3	0.3

## 5 SERVICIO DE AIRE DE ARRANQUE

El esquema para el servicio de aire de arranque es el siguiente:



System components			
01	Diesel engine Wärtsilä L26	3N02	Starting air compressor unit
02	Diesel engine Wärtsilä V26	3P01	Compressor (starting air compressor unit)
3H01	Flexible pipe connection	3S01	Separator (starting air compressor unit)
3F02	Air filter (starting air inlet)	3T01	Starting air vessel

Pos	Pipe connections	Size
301	Starting air inlet	DN40

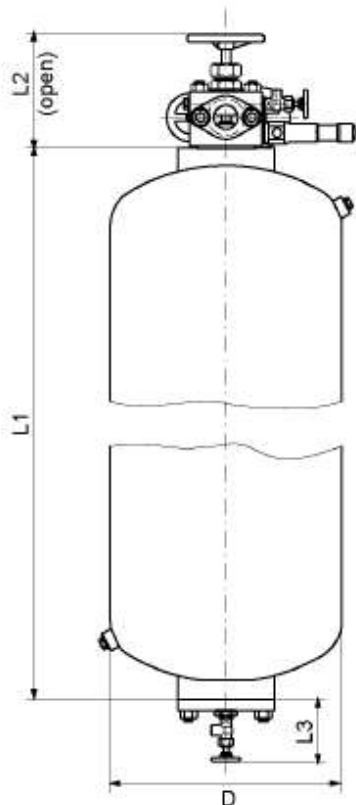
Para el cálculo del volumen necesario para una arrancada del motor se tienen en cuenta los siguientes requerimientos:

The starting air vessels should be dimensioned for a nominal pressure of 3 MPa.

The number and the capacity of the air vessels for propulsion engines depend on the requirements of the classification societies and the type of installation.

It is recommended to use a minimum air pressure of 1.8 MPa, when calculating the required volume of the vessels.

The starting air vessels are to be equipped with at least a manual valve for condensate drain. If the air vessels are mounted horizontally, there must be an inclination of 3...5° towards the drain valve to ensure efficient draining.



Size [Litres]	Dimensions [mm]				Weight [kg]
	L1	L2 <sup>1)</sup>	L3 <sup>1)</sup>	D	
125	1807	243	110	324	170
180	1217	243	110	480	200
250	1767	243	110	480	274
500	3204	243	133	480	450
710	2740	255	133	650	625
1000	3560	255	133	650	810

<sup>1)</sup> Dimensions are approximate.

**Fig 8-4 Starting air vessel**

El volumen de aire necesario se calcula mediante la siguiente fórmula:

The required total starting air vessel volume can be calculated using the formula:

$$V_R = \frac{p_E \times V_E \times n}{p_{Rmax} - p_{Rmin}}$$

where:

$V_R$  = total starting air vessel volume [m<sup>3</sup>]

$p_E$  = normal barometric pressure (NTP condition) = 0.1 MPa

$V_E$  = air consumption per start [Nm<sup>3</sup>] See *Technical data*

$n$  = required number of starts according to the classification society

$p_{Rmax}$  = maximum starting air pressure = 3 MPa

$p_{Rmin}$  = minimum starting air pressure = See *Technical data*

El consumo de aire por arrancada es de:

Wärtsilä 12V26		AE/DE IMO Tier 2	AE/DE IMO Tier 2	ME IMO Tier 2	ME IMO Tier 2
Cylinder output	kW/cyl	325	340	325	340
Engine speed	rpm	900	1000	900	1000
Starting air consumption, start (successful)	Nm <sup>3</sup>	3.0	3.0	3.0	3.0

Y según la sociedad de clasificación el número requerido de arranques aparece en el DNV GL en la Parte 4, Capítulo 6, Sección 5:

**9.3.2** Starting systems for internal combustion engines and gas turbines shall have capacity for a number of starts specified in [Table 2](#) without reloading of air receivers.

The capacity shall be divided between at least two air receivers of approximately same size.

**Table 2 Capacity for number of starts**

Duty of engines	Number of starts
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

Calculando el volumen:

$$V_R = \frac{0,1 \cdot 1,8 \cdot (4 \cdot 3)}{3 - 1,8} \rightarrow V_R = 1,8 \text{ m}^3$$

La presión a la que debe estar es a la presión media efectiva calculada en el Apartado 1:

$$P = 24 \text{ bar}$$



## 6 SERVICIO DE REFRIGERACIÓN

---

El agua de refrigeración es agua técnica, agua dulce con diferentes aditivos que ayudan a que tenga mejores propiedades y no ocasionen problemas en los motores. Según el fabricante del motor el agua técnica tiene que tener las siguientes características:

The fresh water in the cooling water system of the engine must fulfil the following requirements:

pH ..... min. 6.5...8.5

Hardness ..... max. 10 °dH

Chlorides ..... max. 80 mg/l

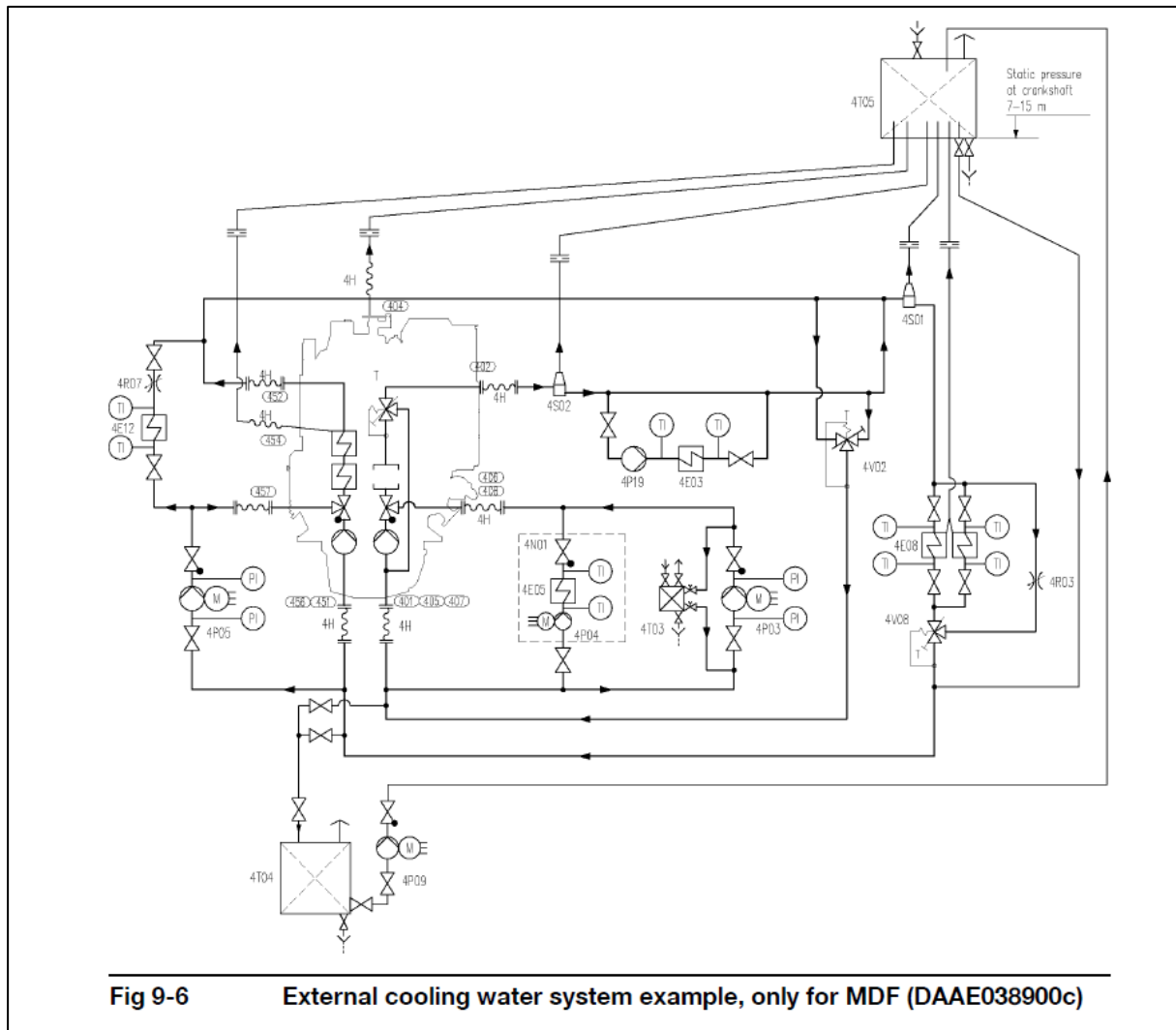
Sulphates ..... max. 150 mg/l

Good quality tap water can be used, but shore water is not always suitable. It is recommended to use water produced by an onboard evaporator. Fresh water produced by reverse osmosis plants often has higher chloride content than permitted. Rain water is unsuitable as cooling water due to the high content of oxygen and carbon dioxide.

Only treated fresh water containing approved corrosion inhibitors may be circulated through the engines. It is important that water of acceptable quality and approved corrosion inhibitors are used directly when the system is filled after completed installation.

El sistema de agua de refrigeración está dividido en dos etapas: una etapa de alta temperatura (HT) que circula por el motor y refrigera las camisas de los cilindros y las culatas; y otra de baja temperatura (LT) que refrigera el aire de admisión y el aceite.

El esquema para el servicio de refrigeración mediante agua es el siguiente:



System components:			
4E03	Heat recovery (evaporator)	4P19	Circulating pump (evaporator)
4E05	Heater (preheater)	4R03	Adjustable throttle valve (LT cooler)
4E08	Central cooler	4R07	Adjustable throttle valve (LT water)
4E12	Cooler (installation parts)	4S02	Air deaerator (HT)
4N01	Preheating unit	4T03	Additive dosing tank
4P03	Stand-by pump (HT)	4T04	Drain tank
4P04	Circulating pump (preheater)	4T05	Expansion tank
4P05	Stand-by pump (LT)	4V02	Temperature control valve (heat recovery)
4P09	Transfer pump	4V08	Temperature control valve (central cooler)
<i>Pipe connections are listed below the internal cooling water system diagrams</i>			



## 6.1 BOMBA DE ETAPA DE ALTA TEMPERATURA (HT)

El flujo y la temperatura de la etapa de alta temperatura viene indicada en la siguiente tabla:

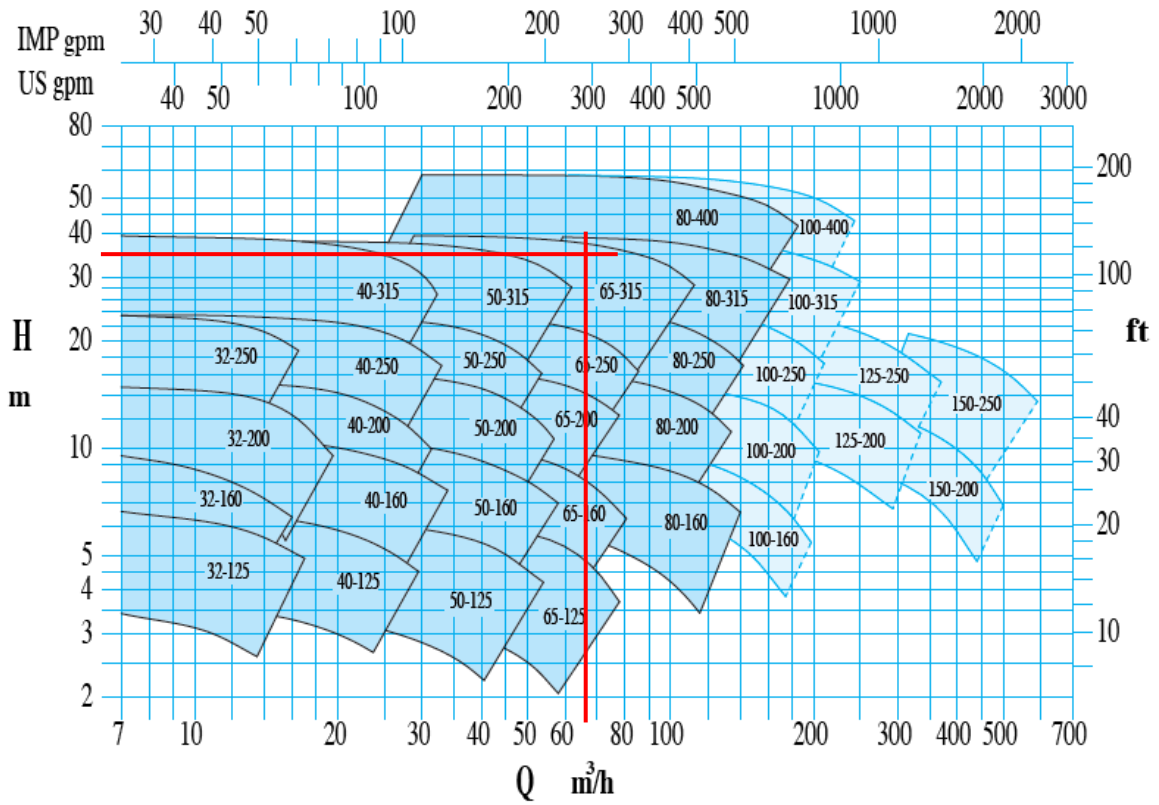
**Table 9-2 Nominal flows and heads of engine driven HT & LT pumps**

Engine	Engine speed [rpm]	HT		LT		LT + gearbox cooling (optional)	
		Flow [m <sup>3</sup> /h]	Head [m H <sub>2</sub> O]	Flow [m <sup>3</sup> /h]	Head [m H <sub>2</sub> O]	Flow [m <sup>3</sup> /h]	Head [m H <sub>2</sub> O]
6L26	900	35	35	42	26	52	26
	1000	35	35	47	27	57	27
8L26	900	45	36	56	27	70	25
	1000	45	36	62	25	76	27
9L26	900	50	36	63	25	78	27
	1000	50	34	70	26	85	27
12V26	900	60	28	60	28	-	-
	1000	67	35	67	35	-	-
16V26	900	80	35	80	35	-	-
	1000	89	44	89	44	-	-

Y siendo la densidad del agua técnica 1000 kg/m<sup>3</sup> se calcula la potencia:

$$P = \frac{67 \cdot 35 \cdot 1000}{3600 \cdot 0,75 \cdot 75} \rightarrow P = 12 \text{ kW}$$

Para estas bombas se selecciona al fabricante Azcue y la serie de bombas LN:



Como se observa se precisa el modelo 65/315 de 12 kW de potencia cada una:

65/315	5.5	100	100	216	450	400	400	23	320	320	640	8	140	439	824	150
	7.5															155
	11-15															185

## 6.2 BOMBA DE ETAPA DE BAJA TEMPERATURA (LT)

El flujo y la temperatura de la etapa de alta temperatura viene indicada en la siguiente tabla:

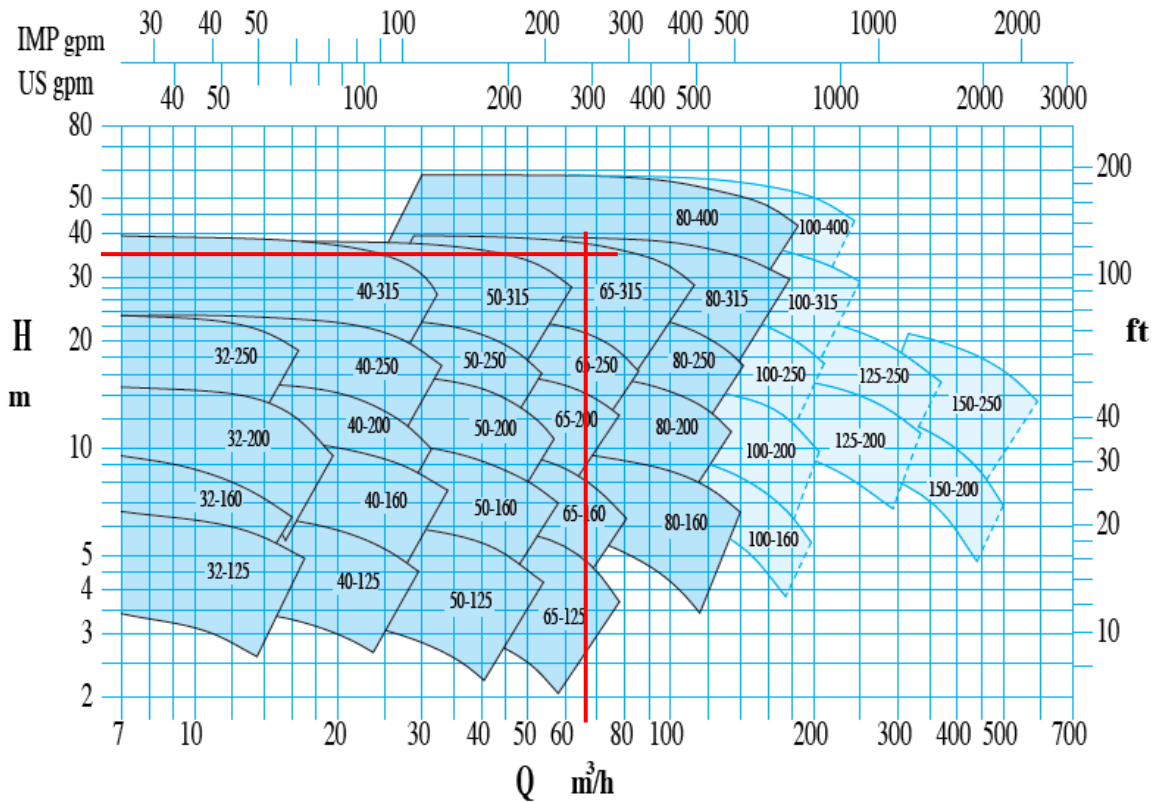
Table 9-2 Nominal flows and heads of engine driven HT & LT pumps

Engine	Engine speed [rpm]	HT		LT		LT + gearbox cooling (optional)	
		Flow [m <sup>3</sup> /h]	Head [m H <sub>2</sub> O]	Flow [m <sup>3</sup> /h]	Head [m H <sub>2</sub> O]	Flow [m <sup>3</sup> /h]	Head [m H <sub>2</sub> O]
6L26	900	35	35	42	26	52	26
	1000	35	35	47	27	57	27
8L26	900	45	36	56	27	70	25
	1000	45	36	62	25	76	27
9L26	900	50	36	63	25	78	27
	1000	50	34	70	26	85	27
12V26	900	60	28	60	28	-	-
	1000	67	35	67	35	-	-
16V26	900	80	35	80	35	-	-
	1000	89	44	89	44	-	-

Y siendo la densidad del agua técnica 1000 kg/m<sup>3</sup> se calcula la potencia:

$$P = \frac{67 \cdot 35 \cdot 1000}{3600 \cdot 0,75 \cdot 75} \rightarrow P = 12 \text{ kW}$$

Para estas bombas se selecciona al fabricante Azcue y la serie de bombas LN:



Como se observa se precisa el modelo 65/315 de 12 kW de potencia cada una:

65/315	5.5	100	100	216	450	400	400	23	320	320	640	8	140	439	824	150
	7.5															155
	11-15															185

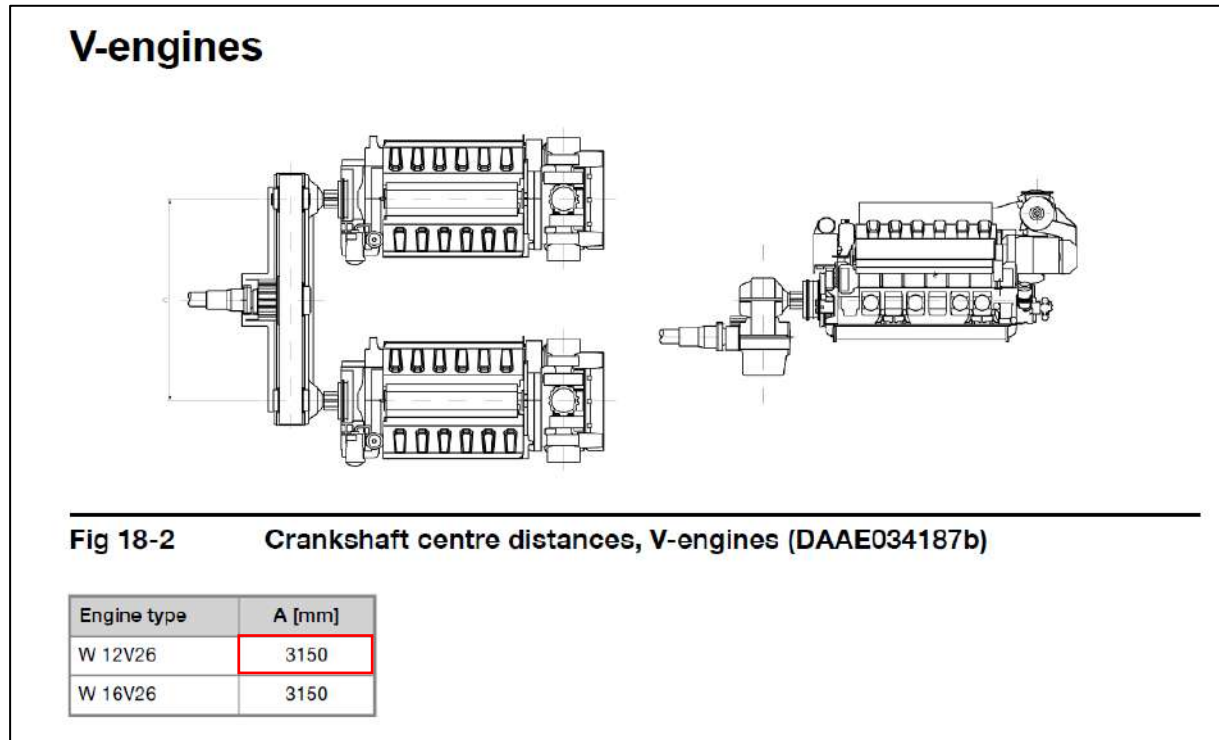
### 6.3 BOMBA DE AGUA SALADA

Como en este caso se ha optado por un motor con los cilindros montados en V no se dispondrá de una bomba de agua salada.

## 7 DISPOSICIÓN ESQUEMÁTICA DE CÁMARA DE MÁQUINAS

En este apartado se hará un croquis de los motores en la cámara de máquinas para observar que entren y cumplen con las prescripciones establecidas.

Debe haber una distancia mínima entre los centros de los motores generadores de:



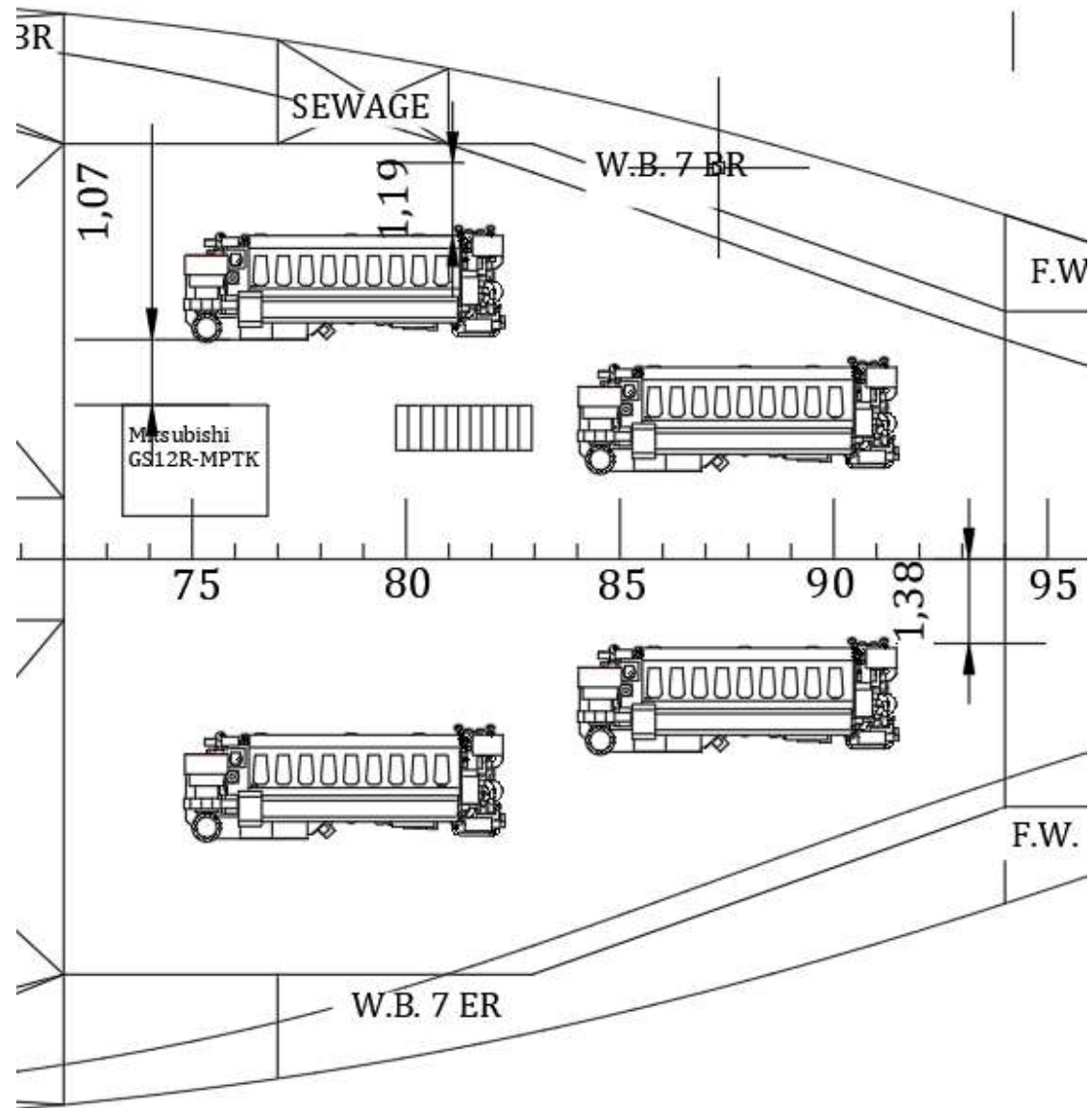
Los motores generadores se separarán del costado del buque una distancia de 1 m como se indica:

### Working space around the engine

The required working space around the engine is mainly determined by the dismantling dimensions of some engine components, as well as space requirement of some special tools. It is especially important that no obstructive structures are built next to engine driven pumps, as well as camshaft and crankcase doors.

However, also at locations where no space is required for any engine part dismantling, a minimum of 1000 mm free space everywhere around the engine is recommended to be reserved for maintenance operations.

En la siguiente imagen se observa la disposición final con todas las medidas reglamentarias (en m):



# **ANEXO: CATÁLOGO BOMBAS**