



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2016/17

17-07 FERRY 1500 PAX Y 1000 ML

CUADERNO 10

DEFINICIÓN DE LA PLANTA PROPULSORA Y SUS AUXILIARES

Grado Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

Marcos Covelo Fernández

TUTOR

Fernando Lago Rodríguez

FECHA

2017



Escola Politécnica Superior
UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.016-2017

PROYECTO NÚMERO 17-07

TIPO DE BUQUE: RO-PAX

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNV GL, Marpol, Solas. SRTP.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 1500 pasajeros, 1000 metros lineales que permitirán transportar 30 tráileres y 115 turismos simultáneamente.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 26 nudos al 90% MCR, 15% de margen de mar, autonomía de 3000 millas.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: los propios de este tipo de buque.

PROPULSIÓN: Dual-fuel (diésel/GNL).

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 1500 pasajeros y 55 tripulantes.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: los propios de este tipo de buque.

Ferrol, 28 Setiembre 2016

ALUMNO: **D. Marcos Covelo Fernández**



ÍNDICE:

1. Introducción.....	pág-4
2. Justificación equipo propulsor.....	pág-6
3. Consumos y autonomías.....	pág-8
4. Equipos auxiliares de la propulsión.....	pág-13
5. Disposición de la cámara de máquinas.....	pág-30
Planos.....	pág-31



1. Introducción:

En este proyecto se diseña un buque tipo Ro-Pax. Dicho buque será diseñado con objeto de transportar 1500 pasajeros y 1000 metros lineales de carga rodada, que le permitan albergar 115 turismos y 30 tráileres simultáneamente. Estará destinado para trayectos relativamente largos, por lo que contará con acomodación adecuada para viajes nocturnos (todos los pasajeros dispondrán de camarotes o cómodas butacas) y de diversos servicios a bordo (restaurante, cafeterías, tiendas, zonas de ocio). Será dotado con propulsión dual-fuel en línea con las actuales exigencias medioambientales. El diseño se realizará de acuerdo a la Sociedad de clasificación DNV-GL y será conforme con Marpol y Solas (incluyendo el requerimiento de retorno seguro a puerto SRTP). La velocidad de servicio que deberá alcanzar será de 26 Kn con una autonomía de 3000 millas.

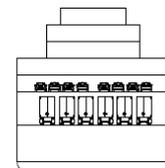
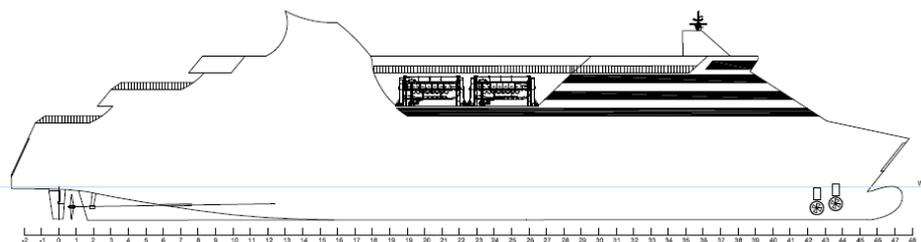
Neste proxecto diseñase un buque tipo Ro-Pax. Este buque estará deseñado para transportar 1500 pasaxeiros e 1000 metros lineais de carga rodada, o que lle permite acomodar 115 vehículos e 30 tráileres simultaneamente. Estará destinado a viaxes relativamente longas, polo que terá aloxamento adecuado para viaxes nocturnas (todos os pasaxeiros terán cabinas ou cómodos asentos) e varios servizos a bordo (restaurante, cafeterías, tendas, áreas de lecer). Estará equipado con propulsión de dobre combustible en liña cos requisitos ambientais actuais. O deseño realizarase segundo a sociedade de clasificación DNV-GL e estará de acordo con Marpol e Solas (incluído o requisito de retorno seguro a porto SRTP). A velocidade de servizo a alcanzar será de 26 Kn cunha autonomía de 3000 millas.

In this project a ship type Ro-Pax is designed. This vessel will be designed to carry 1500 passengers and 1000 linear meters of roll cargo, allowing it to accommodate 115 cars and 30 trailers simultaneously. It will be destined for long journeys, so it will have adequate accommodation for night trips (all passengers will have cabins or comfortable seats) and various services on board (restaurant, coffee shops, shops, leisure areas). It will be equipped with dual-fuel propulsion in line with current environmental requirements. The design will be made according to the DNV-GL classification society and will be in accordance with Marpol and Solas (including the safe return to port SRTP). The service speed to be achieved will be 26 knots with an autonomy of 3000 miles.



Características buque Ferry

L_{pp}	130 m
L_{total}	145,6 m
B	24,4 m
D	7,84 m
$T_{diseño}$	5,26 m
C_b	0,58
C_m	0,960
C_p	0,60
Despl	9923,2 t
Pasajeros	1500
Tripulación	55
Velocidad	26 nudos
BKw	31768,6 Kw





2. Justificación equipo propulsor:

El cálculo de la potencia necesaria para la planta propulsora se realizó en el cuaderno 6. En él se obtuvo que la potencia necesaria debía ser:

$$P = 32924,76 \text{ Kw}$$

La elección del propulsor viene condicionada también por el puntal existente en la cámara de máquinas, que es de 6,14 metros. Tal y como se explicó en dicho cuaderno, se optó por instalar 4 motores en lugar de instalar 2 y aumentar el puntal del buque para que entraran, ya que incrementaría los costes de acero del buque, empeoraría su estabilidad y resultaría menos flexible.

Por tanto, la planta propulsora estará compuesta por 4 motores de dual-fuel acoplados dos a cada línea de ejes mediante reductora. De las opciones existentes en el mercado se seleccionó el modelo:

Wärtsilä 8L46DF

Cada uno aportando 9160 Kw, obteniendo un total de 36640 Kw.

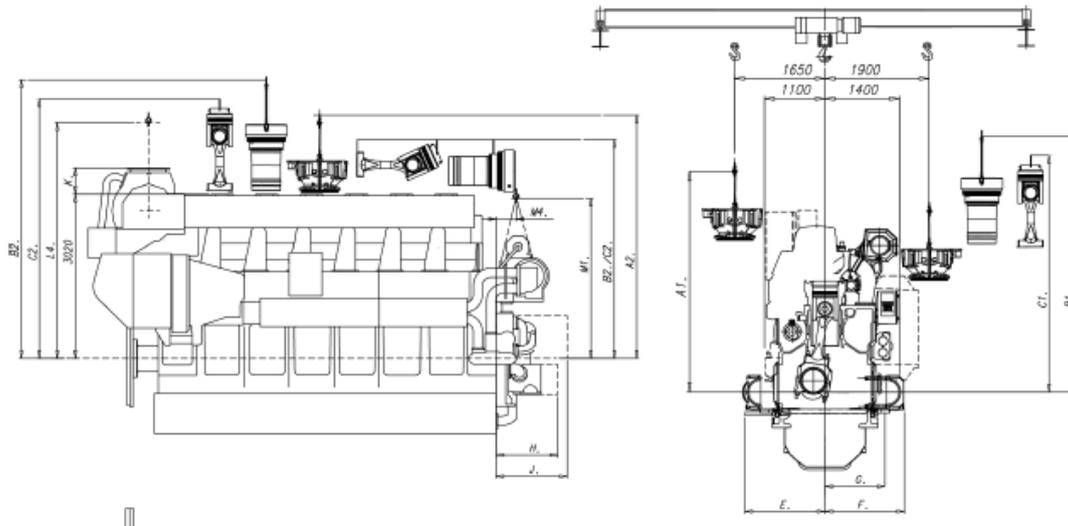
La generación eléctrica se realizará mediante 2 motores auxiliares que aporten cada uno de ellos 2500 Kw (permitiendo tener uno de reserva como manda la normativa). Los motores principales contarán también con PTO pero destinada a alimentar los bow thrusters. Dicho uso solo se dará durante las maniobras en puerto, donde la planta propulsora no trabaja al máximo, por lo que no se consideró en el dimensionamiento de esta.

Para cumplir los requerimientos de SRTP la cámara de máquinas fue duplicada, tal y como se indicó en el cuaderno 4.

Cylinder configuration	IMO Tier 2	
	kW	bhp
W 6L46DF	6870	9340
W 7L46DF	8015	10900
W 8L46DF	9160	12450
W 9L46DF	10305	14010
W 12V46DF	13740	18680
W 14V46DF	16030	21790
W 16V46DF	18320	24910

The Wärtsilä 46DF is a 4-stroke, non-reversible, turbocharged and intercooled diesel engine with direct fuel injection (twin pump).

Cylinder bore	460 mm
Stroke	580 mm
Piston displacement	96.4 l/cyl
Number of valves	2 inlet valves and 2 exhaust valves
Cylinder configuration	6, 7, 8 and 9 in-line; 12, 14 and 16 in V-form
Direction of rotation	clockwise, counter-clockwise on request
Speed	600 rpm
Mean piston speed	11.6 m/s



Services spaces in mm		6-7L46DF	8L-9L46DF
A1	Height needed for overhauling cylinder head over accumulator	4060	
A2	Height needed for transporting cylinder head freely over adjacent cylinder head covers	4470	
B1	Height needed for overhauling cylinder liner	4700	
B2	Height needed for transporting cylinder liner freely over adjacent cylinder head covers	4020 / 5120	
C1	Height needed for overhauling piston and connecting rod	4350	
C2	Height needed for transporting piston and connecting rod freely over adjacent cylinder head covers	4020 / 4770	
D1	Recommended location of rail for removing the CAC on engine rear side	1900	2100
D2	Recommended location of starting point for rails	400	
D3	Minimum width needed for CAC overhauling	1950	2300
D4	Minimum width needed for turning of overhauled CAC	2120	2510
E	Width needed for removing main bearing side screw	1470	
F	Width needed for dismantling connecting rod big end bearing	1450	
G	Width of lifting tool for hydraulic cylinder / main bearing nuts	1100	



3. Consumos y autonomía:

Con la planta propulsora ya definida, se procede a comprobar que los tanques de combustible definidos en el cuaderno 4 son suficientes para dotar al buque de la autonomía indicada en la RPA.

El buque debe alcanzar una autonomía de 3000 millas al 90% de potencia en los motores. Tal y como se indicó en el cuaderno 4, dicha autonomía se repartió entre HFO (78%) y GNL (22%), permitiendo que el buque pueda operar con normalidad solamente con HFO o realizar viajes completos con GNL (660 millas).

3.1. HFO:

La potencia total instalada resulta de:

$$P = 9160 \cdot 4 = 36640 \text{ Kw}$$

Que al 90 % MCR resultan:

$$P = 36640 \cdot 0,9 = 32976 \text{ Kw}$$

El tiempo total de navegación, obtenido a la velocidad de servicio (26 nudos), es de:

$$t = 3000 / 26 = 115,38 \text{ horas}$$

Y el consumo del motor indicado por el fabricante es de 186 g/Kwh al 100 % de carga. Dado que no se dispone del valor al 90 % se tomará este que es levemente superior.

Con todo ello se obtienen las toneladas de HFO necesarias según la fórmula:

$$HFO = \frac{32976 \cdot 115,38 \cdot 186 \cdot 0,78}{1000000} = 552,01 \text{ tn}$$

Y considerando una densidad de 960 Kg/m³ resulta un volumen de:

$$HFO = 552,01 / 0,96 = 575,19 \text{ m}^3$$

Se comprueba que el buque dispone de suficiente volumen en los tanques almacén de HFO. Según especifica el DNV-GL, se dispuso una pareja de tanques de sedimentación y otra de consumo diario. El volumen de los tanques de sedimentación será tal como para cubrir el gasto de 24 horas a máximo consumo. Por tanto, dichos tanques deberán proporcionar 153,3 m³ en total. Los tanques de diario deberán contener el combustible necesario para 8 horas a máximo consumo. Dichos tanques proporcionarán 51,1 m³ en total.



3.2. GNL:

El consumo específico del motor resulta según el fabricante de 7460 KJ/Kwh. Y considerando un poder calorífico del GNL de 10800 Kcal/Kg, se obtienen los kg necesarios:

$$GNL = \frac{32976 \cdot 115,38 \cdot 7460 \cdot 0,78}{10800 \cdot 4,184} = 137324 \text{ Kg}$$

Y considerando una densidad de 0,46 Kg/m³ resulta un volumen de:

$$GNL = 137324 / 460 = 298,53 \text{ m}^3$$

3.3. MDO:

La potencia del generador en funcionamiento resulta de:

$$P = 2500 \text{ Kw}$$

Que funcionando al 90 % resultan:

$$P = 2500 \cdot 0,9 = 2250 \text{ Kw}$$

El tiempo total de navegación, obtenido a la velocidad de servicio (26 nudos), es de:

$$t = 3000 / 26 = 115,38 \text{ horas}$$

Y el consumo del motor indicado por el fabricante es de 186,8 g/Kwh al 100 % de carga. Dado que no se dispone del valor al 90 % se tomará este que es levemente superior.

Con todo ello se obtienen las toneladas de MDO necesarias según la fórmula:

$$MDO = \frac{2250 \cdot 115,38 \cdot 186,8}{1000000} = 48,49 \text{ tn}$$

Y considerando una densidad de 890 Kg/m³ resulta un volumen de:

$$MDO = 48,49 / 0,89 = 54,49 \text{ m}^3$$

Se comprueba que el buque dispone de suficiente volumen en los tanques almacén de MDO.



Según especifica el DNV-GL, se dispuso una pareja de tanques de sedimentación y otra de consumo diario. El volumen de los tanques de sedimentación será tal como para cubrir el gasto de 24 horas a máximo consumo. Por tanto, dichos tanques deberán proporcionar 11,33 m³ en total. Los tanques de diario deberán contener el combustible necesario para 8 horas a máximo consumo. Dichos tanques proporcionarán 3,8 m³ en total.



4. Equipos y servicios auxiliares de la propulsión:

En el siguiente apartado se estudiarán los diferentes equipos y servicios necesarios para el funcionamiento de los motores, tanto propulsores como de generación eléctrica. Entre estos servicios se encuentran el combustible, lubricación, aire de arranque, refrigeración y exhaustación.

4.1. Sistema de combustible:

En el presente buque se dispone de tres tipos de combustibles: HFO y GNL para la planta propulsora, y MDO para la generación eléctrica.

4.1.1. HFO:

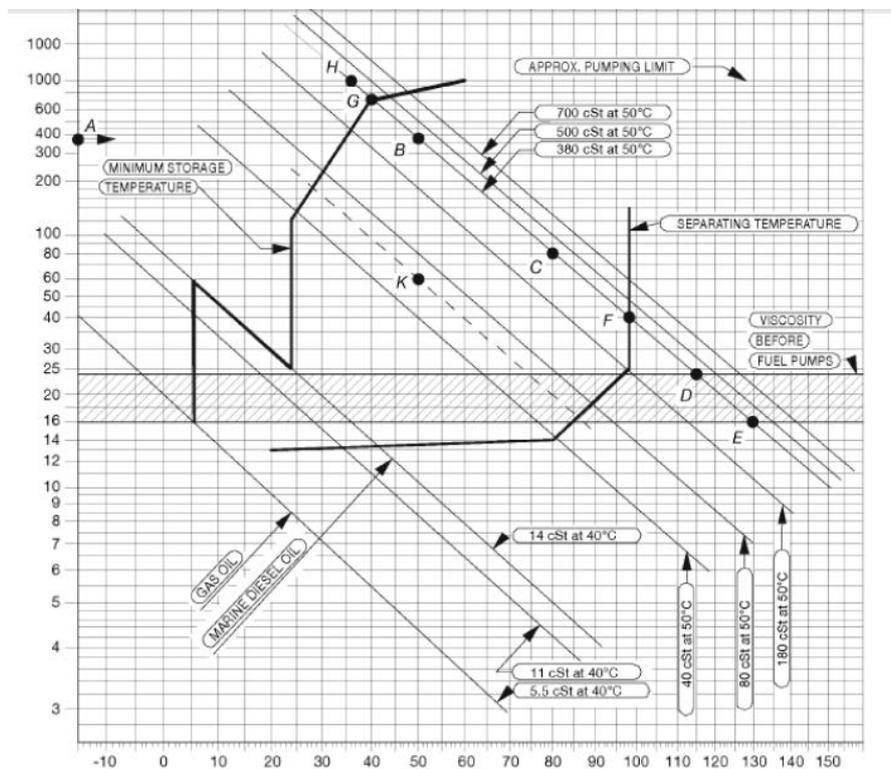
El motor seleccionado admite HFO de las categorías ISO-F-RMA 10 a RMK 700, indicándose a continuación en la siguiente tabla sus características:

Property	Unit	Limit HFO 1	Limit HFO 2	Test method ref.
Viscosity, before injection pumps ¹⁾	cSt	16...24	16...24	
Viscosity at 50°C, max.	cSt	700	700	ISO 3104
Density at 15°C, max.	kg/m ³	991 / 1010 ²⁾	991 / 1010 ²⁾	ISO 3675 or 12185
CCAI, max. ³⁾		850	870	ISO 8217, Annex F
Sulphur, max. ^{4) 5)}	% mass	Statutory requirements		ISO 8754 or 14596
Flash point, min.	°C	60	60	ISO 2719
Hydrogen sulfide, max. ⁶⁾	mg/kg	2	2	IP 570
Acid number, max.	mg KOH/g	2.5	2.5	ASTM D664
Total sediment aged, max.	% mass	0.1	0.1	ISO 10307-2
Carbon residue, micro method, max.	% mass	15	20	ISO 10370
Asphaltenes, max. ¹⁾	% mass	8	14	ASTM D 3279
Pour point (upper), max. ⁷⁾	°C	30	30	ISO 3016
Water, max.	% volume	0.5	0.5	ISO 3733 or ASTM D6304-C ¹⁾
Water before engine, max. ¹⁾	% volume	0.3	0.3	ISO 3733 or ASTM D6304-C ¹⁾
Ash, max.	% mass	0.05	0.15	ISO 6245 or LP1001 ¹⁾
Vanadium, max. ⁵⁾	mg/kg	100	450	ISO 14597 or IP 501 or IP 470
Sodium, max. ⁵⁾	mg/kg	50	100	IP 501 or IP 470
Sodium before engine, max. ^{1) 5)}	mg/kg	30	30	IP 501 or IP 470
Aluminium + Silicon, max.	mg/kg	30	60	ISO 10478 or IP 501 or IP 470
Aluminium + Silicon before engine, max. ¹⁾	mg/kg	15	15	ISO 10478 or IP 501 or IP 470
Used lubricating oil, calcium, max. ⁸⁾	mg/kg	30	30	IP 501 or IP 470
Used lubricating oil, zinc, max. ⁸⁾	mg/kg	15	15	IP 501 or IP 470
Used lubricating oil, phosphorus, max. ⁸⁾	mg/kg	15	15	IP 501 or IP 500

Se le deberá proporcionar al motor el combustible adecuadamente limpio, sin agua, a la presión y viscosidad de servicio. Para asegurar que la viscosidad se



mantiene en los valores adecuados en cada parte del circuito deberá controlarse la temperatura del fuel. A continuación se muestra un gráfico con la variación de viscosidad en función de la temperatura para diferentes fuel oils:



El sistema de HFO estará compuesto por:

- 4 tanques almacén:
En los tanques almacén la temperatura debe ser 5 a 10 °C por encima del punto de vertido, por lo que deberán estar a 60°C. Se suponen con 30 mm de aislamiento.
- 2 tanques de sedimentación:
Los tanques de sedimentación de HFO deben contar con capacidad para 24 horas de funcionamiento (153,3 m³), la cual se cumple adecuadamente. Su temperatura estará entre 50 y 70°C, con 30 mm de aislamiento.
- 2 tanques de uso diario:
Deberán tener una capacidad para 8 horas y ser dos mínimo (51 m³). La viscosidad del fuel estará por debajo de 140 cSt, por lo que temperatura por encima 90 °C, con 30 mm de aislamiento.
- 2 separadoras:
Deberán ser 2 mínimo, cada una con capacidad suficiente para filtrar todo el fuel, preferiblemente funcionarán en paralelo. Se dispondrá de calentador antes de las depuradoras, asegurando que la viscosidad del



fuel sea mayor de 5 cSt a 50 °C. Dicho calentador debe elevar la temperatura hasta 98 °C en HFO. La potencia necesaria se calcula mediante la siguiente formula de Wärtsilä:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta T}{1700}$$

Donde:

- Q: capacidad de la bomba de la depuradora, en l/h.
- ΔT : aumento de la temperatura en el calentador, 48 °C para HFO.

El cálculo de la capacidad necesaria de los separadores se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{P \cdot b \cdot 24}{\rho \cdot t}$$

Donde:

- P: potencia máxima de los motores, 36640 Kw.
- b: consumo específico de los motores, considerando un 15% de margen, 213,9 g/Kwh.
- ρ : densidad del fuel, 960 Kg/m³.
- t: tiempo de funcionamiento de la depuradora, tomando 23 h al día permitiendo que exista tiempo para el mantenimiento de esta.

Se obtiene entonces:

$$Q = 8518,8 \text{ l/h}$$

$$P = 240,53 \text{ Kw}$$

El flujo de fuel hacia las separadoras será proporcionado por 2 bombas. Dichas bombas deben trabajar a 0,5 MPa y el caudal antes indicado, soportando temperaturas de 100 °C y viscosidad del fuel de 1000 cSt.

- 2 tanques de retorno:
Los tanques de combustible de retorno deben ser diferenciados para HFO y MDO, y con calefacción en el caso del primero. Se dispondrá uno en cada cámara de máquinas.
- 2 tanques de lodos:
Deberán estar climatizados, se dispondrá uno en cada cámara de máquinas.



- 2 bombas de trasiego:
Se encargarán de llenar los tanques de sedimentación desde los tanques almacén. Se estimó un tiempo de llenado de dichos tanques de 2 horas, por lo que el caudal que deberán introducir será:

$$Q = \frac{132}{2} = 66 \text{ m}^3/\text{h}$$

La presión a la que trabajarán será de 0,3 MPa.

- 2 sistemas de alimentación de fuel:
Dichos sistemas, que contarán con diversos elementos para su correcto funcionamiento (bomba de alimentación, válvula de control de presión, filtro automático, bomba de circulación, calentador), serán los encargados de introducir el combustible en los motores desde los tanques de uso diario. Cada uno de ellos alimentará a los 2 motores de una cámara de máquinas.

La bomba de alimentación debe aportar según el fabricante una presión de 1,6 MPa, y un caudal de:

$$Q = \frac{36640 \cdot 186}{2 \cdot 960} = 3549,5 \text{ l/h}$$

Además soportará temperaturas de 100 °C y viscosidad del fuel de 1000 cSt.

La bomba de circulación aportará una presión de 1,6 MPa y un caudal de 3549,5 l/h, soportando temperaturas de 150 °C y viscosidad del fuel de 500 cSt.

El calentador debe mantener el fuel a una viscosidad por debajo de 14 cSt a máximo consumo, sin superar 135 °C. La potencia del calentador se calcula según la fórmula:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta T}{1700}$$

Donde:

- Q: consumo a máxima potencia, considerando un 15% de margen, 4081,9 l/h.
- ΔT : aumento de la temperatura en el calentador, de 90 °C a 135 °C (45 °C).

Se obtiene:

$$P = 108,05 \text{ Kw}$$



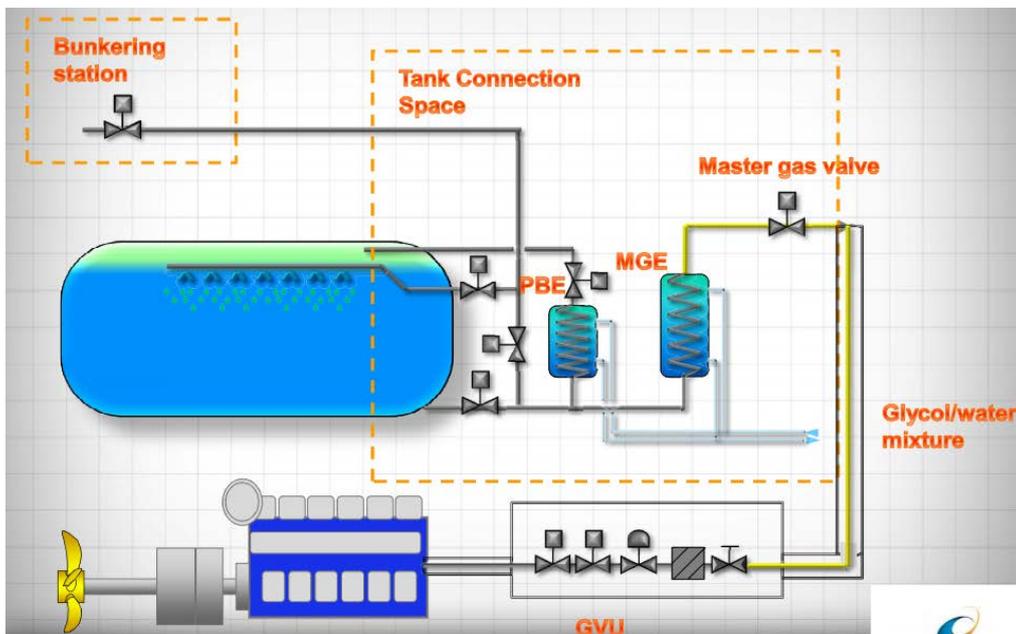
El fabricante recomienda una velocidad máxima de 1m/s en tuberías de combustible. Por tanto, las tuberías que abastezcan al motor serán de:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q}{v \cdot \pi}}$$

Al menos 36 mm de diámetro. Mientras que las de trasiego serán de 153 mm.

4.1.2. GNL:

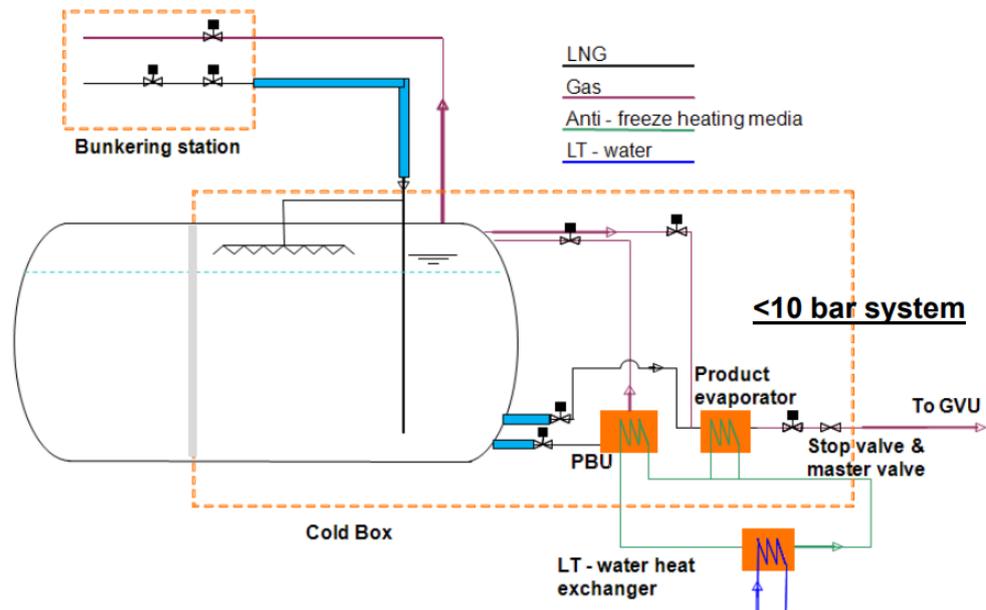
La instalación de almacenamiento y tratamiento del GNL a bordo del buque se compone de diferentes componentes, los cuales se pueden apreciar en el siguiente esquema:



- Tanques almacén:
El gas se almacenará como GNL en 2 tanques de tipo C (IMO), con capacidad para 150 m³ cada uno. Ambos tanques, cumpliendo las indicaciones del fabricante, serán de doble pared por encontrarse bajo cubierta (tal y como se indica en el cuaderno 4). Dicho espacio dispondrá de tubos de aireación, que finalicen a más de 6 metros de cualquier zona.



- Unidad de evaporación:
En él se evapora y calienta el gas bien sea para enviar a la Gvu o para reenviar al tanque reajustando la presión en este. El calor para su funcionamiento lo recibe de la unidad de glicol/agua.



- Unidad de glicol/agua:
Suministra una mezcla de agua y glicol a la unidad de evaporación para la evaporización y calentamiento del GNL/gas. Utiliza agua de baja temperatura del motor como medio de calentamiento.
- Gvu (gas valve unit):
La Gvu regula la presión con la que se introduce el gas en función de la presión del aire que entra al motor, el cual varía con la carga. La válvula de admisión del gas en el motor no se podría operar si la diferencia de presiones entre el gas suministrado y el aire fuera considerable. Además la Gvu permite comprobar la existencia de fugas, el inertizado y ventilación del sistema. El fabricante (Wärtsilä) indica que debe utilizarse una Gvu por cada motor y que la separación entre ambos no debe ser superior a 10 m. Por ello se instalarán 4 Gvu, una para cada motor, situándose 2 en cada cámara de máquinas. Dichas Gvu serán de tipo encapsulado para poder estar dentro de la cámara de máquinas.
- Estación de bunkering:
En ella se recibe el GNL del exterior. Se situará a un costado del buque lo más próximo posible en la eslora de los tanques almacén.



4.1.3. MDO:

El motor seleccionado admite MDO de las categorías ISO-F-DMX, DMA, DMZ y DMB, indicándose a continuación en la siguiente tabla sus características:

Property	Unit	ISO-F-DMA	ISO-F-DMZ	ISO-F-DMB	Test method ref.
Viscosity, before injection pumps, min. ¹⁾	cSt	2.0	2.0	2.0	
Viscosity, before injection pumps, max. ¹⁾	cSt	24	24	24	
Viscosity at 40°C, min.	cSt	2	3	2	
Viscosity at 40°C, max.	cSt	6	6	11	ISO 3104
Density at 15°C, max.	kg/m ³	890	890	900	ISO 3675 or 12185
Cetane index, min.		40	40	35	ISO 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. ²⁾	mg/kg	2	2	2	IP 570
Acid number, max.	mg KOH/g	0.5	0.5	0.5	ASTM D664
Total sediment by hot filtration, max.	% mass	—	—	0.1 ³⁾	ISO 10307-1
Oxidation stability, max.	g/m ³	25	25	25 ⁴⁾	ISO 12205
Carbon residue: micro method on the 10% volume distillation residue max.	% mass	0.30	0.30	—	ISO 10370
Carbon residue: micro method, max.	% mass	—	—	0.30	ISO 10370
Pour point (upper) , winter quality, max. ⁵⁾	°C	-6	-6	0	ISO 3016
Pour point (upper) , summer quality, max. ⁵⁾	°C	0	0	6	ISO 3016
Appearance	—	Clear and bright ⁶⁾		^{3) 4) 7)}	
Water, max.	% volume	—	—	0.3 ³⁾	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. ⁸⁾	µm	520	520	520 ⁷⁾	ISO 12156-1

Se le deberá proporcionar al motor el combustible adecuadamente limpio, sin agua, a la presión y viscosidad de servicio. Para asegurar que la viscosidad se mantiene en los valores adecuados en cada parte del circuito deberá controlarse la temperatura del MDO.

El sistema de MDO estará compuesto por:

- 2 tanques almacén:
En los tanques almacén la temperatura debe estar entre 20 y 40 °C, por lo que no necesitarán aislamiento o calefacción.
- 2 tanques de sedimentación:
Los tanques de sedimentación de MDO deben contar con capacidad para 24 horas de funcionamiento (12 m³), la cual se cumple adecuadamente. Su temperatura estará entre 20 y 40°C, por lo que no tendrán aislante ni calefacción.
- 2 tanques de uso diario:



Deberán tener una capacidad para 8 horas (4 m³). Su temperatura estará entre 20 y 40°C, por lo que no tendrán aislante ni calefacción. Se situarán en la propia cámara de máquinas, cercanos al motor y más de 2 metros sobre el cigüeñal de este, permitiendo su arranque tomando combustible de dicho tanque.

- 2 separadoras:

Se instalarán 2 de disco centrífugo, cada una con capacidad suficiente para filtrar todo el fuel, preferiblemente funcionarán en paralelo. No será necesario el uso de calentador.

El cálculo de la capacidad necesaria de los separadores se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{P \cdot b \cdot 24}{\rho \cdot t}$$

Donde:

- P: potencia máxima de los motores, 2500 Kw.
- b: consumo específico de los motores, considerando un 15% de margen, 220,8 g/Kwh.
- ρ: densidad del fuel, 890 Kg/m³.
- t: tiempo de funcionamiento de la depuradora, tomando 23 h al día permitiendo que exista tiempo para el mantenimiento de esta.

Se obtiene entonces:

$$Q = 647,16 \text{ l/h}$$

El flujo de fuel hacia las separadoras será proporcionado por 2 bombas. Dichas bombas deben trabajar a 0,5 MPa y el caudal antes indicado, soportando temperaturas de 100 °C.

- 2 tanques de retorno:

Los tanques de combustible de retorno deben ser diferenciados para HFO y MDO, y con calefacción en el caso del primero. Se dispondrá uno en cada cámara de máquinas.

- 2 bombas de trasiego:

Se encargarán de llenar los tanques de sedimentación desde los tanques almacén. Se estimó un tiempo de llenado de dichos tanques de 2 horas, por lo que el caudal que deberán introducir será:

$$Q = \frac{12}{2} = 6 \text{ m}^3/\text{h}$$

La presión a la que trabajarán será de 0,3 MPa.



- 2 sistemas de alimentación de fuel:

Dichos sistemas, que contarán con diversos elementos para su correcto funcionamiento (bomba de circulación, válvula de control de presión, filtro automático, bomba de stand-by, enfriador), serán los encargados de introducir el combustible en los motores desde los tanques de uso diario. Cada uno de ellos alimentará a 1 motor.

La bomba de circulación debe aportar según el fabricante una presión de 1,6 MPa, y un caudal 6 veces superior al consumo:

$$Q = 6 \cdot \frac{2500 \cdot 186,8}{2 \cdot 960} = 1459 \text{ l/h}$$

La bomba de stand-by aportará una presión de 1,6 MPa y un caudal de 1459 l/h, soportando temperaturas de 50 °C y viscosidad del fuel de 90 cSt.

Contará también con un enfriador que mantendrá la temperatura por debajo de 45 °C. Se instalará en la línea de retorno del combustible. El calor que deberá disipar es de 2 Kw por cilindro, es decir, un total de 16 Kw.

El fabricante recomienda una velocidad máxima de 1m/s en tuberías de combustible. Por tanto, las tuberías que abastezcan al motor serán de:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q}{v \cdot \pi}}$$

Al menos 22 mm de diámetro.



4.2. Lubricación:

Los principales equipos que necesitarán lubricación a bordo son los motores principales, auxiliares y reductoras.

- Motores principales:

El aceite a emplear en los motores principales deberá, según el fabricante, ser SAE 40 con un índice de viscosidad mayor de 95. Por otra parte, el fabricante indica que para motores que operen con diferentes tipos de combustible, como es el caso (HFO y GNL), la alcalinidad del aceite se deberá seleccionar en función del HFO que se consuma. Para este tipo de combustible Wärtsilä recomienda aceite con BN entre 50 y 55.

El circuito de aceite lubricante contará con:

- 1 tanque almacén:

Este tanque tiene como misión cubrir el posible consumo de aceite de lubricación durante la navegación. Según el fabricante, los motores consumen 0,5 g/Kwh, por lo que a lo largo de la autonomía del buque consumirán:

$$V = 36640 \cdot 0,5 \cdot 115,38 = 2113,76 \text{ Kg} / 900 = 2,34 \text{ m}^3$$

- 4 tanques de circulación:

Dichos tanques contienen el aceite de lubricación de los 4 motores, y se encuentra justo debajo de cada uno. El aceite es aspirado mediante la bomba de lubricación, y luego regresa al tanque por gravedad. La capacidad de cada tanque será de 17 m³ por indicación del fabricante.

- 4 tanques de aceite sucio:

Dichos tanques recogen el aceite del tanque de circulación de los motores principales previamente a ser limpiado en la separadora. Se situará 2 en cada cámara de máquinas.

- 4 unidades de purificación:

Contarán con separadora, bomba, tanque de lodos y calentador que deberá elevar la temperatura del aceite hasta 95 °C. Por indicación del fabricante se dispondrá una unidad por motor. La separadora se dimensionará para un flujo de:

$$Q = \frac{1,35 \cdot P \cdot n}{t}$$

Donde:



- P: potencia del motor, 9160 Kw.
- n: número de veces que circula el volumen aceite por día, 5 para HFO.
- t: tiempo de operación, se consideran 23 h al día, permitiendo labores de mantenimiento.

Se obtiene un flujo de:

$$Q = 2688 \text{ l/h}$$

- 4 bombas de lubricación:
Se instalará una bomba de lubricación de tornillo o engranajes para cada motor. Deberán aportar una presión de 500 KPa y un caudal de 190 m³/h
- 4 bombas de pre-lubricación:
Se instalará una bomba de pre-lubricación de tornillo o engranajes para cada motor. Deberán aportar una presión de 350 KPa y un caudal de 170 m³/h.
- 4 enfriadores de aceite:
Disminuye la temperatura del aceite lubricante antes de entrar en el motor principal. El enfriador del aceite podrá ser de placas o tubos. Deberá evitar que el aceite entre en el motor a más de 63 °C.

- Motores auxiliares:

El aceite a emplear en los motores auxiliares será el mismo que en los principales, ya que según el fabricante es válido usar un aceite adecuado para HFO aunque se consuma MDO. De esta forma se simplifican las instalaciones en el buque. Cada motor contará con un circuito (2 en total), que contarán con:

- 1 tanque almacén:
El mismo que para los motores principales.
- 2 tanques de circulación:
Dichos tanques contienen el aceite de lubricación de los 2 motores, y se encuentra justo debajo de cada uno. El aceite es aspirado mediante la bomba de lubricación, y luego regresa al tanque por gravedad. La capacidad de cada tanque será de 3,5 m³ por indicación del fabricante.



- 2 tanques de aceite sucio:
Dichos tanques recogen el aceite del tanque de circulación de los motores principales previamente a ser limpiado en la separadora. Se situará uno en cada cámara de máquinas.
- 2 unidades de purificación:
Contarán con separadora, bomba, tanque de lodos y calentador que deberá elevar la temperatura del aceite hasta 95 °C. Por indicación del fabricante se dispondrá una unidad por motor. La separadora se dimensionará para un flujo de:

$$Q = \frac{1,35 \cdot P \cdot n}{t}$$

Donde:

- P: potencia del motor, 2500 Kw.
- n: número de veces que circula el volumen aceite por día, 4 para MDO.
- t: tiempo de operación, se consideran 23 h al día, permitiendo labores de mantenimiento.

Se obtiene un flujo de:

$$Q = 586 \text{ l/h}$$

- 2 bombas de lubricación:
Se instalará una bomba de lubricación de tornillo o engranajes para cada motor. Deberán aportar una presión de 500 KPa y un caudal de 81 m³/h
- 2 bombas de pre-lubricación:
Se instalará una bomba de pre-lubricación de tornillo o engranajes para cada motor. Deberán aportar una presión de 350 KPa y un caudal de 75 m³/h.
- 2 enfriadores de aceite:
Disminuye la temperatura del aceite lubricante antes de entrar en el motor principal. El enfriador del aceite podrá ser de placas o tubos. Deberá evitar que el aceite entre en el motor a más de 63 °C.



4.3. Aire comprimido:

El aire comprimido se utiliza para arrancar los motores y proporcionar energía de accionamiento para dispositivos de seguridad y control. El uso de aire de arranque para otros fines está limitado por las normas de clasificación.

Para asegurar la funcionalidad de los componentes en el sistema de aire comprimido, el aire comprimido debe estar libre de partículas sólidas y aceite.

El aire para accionamiento de instrumentos deberá cumplir los siguientes requisitos:

Instrument air specification:

Design pressure	1 MPa (10 bar)
Nominal pressure	0.7 MPa (7 bar)
Dew point temperature	+3°C
Max. oil content	1 mg/m ³
Max. particle size	3 μm

Los motores serán arrancados con aire a una presión de 3MPa. Se dispondrá un circuito de aire de arranque en cada cámara de máquinas, alimentando a los 2 motores principales y el auxiliar.

Cada circuito contará con botellas de aire para el arranque, dimensionadas para una presión nominal de 3MPa y una presión mínima de 1,8 MPa. Contarán con válvula manual para el drenado de condensados y una inclinación de 5° hacia esta. El volumen total se calcula mediante la fórmula:

$$V = \frac{P_e \cdot V_e \cdot n}{P_{rmax} - P_{rmin}}$$

Donde:

- P_e : presión barométrica normal, 0,1 MPa.
- V_e : aire consumido por arrancada, 9 Nm³ para los motores principales y 1,8 Nm³ para el auxiliar (19,8).
- n : número de arranques de acuerdo con el DNV-GL, 6 por motor.
- P_{rmax} : presión máxima de arranque, 3 MPa.
- P_{rmin} : presión mínima de arranque, 1,8 MPa.

Se obtiene un volumen de:

$$V = 9,9 \text{ m}^3$$



Se dispondrá de 1 compresor para el aire de arranque de cada circuito (2 en total, tendrán conexiones a ambos circuitos), que deberán llenar las botellas de aire desde los 1,8 MPa (presión mínima de arranque) hasta la presión máxima en 1 hora, según especifica el DNV-GL. Esto supone un flujo de:

$$Q = (30 - 18) \cdot 9900 / 60 = 1980 \text{ l/min}$$



4.4. Agua de refrigeración:

En instalaciones con varios motores, el fabricante recomienda instalar varios circuitos de refrigeración, tanto por redundancia como para facilitar el ajuste de los caudales. Por ello, se dispondrán 2 circuitos de refrigeración, uno en cada cámara de máquinas. Cada uno de los circuitos cuenta con uno de baja temperatura (LT) y otro de alta temperatura (HT). El agua utilizada en el sistema de refrigeración deberá cumplir los siguientes requisitos:

pH	min. 6.5...8.5
Hardness	max. 10 °dH
Chlorides	max. 80 mg/l
Sulphates	max. 150 mg/l

Se utilizará agua dulce obtenida mediante la planta de tratamiento de agua y tratada con los aditivos indicados por el fabricante.

Existirá, por otra parte, un circuito de agua salada que aspire del colector, conectado a las tomas de mar del buque, y bombee hasta un intercambiador de calor para enfriar el circuito LT. Cada circuito de refrigeración contará con un circuito de agua salada.

El caudal de agua en el circuito de LT se obtiene del fabricante:

Equipo	Caudal LT (m ³ /h)
Motores principales	180 · 2 = 360
Motores auxiliares	62
Otros equipos	20 % de margen
Total	506,4

En el circuito de HT circularán 486 m³/h, obtenidos de la misma forma.

Ambos circuitos contarán con 2 bombas cada uno que aporten ese caudal a una presión de 250 KPa.

El calor que debe ceder el agua LT en el intercambiador al agua salada se calcula mediante la fórmula:

$$q = Q \cdot \rho \cdot c_e \cdot \Delta T$$



donde:

- Q: caudal agua LT, 506,4 m³.
- ρ: densidad agua, 1000 Kg/m³.
- c_e: calor específico del agua, 4180 J/Kg·K.
- ΔT: diferencia de temperaturas, obtenida del fabricante 13 °C (38-25 °C).

Se obtuvo:

$$q = 7643 \text{ Kw}$$

El caudal de agua salada resulta entonces:

$$Q = \frac{q}{c_e \cdot \rho \cdot \Delta T}$$

Donde:

- q: calor que debe absorber el agua salada, 7643 Kw.
- ρ: densidad agua, 1026 Kg/m³.
- c_e: calor específico del agua, 4180 J/Kg·K.
- ΔT: diferencia de temperaturas, se supone de 15 °C.

Se obtuvo:

$$Q = 438,83 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se montará un tanque de expansión en cada circuito, que acoja la expansión del fluido y aporte presión al sistema. Deberá dimensionarse con un volumen de un 10% del volumen total del circuito. La velocidad en las tuberías al tanque no superará 1,5 m/s para asegurar la presión de entrada en la bomba.

El agua del circuito de alta temperatura debe poder calentarse hasta 60-70 °C para el arranque del motor. Para ello se instalará un calentador cuya potencia se obtiene mediante la fórmula:

$$P = \frac{(T_1 - T_0)(m_{eng} \cdot 0,14 + V_{FW} \cdot 1,16)}{t} + k_{eng} \cdot n_{cyl}$$

Donde:

- T₁: temperatura final del agua, 70 °C.
- T₀: temperatura ambiente, 20 °C.
- m_{eng}: peso del motor, 130 t los principales y 45 el auxiliar (305 t).
- V_{FW}: volumen de agua en el circuito de alta, 3,2 m³.
- t: tiempo de calentamiento, 6 h.



- n_{cyl} : número de cilindros del motor, 8 en este caso.

Se obtuvo:

$$P = 395 \text{ Kw}$$

Este calentador dispondrá de una bomba para circular el agua por él, con una capacidad de $1,6 \text{ m}^3/\text{h}$ por cilindro y 100 KPa de presión.

El fabricante recomienda una velocidad de $2,5 \text{ m/s}$ en las tuberías, por lo que el diámetro de estas será mayor de:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q}{v \cdot \pi}}$$

- Circuito de agua LT:
D = 16,05 mm
- Circuito de agua HT:
D = 15,73 mm
- Circuito de agua salada:
D = 14,94 mm



4.5. Sistema de gases de escape:

Cada motor contará con su propio escape. Deberán disponerse ciertas medidas de seguridad ya que, durante el funcionamiento con gas, parte de este puede pasar al escape y acumularse en él. Por ello, el escape siempre tendrá inclinación positiva, se instalarán discos de ruptura y un sistema de extracción del gas (para limpiar el conducto una vez se para el motor).

La tubería deberá ser lo más corta posible, los codos tendrán un radio mayor de 1,5 veces el diámetro. La velocidad en la tubería no será superior a 40 m/s por lo que el diámetro se calcula con la siguiente fórmula:

$$v = \frac{4 \cdot m}{1,3 \cdot \left(\frac{273}{273 + T}\right) \cdot \pi \cdot D^2}$$

Donde:

- m: flujo de gases expulsados, 12,7 kg/s.
- T: temperatura de los gases de escape, 354 °C.
- v: velocidad de los gases, 40 m/s.

Se obtiene:

$$D = 845 \text{ mm}$$

Dicha tubería se aislará con al menos 30 mm de aislante asegurando que no superará la superficie los 220 °C.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

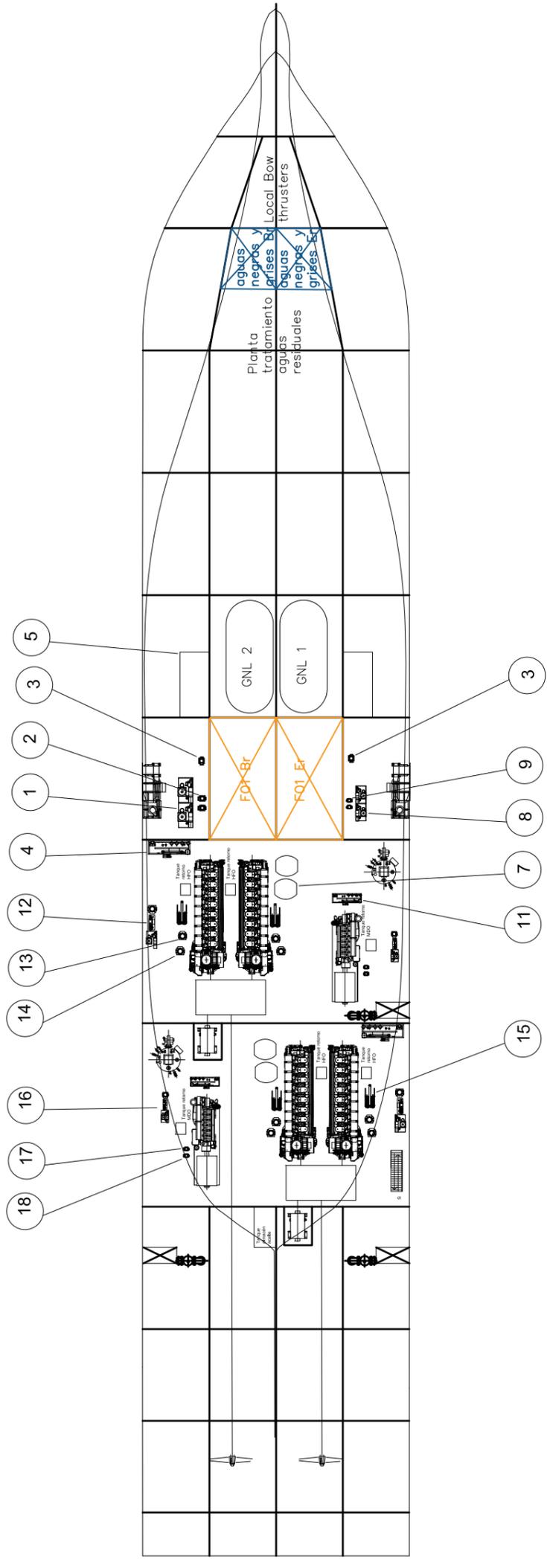
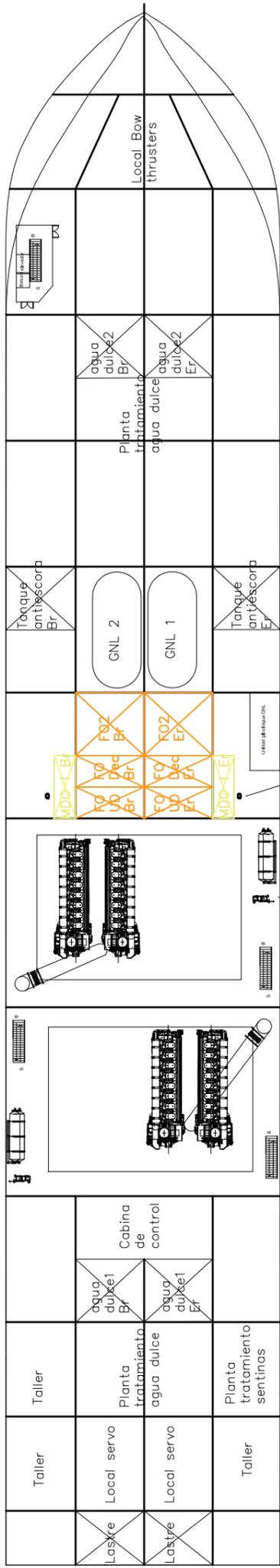
Trabajo Fin de Grado
CURSO 2016/17

17-07 FERRY 1500 PAX 1000 ML

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Documento

PLANOS



Bomba trasiego MDO	10	Botellas aire de arranque	20
Bomba separadora MDO	9	Enfriador aceite MMAA	19
Separadora MDO	8	Bomba pre-lubricación aceite MMAA	18
GVU GNL	7	Bomba lubricación aceite MMAA	17
Unidad glicol/agua GNL	6	Unidad purificación aceite MMAA	16
Unidad evaporación GNL	5	Enfriador aceite MMPP	15
Sistema alimentación de HFO	4	Bomba pre-lubricación aceite MMPP	14
Bomba trasiego HFO	3	Bomba lubricación aceite MMPP	13
Bomba separadora HFO	2	Unidad purificación aceite MMPP	12
Separadora HFO	1	Sistema alimentación MDO	11
		Compresor aire	21

Proyecto:	Ferry 1500 pax y 1000 ml	Fecha:
Autor:	Marcos Covelo Fernández	
Peticionario:		
DISPOSICIÓN C. MÁQUINAS		
E.P.S.		Plano N°
Escala: 1:400		



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2016/17

17-07 FERRY 1500 PAX 1000 ML

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Documento

ANEXO

3.4 Wärtsilä 8L46DF

Wärtsilä 8L46DF		ME		DE	
		Gas mode	Diesel mode	Gas mode	Diesel mode
Cylinder output	kW	1145		1145	
Engine speed	rpm	600		600	
Engine output	kW	9160		9160	
Mean effective pressure	MPa	2.38		2.38	
Combustion air system (Note 1)					
Flow at 100% load	kg/s	14.7	16.4	14.7	16.4
Temperature at turbocharger intake, max.	°C	45		45	
Temperature after air cooler, nom. (TE 601)	°C	45	50	45	50
Exhaust gas system (Note 2)					
Flow at 100% load	kg/s	15.1	16.9	15.1	16.9
Flow at 75% load	kg/s	11.6	13.2	11.4	13.8
Temperature after turbocharger at 100% load (TE 517)	°C	354	354	354	354
Temperature after turbocharger at 75% load (TE 517)	°C	373	399	405	377
Backpressure, max.	kPa	4		4	
Calculated exhaust diameter for 35 m/s	mm	986	1041	986	1041
Heat balance at 100% load (Note 3)					
Jacket water, HT-circuit	kW	928	1472	920	1472
Charge air, HT-circuit	kW	2008	2448	2008	2448
Charge air, LT-circuit	kW	808	920	808	920
Lubricating oil, LT-circuit	kW	624	1104	624	1104
Radiation	kW	264	272	264	272
Fuel consumption (Note 4)					
Total energy consumption at 100% load	kJ/kWh	7460	-	7440	-
Total energy consumption at 85% load	kJ/kWh	7490	-	7540	-
Total energy consumption at 75% load	kJ/kWh	7590	-	7640	-
Total energy consumption at 50% load	kJ/kWh	8080	-	8220	-
Fuel gas consumption at 100% load	kJ/kWh	7413	-	7397	-
Fuel gas consumption at 85% load	kJ/kWh	7441	-	7487	-
Fuel gas consumption at 75% load	kJ/kWh	7535	-	7585	-
Fuel gas consumption at 50% load	kJ/kWh	7934	-	8070	-
Fuel oil consumption at 100% load	g/kWh	1.0	186	1.0	185
Fuel oil consumption at 85% load	g/kWh	1.2	178	1.2	182
Fuel oil consumption at 75% load	g/kWh	1.3	184	1.3	187
Fuel oil consumption 50% load	g/kWh	3.4	185	3.4	192
Fuel gas system (Note 5)					
Gas pressure at engine inlet, min (PT901)	kPa (a)	517	-	517	-
Gas pressure to Gas Valve unit, min	kPa (a)	517	-	517	-
Gas temperature before Gas Valve Unit	°C	0...60	-	0...60	-

Wärtsilä 8L46DF		ME		DE	
		Gas mode	Diesel mode	Gas mode	Diesel mode
Cylinder output	kW	1145		1145	
Engine speed	rpm	600		600	
Fuel oil system					
Pressure before injection pumps (PT 101)	kPa	800±0		800±0	
Fuel oil flow to engine, approx	m³/h	9.6		9.6	
HFO viscosity before the engine	cSt	-	16...24	-	16...24
Max. HFO temperature before engine (TE 101)	°C	-	140	-	140
MDF viscosity, min.	cSt	2.0		2.0	
Max. MDF temperature before engine (TE 101)	°C	40		40	
Leak fuel quantity (HFO), clean fuel at 100% load	kg/h	-	6.0	-	6.0
Leak fuel quantity (MDF), clean fuel at 100% load	kg/h	15.5	30.0	16.0	30.0
Pilot fuel (MDF) viscosity before the engine	cSt	2...11		2...11	
Pilot fuel pressure at engine inlet (PT 112)	kPa	400...800		400...800	
Pilot fuel outlet pressure, max	kPa	150		150	
Pilot fuel return flow at 100% load	kg/h	550		550	
Lubricating oil system					
Pressure before bearings, nom. (PT 201)	kPa	500		500	
Pressure after pump, max.	kPa	800		800	
Suction ability, including pipe loss, max.	kPa	40		40	
Priming pressure, nom. (PT 201)	kPa	80		80	
Temperature before bearings, nom. (TE 201)	°C	56		56	
Temperature after engine, approx.	°C	75		75	
Pump capacity (main), engine driven	m³/h	228		207	
Pump capacity (main), electrically driven	m³/h	198		198	
Oil flow through engine	m³/h	170		170	
Priming pump capacity (50/60Hz)	m³/h	45.0 / 45.0		45.0 / 45.0	
Oil volume in separate system oil tank	m³	17		17	
Oil consumption at 100% load, approx.	g/kWh	0.5		0.5	
Crankcase ventilation flow rate at full load	l/min	1700		1700	
Crankcase volume	m³	4.2		4.2	
Crankcase ventilation backpressure, max.	Pa	300		300	
Oil volume in turning device	l	8.5...9.5		8.5...9.5	
Oil volume in speed governor	l	1.7		1.7	
HT cooling water system					
Pressure at engine, after pump, nom. (PT 401)	kPa	250 + static		250 + static	
Pressure at engine, after pump, max. (PT 401)	kPa	530		530	
Temperature before cylinders, approx. (TE 401)	°C	74		74	
Temperature after charge air cooler, nom.	°C	91		91	
Capacity of engine driven pump, nom.	m³/h	180		180	
Pressure drop over engine, total	kPa	100		100	
Pressure drop in external system, max.	kPa	150		150	
Pressure from expansion tank	kPa	70...150		70...150	

Wärtsilä 8L46DF		ME		DE	
		Gas mode	Diesel mode	Gas mode	Diesel mode
Cylinder output	kW	1145		1145	
Engine speed	rpm	600		600	
Water volume in engine	m ³	1.4		1.4	
LT cooling water system					
Pressure at engine, after pump, nom. (PT 471)	kPa	250+ static		250+ static	
Pressure at engine, after pump, max. (PT 471)	kPa	530		530	
Temperature before engine, max. (TE 471)	°C	38		38	
Temperature before engine, min. (TE 471)	°C	25		25	
Capacity of engine driven pump, nom.	m ³ /h	180		180	
Pressure drop over charge air cooler	kPa	50		50	
Pressure drop in external system, max.	kPa	200		200	
Pressure from expansion tank	kPa	70...150		70...150	
Starting air system (Note 6)					
Pressure, nom. (PT 301)	kPa	3000		3000	
Pressure at engine during start, min. (20 °C)	kPa	1500		1500	
Pressure, max. (PT 301)	kPa	3000		3000	
Low pressure limit in starting air vessel	kPa	1800		1800	
Consumption per start at 20 °C (successful start)	Nm ³	8.0		8.0	
Consumption per start at 20 °C (with slowturn)	Nm ³	9.0		9.0	

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 15°C.
- Note 3 At ISO 15550 conditions (ambient air temperature 25°C, LT-water 25°C) and 100% load. Tolerance for cooling water heat 10%, tolerance for radiation heat 30%. Fouling factors and a margin to be taken into account when dimensioning heat exchangers.
- Note 4 According to ISO 15550, lower calorific value 42700 kJ/kg, 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 Fuel gas pressure given at LHV \geq 36MJ/m³N. Required fuel gas pressure depends on fuel gas LHV and need to be increased for lower LHV's. Pressure drop in external fuel gas system to be considered. See chapter Fuel system for further information.
- Note 6 At manual starting the consumption may be 2...3 times lower.

ME = Engine driving propeller, variable speed

DE = Diesel-Electric engine driving generator

Subject to revision without notice.

3.2 Wärtsilä 8L26

Wärtsilä 8L26		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	2600	2720	2600	2720
Mean effective pressure	MPa	2.55	2.4	2.55	2.4
Combustion air system (Note 1)					
Flow of air at 100% load	kg/s	5.0	5.4	5.2	5.4
Temperature at turbocharger intake, max.	°C	45	45	45	45
Air temperature after air cooler, nom. (TE601)	°C	55	55	55	55
Exhaust gas system (Note 2)					
Flow at 100% load	kg/s	5.1	5.5	5.6	5.6
Flow at 85% load	kg/s	4.4	4.9	4.8	4.8
Flow 75% load	kg/s	4.0	4.5	4.0	4.0
Flow 50% load	kg/s	3.4	3.9	2.4	3.2
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	342	252	327	322
Backpressure, max.	kPa	3.0	3.0	3.0	3.0
Exhaust gas pipe diameter, min	mm	550	550	550	550
Calculated exhaust diameter for 35 m/s	mm	562	575	577	579
Heat balance (Note 3)					
Jacket water	kW	440	472	424	472
Lubricating oil	kW	376	400	368	400
Charge air	kW	848	1000	960	1000
Radiation	kW	120	128	120	128
Fuel system (Note 4)					
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	2.9	2.9	3.7	4.1
Fuel flow to engine (without engine driven pump), approx.	m³/h	2.2	2.3	2.2	2.3
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	188.2	192.0	189.2	192.0
Fuel consumption at 85% load	g/kWh	186.8	190.6	186.8	189.7
Fuel consumption at 75% load	g/kWh	190.6	194.0	189.2	192.0
Fuel consumption at 50% load	g/kWh	197.1	201.9	190.4	195.2
Clean leak fuel quantity, MDF at 100% load	kg/h	10.3	10.9	10.3	10.9
Clean leak fuel quantity, HFO at 100% load	kg/h	2.1	2.2	2.1	2.2
Lubricating oil system (Note 5)					

Wärtsilä 8L26		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	68	68	68	68
Temperature after engine, approx.	°C	78	78	78	78
Pump capacity (main), engine driven	m³/h	81	90	81	90
Pump capacity (main), stand-by	m³/h	75	75	75	75
Priming pump capacity, 50Hz/60Hz	m³/h	16 / 19	16 / 19	16 / 19	16 / 19
Oil volume, wet sump, nom.	m³	1.6	1.6	1.6	1.6
Oil volume in separate system oil tank, nom.	m³	3.5	3.7	3.5	3.7
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
High temperature cooling water system					
Pressure at engine, after pump, nom. (PT401)	kPa	360 + static	370 + static	360 + static	370 + static
Pressure at engine, after pump, max. (PT401)	kPa	500	500	500	500
Temperature before cylinders, approx. (TE401)	°C	81	81	81	81
HT-water out from the engine, nom (TE402)	°C	91	91	91	91
Capacity of engine driven pump, nom.	m³/h	45	45	45	45
Pressure drop over engine	kPa	220	220	220	220
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	m³	0.4	0.4	0.4	0.4
Low temperature cooling water system					
Pressure at engine, after pump, nom. (PT471)	kPa	270 + static	250 + static	270 + static	250 + 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.	m³/h	56	62	56	62
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	18	18	18	18
Pressure from expansion tank	kPa	70...150	70...150	70...150	70...150
Capacity engine driven seawater pump, max.	m³/h	120	120	120	120
Starting air system (Note 6)					
Pressure, nom.	kPa	3000	3000	3000	3000
Pressure, max.	kPa	3300	3300	3300	3300

Wärtsilä 8L26		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
Low pressure limit in air vessels	kPa	1800	1800	1800	1800
Starting air consumption, start (successful)	Nm ³	1.8	1.8	1.8	1.8

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.