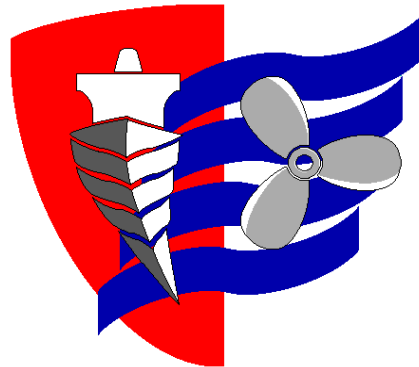


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE
UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL
PARA MANIOBRAR EN PUERTO**

*Installation of a LNG auxiliary engine in a
Ferry for maneuvering in port*

Para acceder al Título de Grado en

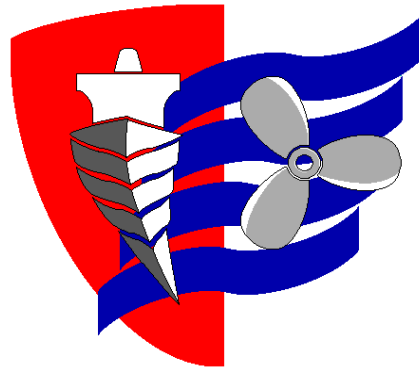
INGENIERÍA MARÍTIMA

Autor: Hugo Sanclemente Diego de Somonte

Directora: Belén Río Calonge

Julio - 2018

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE
UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL
PARA MANIOBRAR EN PUERTO**

*Installation of a LNG auxiliary engine in a
Ferry for maneuvering in port*

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARÍTIMA

Julio - 2018

ÍNDICE

Resumen	5
Palabras clave	5
Summary	6
Keywords	6
1. Memoria.....	9
1.1. Objeto	9
1.2. Alcance	10
1.3. Antecedentes.....	10
1.3.1. GNL como combustible marino	10
1.3.2. Motor dual fuel de 4 tiempos	12
1.3.2.1. Funcionamiento modo gas	12
1.3.2.2. Funcionamiento modo MDO o HFO	14
1.4. Normas y Referencias	15
1.4.1. Normas.....	15
1.4.2. Bibliografía	17
1.5. Definiciones y abreviaturas.....	20
1.6. Requisitos de diseño.....	24
1.6.1. Datos principales del buque	24
1.6.2. Datos de la instalación a desarrollar	24
1.7. Análisis de soluciones.....	24
1.7.1. Principales emisiones de gases perjudiciales	25
1.7.1.1. Óxidos de azufre	25
1.7.1.2. Óxidos de nitrógeno	26
1.7.1.3. Compuestos orgánicos volátiles.....	27
1.7.1.4. Dióxido de carbono	28

1.7.2. MARPOL 73/78, Anexo VI.....	29
1.7.2.1. Anexo vi	30
1.7.2.1.1. Sustancias que agotan la capa de ozono	31
1.7.2.1.2. Óxidos de nitrógeno.....	31
1.7.2.1.3. Óxidos de azufre	33
1.7.2.1.4. Compuestos orgánicos volátiles	34
1.7.2.1.5. EEDI	34
1.7.2.1.6. SEEMP	36
1.7.3. Sistemas de reducción de emisiones perjudiciales	36
1.7.3.1. Sistemas de reducción de óxidos de nitrógeno.....	36
1.7.3.1.1. Sistemas EGR (Exhaust Gas Recirculation).....	37
1.7.3.1.2. Ciclo Miller	38
1.7.3.1.3. Inyección de agua en la cámara de combustión.....	39
1.7.3.1.4. Inyección de agua en el aire de admisión.....	40
1.7.3.1.5. Sistema SCR (Selective Catalytic Reduction).....	41
1.7.3.1.6. Sistema SNCR (Selective Non Catalytic Reduction).....	43
1.7.3.2. Sistemas de reducción de óxidos de azufre.....	44
1.7.3.2.1. SSE (Shore-Side Electrical)	44
1.7.3.2.2. Combustibles con bajo contenido en azufre	45
1.7.3.2.3. Scrubber.....	47
1.7.3.2.3.1. Scrubber en seco.....	48
1.7.3.2.3.2. Scrubber húmedo de circuito abierto.....	50
1.7.3.2.3.3. Scrubber húmedo de circuito cerrado	51
1.7.3.2.3.4. Scrubber húmedo híbrido	52
1.7.3.2.4. GNL.....	53
1.8. Resultados finales	55
1.8.1. Motor auxiliar con generador incorporado.....	56
1.8.2. Sistema de combustible GNL.....	57
1.8.2.1. Tanque contenedor de GNL.....	58
1.8.2.2. Espacio de conexión	59
1.8.2.3. Sistema de automatización	59
1.8.2.3. Sistema de calentamiento intermedio	59

1.8.2.4. GVV (Gas Valve Unit)	60
1.8.2.5. Compresor	61
1.8.2.6. Separador de aceite y agua	62
1.8.3. Sistema de combustible MDO	62
1.8.3.1. Tanque de MDO	63
1.8.3.2. Tanque de lodos	63
1.8.3.3. Depuradora	64
1.8.3.4. Filtro de succión	65
1.8.3.5. Caudalímetro.....	66
1.8.3.6. Filtro de combustible	66
1.8.3.7. Bomba de circulación.....	67
1.8.4. Sistema de lubricación	68
1.8.4.1. Tanque de aceite lubricante	68
1.8.4.2. Depuradora	69
1.8.4.3. Calentador.....	70
1.8.5. Sistema de aire comprimido.....	70
1.8.5.1. Compresores.....	71
1.8.5.2. Separadores de aceite y agua	71
1.8.5.3. Depósitos de aire de arranque	72
1.8.5.4. Filtro de aire	73
1.8.6. Sistema de refrigeración	73
1.8.6.1. Válvula de control de temperatura del intercambiador de calor	74
1.8.6.2. Válvula de control de temperatura del aire de carga.....	74
1.8.6.3. Intercambiador de calor.....	75
1.8.6.4. Tanque de expansión.....	76
1.8.6.5. Calentador.....	77
1.8.6.6. Bomba del calentador	77
1.8.6.7. Bomba de agua de mar.....	78
1.8.6.8. Tanque de mezcla y vaciado.....	78
1.8.6.9. Bomba de llenado	79
1.8.7. Sistema de aire de combustión y ventilación	79

1.8.7.1. Ventilación de la sala	79
1.8.7.2. Sistema de entrada de aire de combustión al motor	80
1.8.7.3. Ventiladores	80
1.8.8. Sistema de gases de escape	84
1.8.8.1. Unidad de gases de escape	84
1.8.8.2. Tubo de escape	85
1.8.8.3. Silenciador	86
1.8.9. Sistema de gas inerte.....	87
1.8.9.1. Bombonas de nitrógeno	87
1.9. Planificación.....	88
2. Anexos.....	91
2.1. Cálculos	91
2.1.1. Motor.....	91
2.1.2. Requisitos en la estabilidad del barco.....	91
2.1.1.1. Variación del peso en rosca.....	92
2.1.1.2. Variación del centro de gravedad longitudinal.....	94
2.1.3. Sistemas	95
2.1.3.1. Sistema de combustible GNL.....	96
2.1.3.1.1. Tanque contenedor de GNL.....	96
2.1.3.2. Sistema de combustible MDO.....	97
2.1.3.2.1. Tanque contenedor de MDO	97
2.1.3.3. Sistema de aire comprimido.....	99
2.1.3.3.1. Depósitos de aire de arranque.....	99
2.1.3.4. Sistema de Refrigeración	100
2.1.3.4.1. Intercambiador de calor	100
2.1.3.4.2. Bomba de agua de mar	100
2.1.3.5. Sistema de aire de combustión	102
2.1.3.5.1. Ventiladores para la refrigeración de la sala	102
2.1.3.5.1. Ventilador para la combustión del motor.....	103
3. Planos.....	107
4. Pliego de condiciones.....	120

4.1.	Pliego de condiciones generales	120
4.1.1.	Condiciones generales	120
4.1.2.	Reglamentos y normas	121
4.1.3.	Materiales	122
4.1.4.	Recepción del material	122
4.1.5.	Organización.....	123
4.1.6.	Interpretación y desarrollo del proyecto	124
4.1.7.	Obras complementarias.....	124
4.1.8.	Modificaciones	125
4.1.9.	Obra defectuosa	125
4.1.10.	Medios auxiliares	125
4.1.11.	Subcontratación de obras	126
4.1.12.	Contrato	126
4.1.13.	Responsabilidades.....	127
4.2.	Pliego de condiciones económicas.....	127
4.2.1.	Mediciones y valoraciones de las obras	127
4.2.2.	Abono de las obras	128
4.2.3.	Precios.....	128
4.2.4.	Revisión de precios.....	128
4.2.5.	Penalizaciones por retrasos.....	128
4.2.6.	Liquidación en caso de rescisión del contrato	129
4.2.7.	Fianza	129
4.2.8.	Conservación de las obras durante el plazo de garantía.....	130
4.2.9.	Medidas de seguridad.....	130
4.2.10.	Demoras	130
4.3.	Pliego de condiciones facultativas	131

4.3.1. Normas a seguir	131
4.3.2. Personal.....	132
4.3.3. Condición, admisión y retirada de materiales	132
4.3.4. Reconocimientos y ensayos previos.....	132
5. Mediciones y presupuesto	136
5.1. Presupuesto desglosado en partidas.....	136
5.1.1. Motor	136
5.1.2. Sistema de combustible GNL.....	136
5.1.3. Sistema de combustible MDO.....	137
5.1.4. Sistema de lubricación	137
5.1.5. Sistema de aire comprimido	138
5.1.6. Sistema de refrigeración	138
5.1.7. Sistema de aire de combustión y ventilación	139
5.1.8. Sistema de gases de escape	140
5.1.9. Sistema de gas inerte.....	140
5.1.10. Compartimento del motor.....	141
5.1.11. Mano de obra.....	141
5.2. Balance final del presupuesto.....	142

RESUMEN

El presente TFG tiene como objetivo principal la instalación de un motor de combustible dual (con el propósito de que trabaje empleando GNL la práctica totalidad del tiempo), así como de los diversos sistemas auxiliares correspondientes para su correcto funcionamiento. El aspecto fundamental que se ha tenido en cuenta a la hora de la implantación de dicho motor es el cumplimiento de las emisiones de azufres (además de reducir otras emisiones perjudiciales para el medio marino). En el presente TFG también encontramos otras posibles alternativas que se podrían tener en cuenta a la hora de reducir dichas emisiones, así como el marco legal en el que se encuentra la restricción de las mismas.

A la hora de elaborar el presente documento, se han seguido unas pautas determinadas: en primer lugar, me he informado de la situación actual del GNL en el mundo marino, y de los motores que trabajan con dicho combustible. Por otro lado, se ha estudiado cuidadosamente la normativa y el marco legal de las restricciones en las emisiones de gases contaminantes (en especial las de azufre, como se resalta en el párrafo anterior) recogidas por la OMI.

En segundo lugar se han estudiado otras alternativas a la hora de emitir dichas emisiones (sistemas de reducción de óxidos de nitrógeno y azufre).

Por último, nos hemos centrado en la instalación de cada uno de los sistemas auxiliares necesarios, describiendo los elementos que los componen, estableciendo un presupuesto por cada sistema (dando lugar a un presupuesto final total, en el que se incluye la mano de obra y la construcción de infraestructuras necesarias) y realizando el trazado de los planos para apreciar su disposición.

PALABRAS CLAVE

GNL, Gas Natural, MARPOL VI, motor de fuel dual, ECA, SECA y azufre.

SUMMARY

The main objective of this project is the installation of a dual propulsion motor (with the purpose of using LNG practically all the time), as well as the various auxiliary systems for its correct operation. The fundamental aspect that has been taken into account at the time of the implementation of this engine is the compliance with sulfur emissions (in addition to reduce other emissions harmful to the marine environment). We also find other possible alternatives which could be taken into account when reducing these emissions, as well as the legal framework in which the restriction is found.

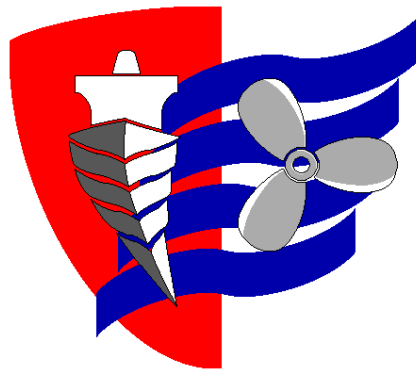
For doing this project, certain guidelines have been followed: firstly, I have received information of the current situation of LNG in the marine world and engines which work with this fuel. On the other hand, the regulations and legal framework of the restrictions on the emission of polluting gases (especially sulfur gases, as highlighted in the previous paragraph) collected by the IMO have been carefully studied. Secondly, other alternatives have been studied when issuing these emissions (nitrogen and sulfur oxides reduction systems).

Finally, we have focused on the installation of each of the necessary auxiliary systems, describing the elements that compose them, establishing a budget for each system (giving rise to a total final budget, which includes labor and the construction of necessary infrastructures) and realizing the layout of the plans to appreciate their disposition.

KEYWORDS

GNL, Gas Natural, MARPOL VI, motor de fuel dual, ECA, SECA y azufre.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



MEMORIA

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 9/148

1. MEMORIA

1.1. OBJETO

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo y diseño de la instalación de un motor auxiliar cuyo combustible es GNL, así como de los distintos sistemas y elementos que aseguren un correcto funcionamiento del mismo (tanque contenedor de GNL, sistema de tuberías y válvulas...).

Por otro lado, es necesario precisar que el presente proyecto no tiene como fin la definición y cálculo del resto de instalaciones y sistemas que deben estar presentes siempre que se instale un motor de estas características, como podrían ser el sistema contraincendios, el sistema de ventilación o los accesorios que intervienen en el bunkering del GNL, puesto que conllevaría una cantidad de tiempo mayor, y serían objeto del proyecto general del buque.

El motivo principal de la implantación de este motor auxiliar es el cumplimiento del Anexo VI del MARPOL sobre las restricciones en la emisión de gases contaminantes. Al tratarse de un buque que navega entre puertos pertenecientes a la Unión Europea, se ve obligado a cumplir con la normativa propia de las zonas SECA (uso de combustibles cuyo contenido en azufre no exceda del 0,1% en masa), siendo el GNL un combustible idóneo debido a sus prácticamente nulas emisiones de SOx. Además, si dicho buque navegase en zonas ECA (donde la restricción se amplía también a emisiones de NOx y CO2), también estaría perfectamente capacitado.

Tabla 1. Comparativa de las emisiones según el tipo de combustible. Fuente: *Delft et al, 2006*.

Tipo de combustible	SO _x (g/kWh)	NO _x (g/Wh)	PM (g/kWh)	CO ₂ (g/kwh)
Fuel Residual (3.5% azufre)	13	9-12	1.5	580-630
Diesel Marino (0.5% azufre)	2	8-11	0.25-0.5	580-630
Gasoil (1.1 azufre)	0.4	8-11	0.15-0.25	580-630
Gas Natural (LGN)	0	2	0	430-480

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 10/148

1.2. ALCANCE

El destinatario del presente proyecto es la Escuela Técnica Superior de Náutica de la Universidad de Cantabria, donde se presentará como Trabajo Fin de Grado al objeto de obtener el título de Grado en Ingeniería Marítima.

1.3. ANTECEDENTES

1.3.1. GNL COMO COMBUSTIBLE MARINO

El GNL (Gas Natural Licuado) es gas natural que ha sido sometido a un proceso de licuefacción, el cual consiste básicamente en unos ciclos de compresión y expansión, con el propósito de modificar su estado de gaseoso a líquido, reduciendo significativamente su volumen y facilitando de esta forma su almacenamiento.

Sin embargo, antes de someter el gas natural al proceso de licuefacción, es necesario extraer las impurezas que contiene:

-Agua: Al enfriarse a tan bajas temperaturas el gas (como veremos posteriormente, a -161°C , se congelaría formando hielos o hidratos que obstruirían los distintos equipos.

-Hidrocarburos pesados: También conocidos como GLP (Gas Licuado de Petróleo), pueden generar problemas en la combustión del gas, y como en el caso del agua, también pueden congelarse, bloqueando los equipos.

-Helio: Independientemente de los problemas que generaría durante el licuado, su extracción se debe principalmente por su alto valor económico.

-Azufre: Genera una alta corrosión en los instrumentos y equipos.

-Dióxido de carbono: Igual que en el caso del agua y de los GLP, su congelación provocaría el bloqueo de los equipos.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 11/148

-*Mercurio*: Podría depositarse en los instrumentos de medición, falsificando los datos a obtener.

Una vez eliminadas todas estas impurezas, el gas natural ya está en condición de ser sometido al proceso de licuefacción, el cual es similar al proceso de refrigeración común: se comprimen gases refrigerantes (propano, etano, metano y nitrógeno), produciéndose líquidos fríos que se evaporarán a medida que vaya avanzando el tiempo e intercambien calor con la corriente de gas natural. Finalmente, cuando el gas natural haya cedido todo el calor sensible y latente, este pasará de estado gaseoso a estado líquido a presión atmosférica y con una temperatura de -161°C .

En cuanto a la composición del GNL, ésta varía ligeramente en función de donde se haya extraído, aunque es cierto que tras el proceso de licuefacción queda muy refinado, siendo bastante parecidas las cantidades de los compuestos que lo constituyen. De esta forma, el GNL está formado en su práctica totalidad de metano (en torno al 90%), apreciándose también pequeñas cantidades de etano y nitrógeno.

Tabla 2. Comparativa de la composición de distintos GNL. Fuente: *UNE EN 16903*.

Propiedades a la temperatura de ebullición a la presión normal	GNL Ejemplo 1	GNL Ejemplo 2	GNL Ejemplo 3
Concentración molar (%)			
N ₂	0,13	1,79	0,36
CH ₄	99,8	93,9	87,20
C ₂ H ₆	0,07	3,26	8,61
C ₃ H ₈	–	0,69	2,74
i C ₄ H ₁₀	–	0,12	0,42
n C ₄ H ₁₀	–	0,15	0,65
C ₅ H ₁₂	–	0,09	0,02

En cuanto a las propiedades físico-químicas del GNL, su temperatura de ebullición es de -161°C , mientras que la de congelación es de -182°C . Es almacenado a -162°C y a presión atmosférica, siendo su densidad 460kg/m^3 (1 m^3 de GNL librea 600 m^3 de gas natural) y su densidad relativa del vapor a

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 12/148

temperatura ambiente 0,6. Su temperatura de autoignición es de 540°C, y su combustión solo es posible si existe una concentración de aire entre el 5% y 15%.

La capacidad energética del GNL es de 13.000 kWh por tonelada de combustible, mientras que la del Fuel Oil (0,1% azufre), por ejemplo, es de 12.000 kWh por tonelada, lo que muestra que el GNL es más energético por unidad de masa que los combustibles líquidos. Sin embargo, debido a que la densidad del GNL es la mitad que la de los combustibles líquidos, ocupa el doble que estos.

1.3.2. MOTOR DUAL FUEL DE 4 TIEMPOS

El propósito principal del presente proyecto es, como ya se ha mencionado, la instalación de un motor auxiliar dual, el cual será de 4 tiempos. La ventaja de este tipo de motores es que pueden funcionar tanto empleando gas natural, MDO o HFO, en función de las circunstancias, pudiendo cambiar de tipo de combustible en plena operación sin alterar la carga suministrada, permaneciendo esta siempre constante.

Sin embargo, el funcionamiento del motor es totalmente diferente en función del combustible empleado: cuando funciona en modo gas, el motor actúa realizando el ciclo de Otto; y cuando funciona tanto con MDO como HFO, el motor trabaja empleando el ciclo diésel.

1.3.2.1. FUNCIONAMIENTO MODO GAS

En este modo de trabajo el motor realiza el ciclo de Otto, empleando como combustible principal gas natural (en vez de combustible líquido) y utilizando una pequeña cantidad de combustible piloto, diésel en condiciones normales, provocando la aparición de una llama piloto que será la causante de la combustión de la mezcla de aire y gas natural.

Las fases del ciclo de Otto que realizará nuestro motor serán las siguientes:

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 13/148

-Admisión: El pistón, que se encuentra en la posición más alta, comienza a descender, abriéndose la válvula de admisión. Paralelamente, en el conducto de admisión, el gas es inyectado a una presión de 5 bares y una temperatura de 30°C en el aire (generándose una mezcla de gas y aire, donde la cantidad de este es mucho mayor que la necesaria para provocar la combustión completa de todo el gas, siendo la relación de aire/combustible entre 2 y 2,2), introduciéndose posteriormente en la cámara. Diagrama P-V: E-A.

-Compresión y combustión: Con la válvula de admisión cerrada, el pistón asciende comprimiendo (siendo la relación de compresión de 1/12) y calentando la mezcla de gas y aire. Una vez que el pistón realiza todo su recorrido, un inyector controlado electrónicamente (y distinto al inyector de MDO y HFO) introduce una pequeña cantidad de diésel (menos del 1% del consumo principal del combustible a plena carga) a 900 bares, provocando la llama piloto y la consecuente combustión. Diagrama P-V: A-B (Compresión) y B-C (Combustión).

-Expansión: Una vez provocada la combustión, la mezcla de gases tiende a aumentar su volumen, empujando el pistón hacia la parte inferior de la cámara. Diagrama P-V: C-D.

-Escape: Cuando el pistón llega a la parte inferior, la válvula de escape se abre, comenzando a salir los gases procedentes de la combustión. Cuando el pistón comience a ascender, este empujará al exterior los gases que sigan en el interior de la cámara, hasta llegar al punto más alto y que se cierre la válvula de escape. Diagrama P-V: D-A (Apertura de la válvula de escape) y A-E (Ascensión del pistón).

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 14/148

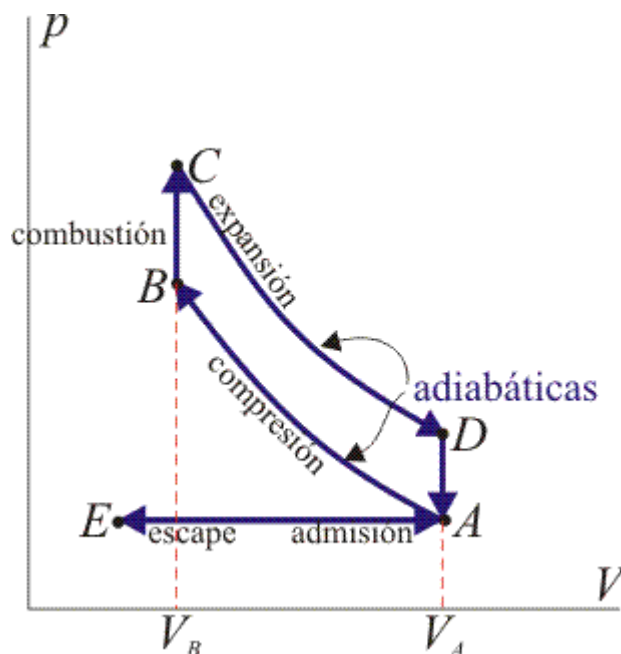


Figura 1. Diagrama P-V del ciclo de Otto ideal. Fuente: *Universidad de Sevilla*, (2018).

1.3.2.2. FUNCIONAMIENTO MODO MDO O HFO

En estos casos, el motor trabajaría como un motor de ciclo diésel clásico, siendo sus fases las siguientes:

-*Admisión*: El pistón, situado en la zona más alta de su recorrido, comienza a descender, mientras que el aire se introduce en la cámara a través de la válvula de entrada, la cual está abierta. Diagrama P-V: E-A.

-*Compresión y combustión*: El pistón asciende comprimiendo el aire (llegándose a alcanzar relaciones de compresión de 1/16), y una vez que está cerca del punto más alto de su recorrido y continuando hasta que el pistón vuelve a estar un poco alejado de dicho punto, el inyector de MDO y HFO (es el mismo, aunque no puede inyectar ambos combustibles a la vez) introduce el combustible seleccionado. Paralelamente, y aunque es totalmente dispensable, el inyector de combustible piloto sigue actuando (el combustible empleado es mínimo) con el propósito de evitar una posible obstrucción. En esta situación, y durante un periodo algo superior al del ciclo de Otto, se produce la combustión del combustible con el gas. Diagrama P-V: B-C (Compresión) y C-D (Combustión).

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 15/148

-*Expansión*: Las altas temperaturas provocan un aumento del volumen de los gases, realizando un trabajo sobre el pistón que provoca un desplazamiento del mismo hacia la zona inferior de su recorrido. Diagrama P-V: C-D.

-*Escape*: Cuando finalmente llega a la zona más baja de su recorrido, la válvula de escape se abre, saliendo los gases generados de la combustión. A medida que el pistón asciende por la cámara, se van expulsando los gases residuales que todavía quedan en su interior, hasta llegar finalmente a la parte superior. Diagrama P-V: D-A (Apertura de la válvula de escape) y A-E (Ascensión del pistón).

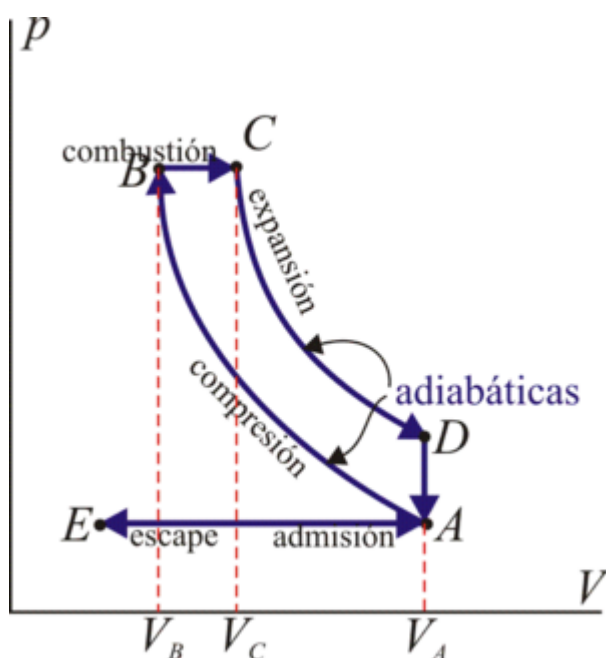


Figura 2. Diagrama P-V del ciclo Diésel ideal. Fuente: *Universidad de Sevilla, (2018)*.

1.4. NORMAS Y REFERENCIAS

1.4.1. NORMAS

El diseño del presente proyecto se ha realizado siguiendo las pautas indicadas en las siguientes normativas y reglamentaciones:

-Códigos adoptados por la OMI:

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 16/148

IGF Code, 2015. International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels.

MSC.285(86), 2009. Interim guidelines on safety for natural gas-fuelled engine installations in ships.

SOLAS, 2016. Chapter II-1, Construction – Structure, subdivision and stability, machinery and electrical installations).

Part F. Alternative design and arrangements.

Part G. Ships using low-flashpoint fuels.

-Reglamentos empleados por las Sociedades de Clasificación:

Bureau Veritas Rules.

NR529 R02, 2017. Gas-fuelled ships.

NR627 R01, 2017. Gas-prepared ships.

NR467 Steel Ships, 2018. Part C, Chapter 1, sections 10 and 13.

DNV Rules and Guidelines. VI - Additional Rules and Guidelines. Part 3 - Machinery Installations. Chapter 1 - Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ships, 2010.

-Normas:

UNE-EN ISO 16903, 2016. Industrias del petróleo y del gas natural. Características del GNL que influyen en el diseño y en la selección de los materiales.

UNE 15701, 2014. Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 17/148

1.4.2. BIBLIOGRAFÍA

Arnesti Arrizabalaga, Seth. (2017). *Adecuación del ropax Passió per Formentera para operar en 2020 y en un área de control de emisiones* (Trabajo fin de Máster). Escuela Técnica Superior de Náutica, Santander.

Boned Vargas, Joan. (2013). *Análisis y propuesta de cumplimiento de los requisitos ambientales de los buques de short sea shipping para el año 2013* (Proyecto de final de carrera). Facultat de Nàutica de Barcelona, Barcelona.

Chaddi, Mahmoud. (2014). *Análisis de la utilización del LNG en los buques de pasaje en España, desde una perspectiva legislativa-ambiental* (Proyecto final de carrera). Facultat de Nàutica de Barcelona, Barcelona.

Delft, Germanischer Lloyd, MARINTEK y Det Norske Veritas. (2006). *Greenhouse Gas Emissions for Shipping and Implementation Guidance for the Marine Fuel Sulphur Directive*. CE Delft Solutions for environment, economy and technology.

G.G.M. Watson. (1998). *Practical Ship Design*. Londres: Elsevier Science.

Joško Dvornik, Srđan Dvornik. (2014). *Dual-Fuel-Electric Propulsion Machinery Concept on LNG Carriers*. Faculty of Maritime Studies, Split (Croacia).

Larrea Ortiz de Mendivil, Estefanía M. (2016). *Estudio teórico de motores marinos actuales empleados en propulsión* (Trabajo fin de Máster). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, Madrid.

López, Francisco de Manuel. (2015). *Evaluación de las consecuencias de la nueva regulación de la OMI sobre combustibles marítimos* (Tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, Madrid.

Marcelo Arias, Jorge. (2006). *Gas Natural Licuado, tecnología y mercado* (Trabajo de investigación). Instituto General de la Energía "General Mosconi", Buenos Aires (Argentina).

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 18/148

Mesa Márquez, Jhoan Andrés. (2016). *Sistemas de control de emisiones en el buque tanque “hespérides”* (Trabajo fin de grado). Escuela Técnica Superior de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval, La Laguna.

Otero, San Miguel. (2014). *Estudio técnico, económico y ambiental de la utilización de gas natural licuado (GNL) como combustible naval* (Proyecto fin de Máster). Escuela Técnica Superior de Náutica, Santander.

Parra García, Jon. (2013). *Cálculo y diseño de la ventilación de aire en la sala de máquinas de un buque tanque* (Proyecto fin de carrera).). Escuela Técnica Superior de Náutica, Santander.

Peña Alemán, Humberto. (2016). *Medidas para la reduccion de gases contaminantes en motores marinos* (Trabajo fin de grado). Escuela Técnica Superior de Náutica y Máquinas, A Coruña.

Ruiz Canet, Jorge. (2013). *Mejora de la eficiencia energética de un buque de ro-pax* (Proyecto fin de carrera). Escuela Técnica Superior de Náutica, Santander.

Sáenz Larrañaga, Javier. (2016). *Análisis del comportamiento energético y ambiental de la planta operada en modo gas y dual (fuel-gas) del buque Hispania Spirit, de 26.000 kw de potencia* (Trabajo fin de grado). Escuela Técnica Superior de Náutica, Santander.

Sin, Mihaela. (2014). *Instalación y análisis de un sistema de limpieza de gases de escape para un buque ro-ro* (Proyecto final de carrera). Facultat de Nàutica de Barcelona, Barcelona.

Terrados, Marina; Zorzo, Alejandro. (2016). *Ferry pasaje: proyecto fin de carrera Nº 1575* (Proyecto fin de grado). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, Madrid.

A la hora de adquirir información, también se emplearon las siguientes páginas web como fuente de información:

Bureau Veritas, (2018). <http://erules.veristar.com/dy/app/bootstrap.html>, (consultado en enero de 2018).

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 19/148

Bureau Veritas, (2018). <http://www.bureauveritas.com.ar/home/about-us/our-business/marine/marina/servicios-maritimos/se/eficiencia-energetica-de-los-barcos>, (consultado en enero de 2018).

Destaco Ingenieros, (2018). <http://www.destacoingenieros.com> (consultado en marzo de 2018).

DieselNet, (2018). <https://www.dieselneta.com/standards/inter/imo.php>, (consultado en enero de 2018).

gCaptain, (2018). <http://gcaptain.com/international-chamber-shipping/>, (consultado en enero de 2018).

Geoinnova, (2018), <https://geoinnova.org/blog-territorio/objetos-derivados-del-petroleo/>, (consultado en febrero de 2018).

Meproduction, (2018). <http://meproduction.dk/products/mx-scrubber/>, (consultado en febrero de 2018)

NovAx™, (2018). <https://www.novenco-building.com/media/14215/novax-cat-gb-mu15599.pdf> (consultado en marzo de 2018).

OMI, (2018). <http://www.imo.org/es/about/paginas/default.aspx>, (consultado en febrero de 2018).

OMI, (2018). [http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93Regulation-13.aspx), (consultado en febrero de 2018).

OMI, (2018). [http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93Regulation-14.aspx), (consultado en febrero de 2018).

OMI, (2018). [http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Volatile-organic-compounds-\(VOC\)-%E2%80%93Regulation-15.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Volatile-organic-compounds-(VOC)-%E2%80%93Regulation-15.aspx), (consultado en febrero de 2018).

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 20/148

PANASIA, (2018). http://www.pan-asia.co.kr/english/catalog/pasox_20150421.pdf, (consultado en febrero de 2018).

Separator, (2018). <http://www.separatorequipment.com/products/centrifuges/mab-102>, (consultado en marzo de 2018).

Ship & Bunker, (2018). <https://shipandbunker.com/prices/am/nampac/ca-van-vancouver>, (consultada en febrero de 2018).

SlidePlayer, (2018). <http://slideplayer.com/slide/4765445/>, (consultado en febrero de 2018).

Tecnología Marítima, (2018). <http://tecnologia-maritima.blogspot.com.es/2013/03/contro-de-emisiones-en-motores-marinos.html>, (consultado en enero de 2018).

Universidad de Chile, (2018). <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno10/mitigacion/Portada.html>, (consultado en febrero de 2018).

Universidad de Sevilla, Departamento de Física Aplicada III, (2018). http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Diesel, (consultado en enero de 2018).

Universidad de Sevilla, Departamento de Física Aplicada III, (2018). http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Otto, (consultado en enero de 2018).

Wärtsilä, (2018). <https://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas-engines-generating-sets/dual-fuel-engines/wartsila-20df>, (consultado en enero de 2018).

1.5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Capacidad energética: También conocida como *poder calorífico* es la cantidad de energía que puede desprender un combustible por unidad de

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 21/148

masa o volumen debido a su combustión. Suele expresarse en kcal/kg, kWh/Tm o kcal/m³.

Diagrama P-V (Presión-Volumen): Este tipo de diagrama, también conocido como *diagrama de Clapeyron*, refleja el estado de un sistema o proceso termodinámico, ubicando la presión en el eje de ordenadas y el volumen en el eje de abscisas.

ECA (Emission Control Area): Término que hace referencia a zonas asignadas por la OMI, tras la elaboración y análisis de un estudio, donde existen restricciones en la emisión de SO_x, NO_x y PM.

EEDI (Energy Efficiency Design Index): El Índice de Eficiencia Energética expresa el impacto medioambiental de un barco en función de los beneficios que genera a la sociedad expresado en gramos de CO₂ por milla recorrida y tonelada transportada.

GNL (Gas Natural Licuado): Es el fluido en estado líquido compuesto fundamentalmente por mezclas de hidrocarburos ligeros, con predominio del metano.

GLP (Gas Licuado del Petróleo): Hidrocarburos gaseosos a temperaturas y presiones normales, pero que se transforman fácilmente en líquidos bajo una presión moderada a temperaturas normales, por ejemplo, propano y butano.

HFO (Heavy Fuel Oil): El fuel oil pesado es un combustible compuesto por los residuos de la destilación del petróleo crudo. Su poder calorífico ronda alrededor de 40 MJ/kg, su densidad oscila entre 0,94 y 1,05 kg/l y su temperatura de ignición es de 120°C.

IFO (Intermediate Fuel Oil): Combustible compuesto de un 88% de combustible residual y de 12% de combustible destilado, con el fin de adaptarse mejor a las necesidades de manipulación, bombeo y viscosidad. Su densidad es de unos 970 kg/m³ y su poder calorífico de 40 MJ/kg.

Licuefacción: Proceso a través del cual una sustancia pasa de estado gaseoso a líquido debido al aumento de presión y la disminución de la temperatura, generando una sobrepresión elevada.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 22/148

MARPOL (MARitime POLLution): El Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques es el principal convenio internacional que versa sobre la prevención de la contaminación del medio marino por los buques a causa de factores de funcionamiento o accidentales.

MCR (Maximum Continuous Rating): Es la potencia máxima que puede desarrollar un motor de manera ininterrumpida.

MDO (Marine Diesel Oil): Es un tipo de fuel oil cuya composición se fundamenta en una mezcla de MGO y HFO, siendo la cantidad de concentración de gasoil inferior a la que podemos encontrar en el IFO (Intermediate Fuel Oil). Se suele emplear en motores diésel marinos de media y alta velocidad. Su densidad es de 850 kg/l, su poder calorífico ronda los 36 MJ/l y su temperatura de ignición es de 52°C.

MGO (Marine Gas Oil): Combustible más destilado entre los usados en el mundo marino compuesto fundamentalmente por parafinas, cuya densidad es de 835 kg/m³, y cuyo poder calorífico ronda los 43,1 MJ/kg.

Metano: Gas incoloro, inflamable y no tóxico cuya fórmula química es CH₄.

Motor auxiliar: Motor de menor tamaño que el principal, y normalmente de 4 tiempos, cuyo propósito fundamental es suministrar energía eléctrica al resto del buque.

OMI (Organización Marítima Internacional): Es la autoridad mundial encargada de establecer normas para la seguridad, la protección y el comportamiento ambiental que ha de observarse en el transporte marítimo internacional. Su función principal es establecer un marco normativo para el sector del transporte marítimo que sea justo y eficaz, y que se adopte y aplique en el plano internacional.

pH (potencial de Hidrógeno): medida de acidez o alcalinidad de una disolución que indica la concentración de iones hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. En disoluciones acuosas la escala de pH varía de 0 a 14. Son ácidas las disoluciones con pH menores que 7, mientras que las

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 23/148

disoluciones alcalinas tienen un pH superior a 7. La disolución se considera neutra cuando su pH es igual a 7.

PM (Particulate Matter): Pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen dispersas en la atmósfera. En nuestro caso se hace especial referencia a las originadas por la combustión en los motores.

ppm (Partes por millón): Unidad de medida con la que se representa la concentración. Hace referencia a la cantidad de unidades de una determinada sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto.

Relación de compresión: Es el número que permite medir la proporción en volumen de mezcla (bien sea aire en un ciclo diésel o aire-combustible en un ciclo de Otto) que ha sido comprimida dentro de la cámara de combustión de un cilindro.

SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan): Es una medida operativa que establece un mecanismo para mejorar la eficiencia energética de un buque de forma rentable. También tiene como objetivo proporcionar un enfoque a las compañías navieras para que administren el rendimiento de eficiencia de los buques.

Sociedades de Clasificación: Son grupos de profesionales sin ánimo de lucro que se encargan de promover la seguridad de la vida humana, del entorno marino y de las construcciones relacionadas con el entorno marino (buques y plataformas) a través de una serie de Reglas de Clasificación.

Temperatura de autoignición: También conocida como *temperatura de autoinflamación*, es a la temperatura mínima a la que un combustible, sometido a presión atmosférica, al entrar en contacto con el aire inicia, de manera espontánea, una reacción de combustión en cadena sin necesidad de una fuente de calor externa.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 24/148

1.6. REQUISITOS DE DISEÑO

1.6.1. DATOS PRINCIPALES DEL BUQUE

El buque objeto de estudio fue construido en 2008 y en cuanto a las dimensiones principales, consta de 101 metros de eslora, 17 metros de manga y 4,3 metros de calado.

Está propulsado por 2 motores Bergen B32:40L9P de 4 tiempos cuyo MCR es de 4.500 kW (6120 HP) y la velocidad media del motor es de 750 rpm, lo que permite al buque navegar a una velocidad de crucero de 20 nudos.

Por otro lado, tiene 3 motores auxiliares Mitsubishi S6R2-MPTA de 4 tiempos y de MCR 610 kW, encargados de abastecer al buque de la energía eléctrica necesaria.

1.6.2. DATOS DE LA INSTALACIÓN A DESARROLLAR

Se va a instalar un motor Wärtsilä 6L20DF en la cubierta 6, dentro de una caseta ubicada entre las cuadernas. Junto a dicho motor, se instalarán los sistemas auxiliares siguientes (que se encontrarán también en el interior de la caseta): sistema de combustible GNL, sistema de combustible de MDO, sistema de lubricación, sistema de aire comprimido, sistema de refrigeración, sistema de aire de combustión, sistema de gases de escape y sistema de gas inerte.

1.7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

En este apartado de la memoria se pretende indicar las emisiones de gases procedentes de los buques, su regulación y normativa, y las diferentes alternativas de las que disponemos para la disminución de las mismas.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 25/148

1.7.1. PRINCIPALES EMISIONES DE GASES PERJUDICIALES

El transporte marítimo es el medio de transporte más rentable tanto a nivel económico como ambiental, acaparando gran parte del volumen total del transporte mundial. Sin embargo, al ser tan empleado y aumentar progresivamente año tras año, las emisiones de gases perjudiciales también se están incrementando, y pese a ser proporcionalmente inferiores a las del resto de medios de transporte, éstas representan un gran valor de las emisiones mundiales.

Dentro de estos gases perjudiciales para la atmósfera, se distinguen dos grupos muy marcados: los gases contaminantes y los gases de efecto invernadero.

Los gases contaminantes, principalmente óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), son aquellos cuyos efectos perjudiciales se dan lugar en un radio relativamente reducido. A su vez, pueden afectar tanto al ecosistema en el que son emitidos como a la propia salud humana de las personas que estén en relativo contacto con ellos.

Por otro lado, los gases de efecto invernadero, esencialmente el dióxido de carbono (CO₂), no están caracterizados porque su zona de influencia sea de una distancia reducida, ni porque afecte directamente al ecosistema o a la salud humana, sino porque tienen un efecto acumulativo en las capas altas de la atmósfera, lo que provoca el aumento del efecto invernadero (el cual analizaremos atentamente más tarde).

1.7.1.1. ÓXIDOS DE AZUFRE

Son compuestos químicos formados por átomos de azufre y de oxígeno, existiendo 3 compuestos diferentes en función de la valencia (número de oxidación) con la que actúe el azufre:

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 26/148

-*Monóxido de azufre*: Es un compuesto muy inestable formado por un átomo de azufre (valencia 2) y otro de oxígeno. Es muy raro encontrarlo en la Tierra, por lo que no merece la pena que realicemos un análisis exhaustivo.

-*Dióxido de azufre*: Es el óxido de azufre característico emitido por los motores que emplean combustibles fósiles, y está formado por un átomo de azufre (valencia 4) y dos de oxígeno. Es un gas incoloro, irritante a partir de concentraciones de 3 ppm, y que pese a tener una densidad 2,2 veces superior al aire, se desplaza con mucha facilidad por la atmósfera, ya que es un gas bastante estable. El verdadero problema de estos gases es que su oxidación genera SO₃.

-*Trióxido de azufre*: Se genera, como se acaba de mencionar, por la oxidación del SO₂, y su molécula consiste en un átomo de azufre (valencia 6) y tres de oxígeno. En presencia de agua o humedad reacciona, debido a su acidez, de manera rápida y exotérmica, dando lugar a ácido sulfúrico, el cual se acumula en las nubes. En esta situación, cuando se dan precipitaciones, el ácido sulfúrico se deposita, dañando tanto los ecosistemas (en especial si el suelo sobre el que cae es de naturaleza ácida, dañando la fauna y flora autóctonas, así como provocando la acidificación de los ríos) como las infraestructuras y construcciones, debido a su poder corrosivo.

Se estima que el las emisiones de SO_x generadas por el transporte marítimo corresponden al 21% de las emisiones totales mundiales, y prácticamente el 100% de las vinculadas con el transporte.

1.7.1.2. ÓXIDOS DE NITRÓGENO

Son aquellos compuestos químicos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno, siendo el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) los más emitidos a la atmósfera, así como los más importantes en el ámbito toxicológico.

Los óxidos de nitrógeno son emitidos, entre otros casos, por los motores diésel, así como aquellos que utilizan mezcla pobre. El nitrógeno que

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 27/148

contienen estos combustibles, durante la combustión, al estar a tanta temperatura, reacciona con el oxígeno, formando principalmente monóxido de nitrógeno. Este gas, en la atmósfera, se oxida con ayuda de la luz solar, dando lugar al dióxido de nitrógeno.

Este último gas es precursor de partículas de nitrato y, si está en presencia de agua, o de humedad, en su defecto, da lugar a la formación de ácido nítrico (HNO₃), a partir de la siguiente ecuación: $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$.

Este ácido nítrico acumulado en las nubes precipita en forma de lluvia ácida, causando estragos tanto a nivel, medioambiental como en el caso de construcciones e infraestructuras.

En cuanto a las emisiones de NO_x procedentes de los buques, se estima que corresponden al 19% de las emisiones totales globales, debido especialmente a la impureza de los combustibles empleados en el mundo marino.

1.7.1.3. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

Son sustancias químicas que contienen carbono, cuya transformación a vapor o gas es relativamente sencilla, pudiendo contener otros elementos, como flúor, hidrógeno, bromo, cloro, oxígeno, nitrógeno o azufre. Para ser más exactos, según la normativa europea son compuestos orgánicos ligeros con una presión de vapor inferior a 0,021kPa a 295,15K, conteniendo menos de 12 átomos de carbono y otros grupos funcionales diversos.

Los COV son emitidos por la quema de combustibles, especialmente de la gasolina y del gas natural, y aunque hay más de un millar de compuestos considerados COV, los más representativos son el metano, el etano, el propano y el butano.

Dos de sus principales problemas son su alta inflamabilidad (arden con cierta facilidad en contacto con el aire) y su gran reactividad química. Este tipo de compuestos son muy activos en cuanto a la química atmosférica: con ayuda de los óxidos de nitrógeno y de la luz solar, son los principales precursores del fenómeno atmosférico conocido como “smog fotoquímico”. A su vez, los

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 28/148

COV tienen la capacidad de destruir la capa de ozono, así como de influir en el cambio climático.

1.7.1.4. DIÓXIDO DE CARBONO

El dióxido de carbono es un gas incoloro cuya molécula se fundamenta en dos átomos de oxígeno y una de carbono. Su concentración en la atmósfera ronda el 0,04% en volumen, y su presencia es de vital importancia para la vida en la tierra, siendo la principal fuente de carbono, así como unos de los principales gases encargados de retener el calor proporcionado por la radiación solar.

Aunque es cierto que el CO₂ es un producto de la respiración de todos los organismos aeróbicos, no es la principal causa del notable incremento del mismo en el último siglo (en especial de los últimos 50 años), siendo esta la combustión de los derivados del petróleo (90% de las emisiones totales de CO₂ a la atmósfera). Actualmente se emiten 41,5 gigatoneladas anuales a la atmósfera, proviniendo 36,8 gigatoneladas de las emisiones de combustibles fósiles y de la industria. En cuanto a los buques, se estima que estos emiten en torno al 2,5% de las emisiones totales de CO₂ (una gigatonelada, aproximadamente).

Desde los inicios de la revolución industrial, la concentración de CO₂ en la atmósfera ha variado de 280 ppm a casi alcanzar las 380 ppm (372 ppm). Además, el ritmo de aumento de concentración ha pasado de 0,5 ppm/año a principios de 1960 a 2 ppm/año actualmente.

El problema llega cuando en el ciclo del CO₂ los bosques y los océanos son incapaces de reabsorber todo el CO₂ generado. Actualmente, los bosques reabsorben el 30% del CO₂ total producido, mientras que los océanos el 25%. En esta situación, nos encontramos ante diversos problemas:

El primero y fundamental es el efecto invernadero. El 45% de CO₂ restante que no es reabsorbido en el ciclo del CO₂ se queda en el interior de la atmósfera, absorbiendo cada vez más calor (en vez de reflejarlo) e intensificando el efecto invernadero, incrementándose la temperatura media

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 29/148

mundial 0,2°C por década. Esto afectaría de diferentes maneras tanto al clima como a los ecosistemas, influyendo en numerosos aspectos (humedad, precipitaciones, reducción de zonas glaciares y de agua dulce...).

En segundo lugar, y centrándonos en el mundo marítimo, el incremento de las emisiones de CO₂ en el medio marino provoca la disminución del pH del agua, acidificándola, disminuyendo la concentración de carbonatos, afectando de diferentes formas al ecosistema. Algunos ejemplos serían, como en el caso de crustáceos y moluscos, la incapacidad de fabricar sus exoesqueletos (ausencia de carbonato de calcio), o de la decoloración de los corales.

1.7.2. MARPOL 73/78, ANEXO VI

El Convenio Internacional para prevenir la Contaminación de los Buques, también conocido como MARPOL 73/78, es un conjunto de normativas internacionales que se encargan de la regulación y prevención de la contaminación del medio marino generada por los buques, bien sea por causas operativas o accidentales. Es producto de dos tratados adoptados en 1973 y 1978, los cuales están sometidos a una actualización continua con el transcurso del tiempo, a través de diversas modificaciones.

Aunque es cierto que el tema de la contaminación marítima había sido tratado con anterioridad, como es el caso del OILPOL de 1954, no sería hasta 1972 cuando la Conferencia de las Naciones Unidas debatiera en Estocolmo la problemática del Medio Ambiente Humano.

En esta situación, el 2 de noviembre de 1973, tras celebrarse la primera Conferencia sobre el Convenio MARPOL, convocada por la OMI, se aprobó el Convenio MARPOL 1973, aunque sería modificada posteriormente a través del Protocolo de 1978, el cual absorbió la Convención original dando lugar al Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques de 1973 modificado por el Protocolo de 1978, más conocido como MARPOL 73/78. Su entrada en vigor llegaría el 2 de octubre de 1983 con los Anexos I

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 30/148

y II, incluyendo normas destinadas a la reducción y prevención de la contaminación por los buques, en especial en situaciones de accidente y de operaciones rutinarias.

Actualmente el Convenio MARPOL 73/78 consta de 6 anexos:

- Anexo I*: Reglas para prevenir la contaminación por Hidrocarburos.
- Anexo II*: Reglas para prevenir la contaminación por Sustancias Nocivas Líquidas Transportadas a Granel.
- Anexo III*: Reglas para prevenir la contaminación por Sustancias Perjudiciales Transportadas por Mar en Bultos.
- Anexo IV*: Reglas para prevenir la contaminación por las Aguas Sucias de los Buques.
- Anexo V*: Reglas para prevenir la contaminación por las Basuras de los Buques.
- Anexo VI*: Reglas para prevenir la contaminación Atmosférica ocasionada por los Buques.

1.7.2.1. ANEXO VI

Este anexo entró en vigor el 19 de mayo de 2005, aunque ha sufrido numerosas enmiendas, y tiene como objetivo prevenir la contaminación del aire originada tanto por los buques como por las plataformas fijas y flotantes, asignando límites a los distintos tipos de emisiones tanto a escala global como en zonas específicas, cuya regulación está más restringida.

El Anexo VI consta de 4 capítulos: los dos primeros son *Generalidades y Reconocimiento, certificación y medios de control*, respectivamente. El tercero se titula *Prescripciones para el control de las emisiones de los buques*, en el cual encontramos, entre otros aspectos, los parámetros a tener en cuenta en las emisiones de: sustancias que agotan la capa de ozono (*Regla 12*), óxidos de nitrógeno (*Regla 13*), óxidos de azufre (*Regla 14*), compuestos orgánicos volátiles (*Regla 15*) y gases emitidos por la incineración a bordo (*Regla 16*). El capítulo 4, *Reglas sobre la eficiencia energética en los buques*, pretende

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 31/148

estipular aspectos relacionados con la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, como lo son el EEDI (*Reglas 20 y 21*) y el SEEMP (*Regla 22*).

A continuación se procederá a exponer la normativa vigente recogida en el Anexo VI respecto a las restricciones de los diferentes tipos de emisiones que genera un buque, así como los requisitos que debe cumplir en lo que a eficiencia energética se refiere.

1.7.2.1.1. Sustancias que agotan la capa de ozono

Está prohibido la emisión deliberada de sustancias que agoten la capa de ozono, incluidas las producidas durante el mantenimiento, la revisión, la reparación o la eliminación de equipos (excluyéndose cantidades mínimas durante la recuperación o reciclaje).

A su vez se prohíbe el uso de instalaciones que requieran sustancias que agotan la capa de ozono, siempre que no sean hidroclorofluorocarbonos, cuyo uso estará permitido hasta el 1 de enero de 2020.

1.7.2.1.2. Óxidos de nitrógeno

Esta norma es aplicable a los motores diésel cuya potencia sea superior de 130 kW y que hayan sido instalados a partir del 1 de enero de 2000, exceptuando los motores diésel de emergencia, motores instalados en equipos destinados únicamente en caso de emergencia (como podrían ser botes salvavidas) y motores empleados para conducir la maquinaria dedicada a la exploración y explotación de recursos minerales en alta mar.

Esta norma establece unos límites en función de las revoluciones por minuto del motor y el año de construcción, conocidos como “tier” (podríamos traducirlo como “nivel” o “tramo”) y que podemos ver en la siguiente gráfica:

Tabla 3. Límites de NO_x en g/kWh según la regla 13 del Anexo VI del MARPOL 73/78. Fuente: OMI, (2018).

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 32/148

Nivel	Fecha de construcción del buque	Valor límite de emisión ponderada total del ciclo (g/kWh) n = régimen nominal del motor (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 enero 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ por ejemplo, 720 rpm – 12.1	9.8
II	1 enero 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ por ejemplo, 720 rpm – 9.7	7.7
III	1 enero 2016*	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ por ejemplo, 720 rpm – 2.4	2.0

Actualmente, a nivel mundial se deben cumplir los límites establecidos por el *nivel II* exceptuando 2 circunstancias:

-Los motores existentes instalados entre 1990 y 1999 cuya potencia de salida supere 5000 kW y tengan una cilindrada igual o superior a 90 litros deberán cumplir con los límites establecidos por el *nivel I*.

-Los motores marinos que se instalen en un buque a partir del 1 de enero de 2016 y que navegue en la zona ECA DE Norteamérica y del mar Caribe de Estados Unidos deberán cumplir con los límites señalados por el *nivel III*.

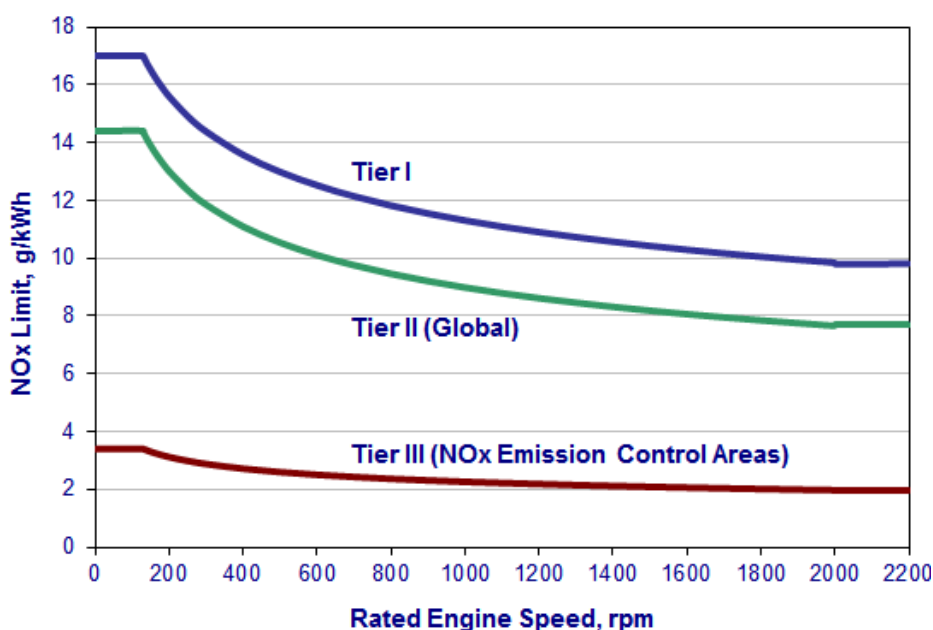


Figura 3: Límites de NOx en g/kWh según la regla 13 del Anexo VI del MARPOL 73/78. Fuente: OMI, (2018).

1.7.2.1.3. Óxidos de azufre

Esta norma es aplicable a todos los equipos y dispositivos de combustión que empleen todo tipo de fueloil, incluyendo tanto motores principales como secundarios, así como calderas y generadores de gas inerte. La limitación de azufre contenido en el fueloil es expresado en % masa/masa, es decir, en peso, y distingue dos zonas de aplicación: zonas de control de emisiones (SECA, incluyendo puertos europeos, y ECA), donde actualmente el contenido de azufre de los combustibles empleados no puede superar el 0,1%; y las zonas restantes, donde el porcentaje de azufre de los combustibles no puede superar el 3,5%.

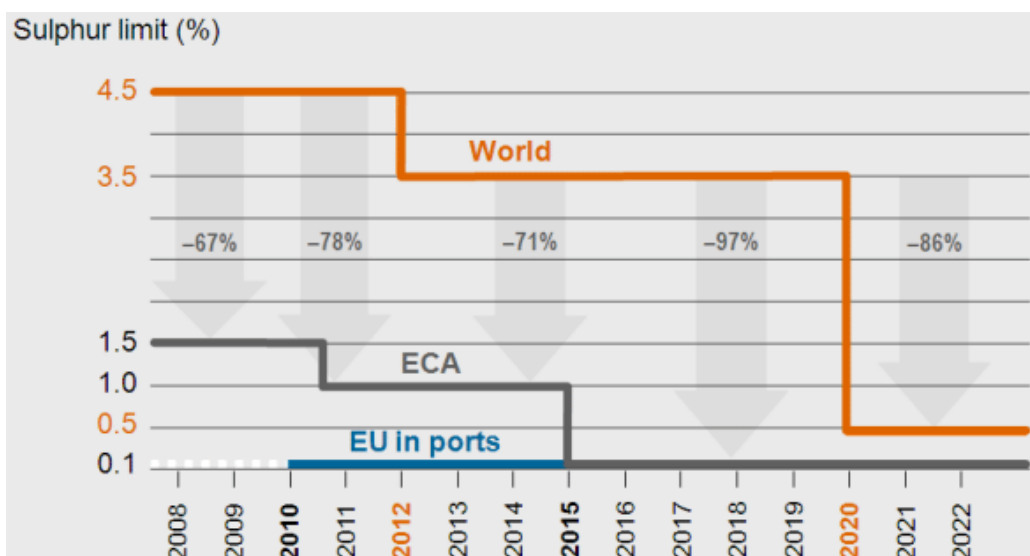


Figura 4: Evolución de las limitaciones de contenido de azufre en el combustible. Fuente: *gCaptain*, (2018).

Aunque esté previsto la reducción de contenido de azufre de 3,5% a 0,5% a nivel mundial para 2020, existe una posibilidad de prórroga de que esta fecha sea aplazada hasta 2025.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 34/148

1.7.2.1.4. Compuestos orgánicos volátiles

Lo primero que hay que indicar sobre esta regla es que su aplicación se limitará a aplicarse a buques tanque, así como a gaseros cuyas características lo permitan. En esta norma se abarcan dos aspectos sobre el control de COV:

-El control de emisiones de COV emitidos cuando se trata de puertos específicos se trata a través de la obligación de emplear sistemas de control de las emisiones de vapores.

-Todo buque tanque que transporte petróleo crudo debe disponer de un plan de gestión de COV específico para cada buque implantado de una manera eficaz y conforme a las reglas de la resolución MEPC.185(59) y de la circular MEPC.1/Circ.680.

1.7.2.1.5. EEDI

El índice de eficiencia energética se aplicará a los buques nuevos o que hayan sufrido transformaciones importantes que superen las 400 toneladas de arqueo bruto, siendo específico para cada buque y dependiendo del tipo que sea.

La fórmula básica para calcular el EEDI genérico de un tipo de buque es:

“EEDI obtenido $\leq$ EEDI prescrito = $(1-X/100) \times$ Valor del nivel de referencia”,

siendo el valor “X” el *factor de reducción* para el EEDI prescrito en proporción al nivel de referencia.

Tabla 4. Factores de reducción (en %) del EEDI en comparación con el nivel de referencia del EEDI.
Fuente: *Capítulo 4 del Anexo VI del MARPOL 73/78.*

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 35/148

Tipo de buque	Tamaño	Fase 0 [1 enero 2013 – 31 dic. 2014]	Fase 1 [1 enero 2015 – 31 dic. 2019]	Fase 2 [1 enero 2020 – 31 dic. 2024]	Fase 3 [A partir del 1 enero 2025]
Granelero	20 000 TPM o más	0	10	20	30
	10 000 – 20 000 TPM	n/a	0-10 ⁺	0-20 ⁺	0-30 ⁺
Buque gasero	10 000 TPM o más	0	10	20	30
	2 000 – 10 000 TPM	n/a	0-10 ⁺	0-20 ⁺	0-30 ⁺
Buque tanque	20 000 TPM o más	0	10	20	30
	4 000 – 20 000 TPM	n/a	0-10 ⁺	0-20 ⁺	0-30 ⁺
Buque portacontenedores	15 000 TPM o más	0	10	20	30
	10 000 – 15 000 TPM	n/a	0-10 ⁺	0-20 ⁺	0-30 ⁺
Buque de carga general	15 000 TPM o más	0	10	15	30
	3 000 – 15 000 TPM	n/a	0-10 ⁺	0-15 ⁺	0-30 ⁺
Buque de carga refrigerada	5 000 TPM o más	0	10	15	30
	3 000 – 5 000 TPM	n/a	0-10 ⁺	0-15 ⁺	0-30 ⁺
Buque de carga combinada	20 000 TPM o más	0	10	20	30
	4 000 – 20 000 TPM	n/a	0-10 ⁺	0-20 ⁺	0-30 ⁺

Este *factor de reducción* se calculará interpolando los dos valores en función del tamaño del buque, siendo el factor más bajo para los buques más pequeños, y viceversa.

En cuanto al *nivel de referencia* se calcula de la siguiente manera:

Valor del nivel de referencia = $a \times b^{-c}$, siendo “a”, “b” y “c” los parámetros que se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 5. Parámetros para la determinación de los valores de referencia de los distintos tipos de buques. Fuente: *Capítulo 4 del Anexo VI del MARPOL 73/78*.

Tipo de buque definido en la regla 2	a	b	c
2.25 Granelero	961,79	Peso muerto del buque	0,477
2.26 Buque gasero	1 120,00	Peso muerto del buque	0,456
2.27 Buque tanque	1 218,80	Peso muerto del buque	0,488
2.28 Buque portacontenedores	174,22	Peso muerto del buque	0,201
2.29 Buque de carga general	107,48	Peso muerto del buque	0,216
2.30 Buque de carga refrigerada	227,01	Peso muerto del buque	0,244
2.31 Buque de carga combinada	1 219,00	Peso muerto del buque	0,488

En los inicios de la fase 1 y a mediados de la fase 2 se efectuarán exámenes de los avances tecnológicos, y si es necesario, se alargarán los plazos y se modificarán los valores del *nivel de referencia*, así como el de los *factores de reducción*.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 36/148

1.7.2.1.6. SEEMP

El plan de gestión de eficiencia energética del buque es obligatorio en todo tipo de buque, formando parte del sistema de gestión de la seguridad del buque, y siempre se elaborará teniendo presentes las directrices adoptadas por el Comité de Protección del Medio Marino.

1.7.3. SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES PERJUDICIALES

Para la reducción de todos los tipos de emisiones mencionados anteriormente, y cuya regulación, como se ha podido apreciar, aparece presente en el Anexo VI del MARPOL 73/78, existen numerosos sistemas y alternativas.

Nuestro buque transita por aguas europeas, por lo que su limitación más restrictiva en cuanto a emisiones será las relacionadas con los óxidos de azufre (siempre respetando los límites mundiales del resto de emisiones).

El propósito primordial del presente apartado es indicar y explicar las alternativas existentes para la reducción de todas estas emisiones, y centrarnos específicamente en las relacionadas con la reducción de las emisiones de óxidos de azufre.

1.7.3.1. SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO

Para la reducción de emisiones de óxidos de azufre (y generalmente partículas en suspensión) se distinguen dos grupos, los cuales suelen combinarse:

-Sistemas primarios: Actúan directamente sobre el proceso de combustión, minimizando la creación de nuevas sustancias contaminantes. En este grupo encontraríamos los siguientes sistemas: EGR (Recirculación de Gases de Escape), transformación a ciclo Miller, inyección de agua en la cámara de combustión e inyección de agua en el aire de admisión.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 37/148

-*Sistemas secundarios*: Son aquellos que actúan sobre el propio contaminante una vez que ya ha sido creado por el proceso de combustión, es decir, son instalados para tratar los gases de escape. En este grupo encontraríamos los sistemas SNCR (Reducción Selectiva No Catalítica) y los SCR (Reducción Selectiva Catalítica).

1.7.3.1.1. Sistemas EGR (Exhaust Gas Recirculation)

El principio fundamental de este sistema consiste en separar una parte de los gases de escape del motor antes de entrar en el turbocompresor, realizar un proceso de enfriamiento y limpieza, y recircularlos hasta la admisión de aire del propio motor, previo incremento de presión. De esta manera, los gases de escape se mezclan con el aire de barrido, disminuyendo la concentración de oxígeno e incrementando la masa de gas que será calentada en durante la combustión. De esta manera conseguimos reducir la temperatura máxima de combustión, ya que la capacidad calorífica de los gases de escape es más elevada que la del propio aire.

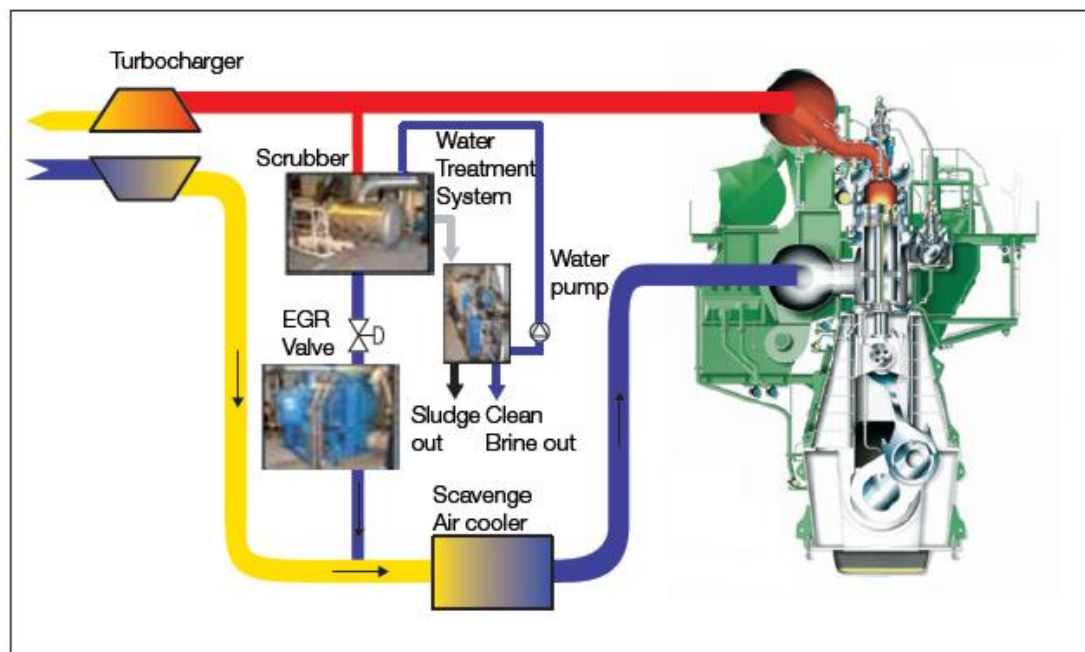


Figura 5. Funcionamiento y componentes del sistema EGR. Fuente: *Francisco de Manuel López, (2015).*

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 38/148

La reducción de óxidos de azufre se reduce entre un 20% y 85%, siendo prácticamente lineal la reducción de estas emisiones en relación con los gases de escape recirculados. Además, otras ventajas de este tipo de sistemas es que son relativamente económicos, además de poderse emplear con cualquier tipo de combustibles.

Sin embargo, como contrapartida encontramos que cuando se producen reducciones de óxidos de nitrógeno superiores al 30%, se produce un incremento considerable de MP, generando gran cantidad de hollín, el cual tupa las válvulas. Además, el rendimiento desciende, provocando un incremento del consumo de combustible, y por lo tanto, de emisiones de CO₂.

1.7.3.1.2. Ciclo Miller

El ciclo Miller es una variación del ciclo de Otto, cuyas principales diferencias son la modificación en los tiempos de apertura y cierre de las válvulas y el aumento de la relación de compresión debido a la presencia de un turbocompresor en la admisión.

Una temporización adecuada de la válvula de entrada hará que esta se cierre cuando haya transcurrido un 30% del tiempo desde el inicio del tiempo de compresión, lo que provoca que la compresión real suceda a un 70% del tiempo de compresión. De esta manera conseguimos los mismos niveles de presión de un motor de ciclo Otto, pero el pistón realiza menos trabajo (el turbocompresor se encarga de incrementar la presión del aire de entrada).

Este aumento de densidad del aire debido al incremento de presión generado por el turbocompresor, combinado con la disminución de temperatura generada por el intercooler (localizado entre el turbocompresor y la válvula de admisión del motor), provocan que la mezcla al final de la carrera del pistón tenga una temperatura considerablemente inferior.

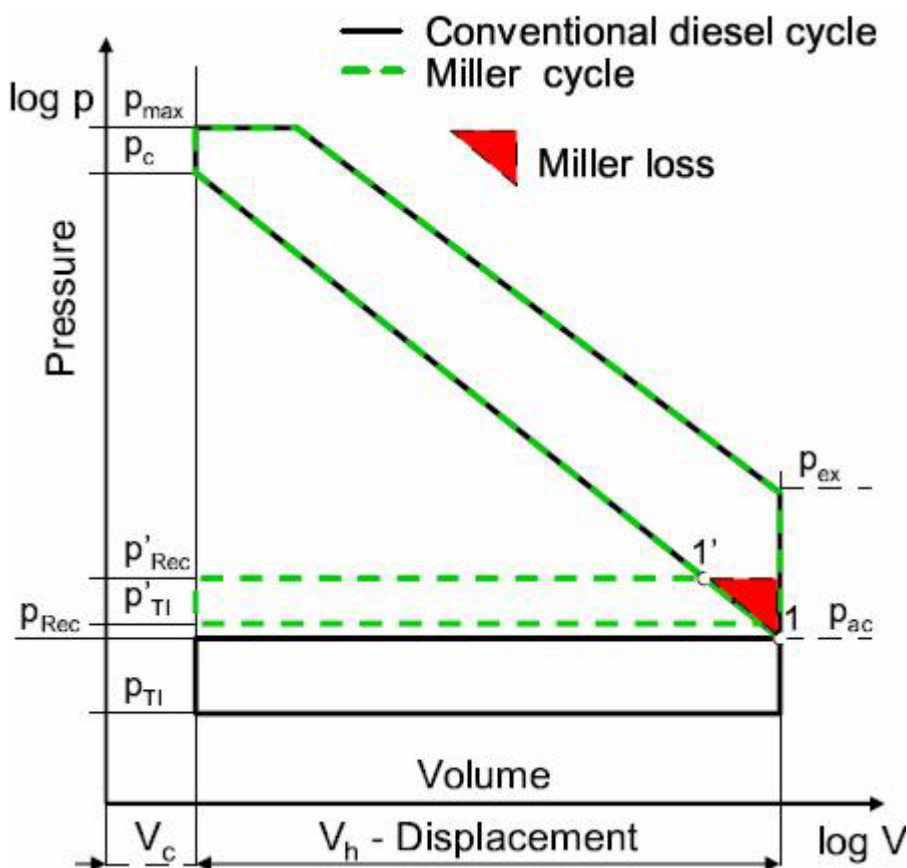


Figura 6. Diagrama P-V del ciclo Miller. Fuente: *Tecnología Marítima*, (2018).

Al disminuir la temperatura del ciclo manteniendo la presión constante conseguimos reducir las emisiones de NO_x en un 20%, manteniendo el consumo habitual e incrementando el rendimiento del motor.

1.7.3.1.3. Inyección de agua en la cámara de combustión

Este sistema de reducción de emisiones de NO_x , conocido en inglés como sistema DWI (Direct Water Injection), consiste en una válvula de inyección combinada, junto a una boquilla que permite la inyección de agua y de combustible en el cilindro.

La inyección de agua se realiza a través de un módulo de bomba que suministra esta a una presión entre 210 y 400 bares. Este proceso da lugar a un enfriamiento en el interior de la cámara, reduciendo de esta manera la generación de NO_x . Finalmente, acabado este proceso, se procede a la inyección del combustible.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 40/148

Cabe indicar que cada uno de los sistemas de inyección actúan independientemente el uno del otro, por lo que dicho sistema puede ser fácilmente desconectado sin afectar a la operatividad del motor.

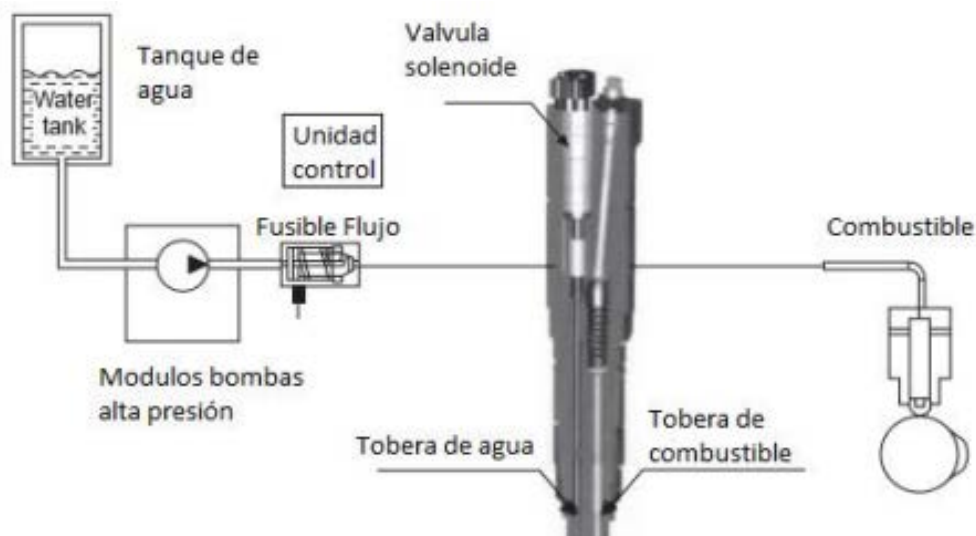


Figura 7. Inyectores de agua y combustible en el sistema DWI. Fuente: *SlidePlayer*, (2018).

El agua es inyectada con una relación respecto al combustible de 0,55:1, reduciendo en torno al 60% las emisiones de SO_x . La reducción de este tipo de emisiones será más eficiente siempre que se supere el 40% de carga del motor.

Sin embargo, el uso de este tipo de sistemas obliga a un mayor almacenaje de agua a bordo del buque, así como una mayor producción del agua dulce (el agua empleado debe estar en unas condiciones óptimas, libre de impurezas).

1.7.3.1.4. Inyección de agua en el aire de admisión

El aire de admisión es humidificado mediante la inyección de agua, rociándolo antes de introducirse en el motor, con el propósito de saturarlo. Este proceso se lleva a cabo tras la salida del aire del compresor, cuando la temperatura es alta, con el propósito de disminuirla.

El proceso en si se inicia cuando el agua es bombeada desde el tanque de almacenamiento (donde, gracias a un intercambiador de calor, el agua

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 41/148

incrementa de temperatura) hasta el humificador, donde el agua es pulverizada en el aire comprimido. En esta situación, se produce la conversión a fase de vapor de agua, provocando tanto aire saturado como una disminución de la temperatura, la cual hará que los picos de temperatura alcanzados dentro de la cámara de combustión sean inferiores a los habituales.

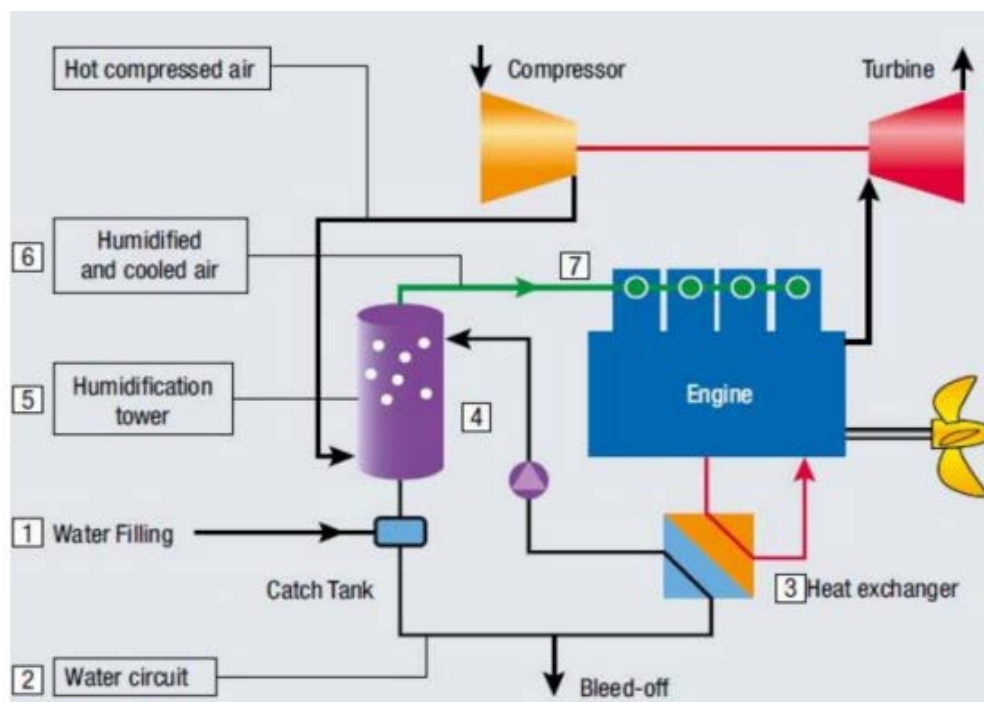


Figura 8. Esquema de funcionamiento del sistema de inyección de agua en el aire de admisión. Fuente. Humberto Peña Alemán, 2016.

A través de este sistema se pueden reducir las emisiones de NO_x entre un 40% y 80%, disminuyendo el consumo de combustible del motor alrededor del 3%, manteniendo su rendimiento. Su principal ventaja es que es un sistema fácil de instalar, y no requiere ningún tipo de cuidado especial en cuanto a mantenimiento.

1.7.3.1.5. Sistema SCR (Selective Catalytic Reduction)

Este tipo de sistemas son instalados entre el motor y la salida de humos (y antes del sistema scrubber, en el supuesto caso de que estuviera ya

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 42/148

instalado), y su fundamento se basa en un proceso catalítico que reduce de manera selectiva los óxidos de nitrógeno empleando amoníaco (NH_3) o urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), siempre en presencia de un catalizador.

Cuando los gases de escape son expulsados por el motor, son conducidos a través de un conducto hasta una carcasa. Aquí es inyectado el agente reductor, provocando la descomposición de los NO_x en agua y gas nitrógeno (N_2). Este proceso conllevaría mucho tiempo, por lo que es necesario la presencia de catalizadores que agilicen la reacción química.

Los catalizadores son unas superficies metálicas cuya composición puede ser de 4 tipos: óxidos de metales pesados, zeolitas, óxidos de hierro o de carbono activado. El propio catalizador no se consume, pero cuando se cubre con diversas impurezas, pierde eficiencia (suele ser más habitual cuando se emplean combustibles HFO que MDO).

A parte del catalizador, el sistema contiene un tanque de almacenamiento de reductor, así como una bomba de inyección y sistema de control. En algunas ocasiones es necesario instalar sistemas que incrementen la temperatura de los gases de escape, puesto que dicha reacción debe realizarse a temperatura entre 320°C y 450°C (nunca superando los 500°C , ya que provocaría daños en el catalizador).

SCR Selective Catalytic Reduction

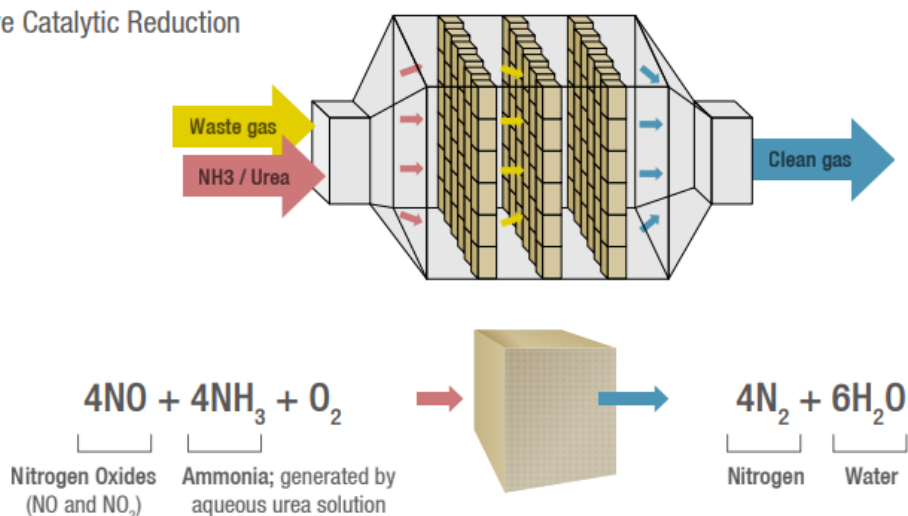


Figura 9. Reducción de NO_x del sistema SCR. Fuente. PANASIA, (2018).

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 43/148

Cabe decir que cuando se emplea urea como reductor, el amoníaco se forma en una de las etapas intermedias, lo que provoca, si se ha empleado una cantidad excesiva de agente reductor, que dicho amoníaco se emita a la atmósfera, además de producir corrosión en el sistema de escape.

Este tipo de sistemas reducen las emisiones de NO_x en torno al 90%. Además, al no intervenir en el proceso de combustión del motor, no afectan a su rendimiento. Sin embargo, pese a ocupar un espacio bastante reducido (de todo el sistema, lo que más ocupa es la carcasa que contiene el catalizador y el tanque de reductor), su gran inconveniente es tanto su inversión inicial como su mantenimiento.

1.7.3.1.6. Sistema SNCR (Selective Non Catalytic Reduction)

Este sistema se diferencia principalmente respecto al SCR en que carece de catalizador. Además, el rango de temperaturas en las que trabaja se comprende entre 850°C y 1150°C, dependiendo del tipo de agente reductor que empleemos (además de amoníaco y urea, también encontramos amoníaco cáustico).

El rango de temperaturas juega un papel fundamental, puesto que si este está por encima del establecido el agente reductor podría oxidarse, generando una producción de NO_x adicional. Por el contrario, una temperatura inferior a la estipulada supondría un decremento de la velocidad de reacción de los reductores, provocando la emisión de los mismos.

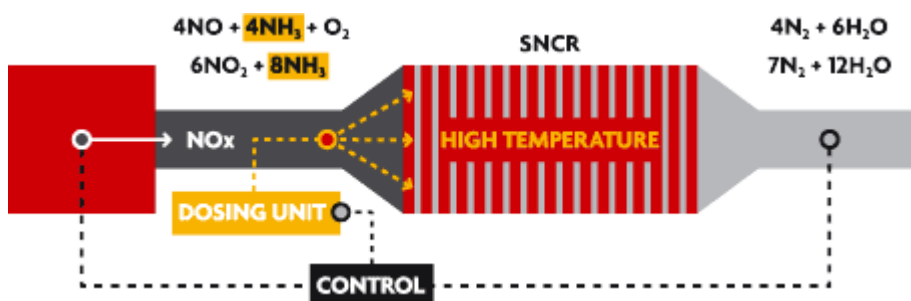


Figura 10. Reducción de SO_x a través del sistema SNCR. Fuente. *Universidad de Chile*, (2018).

Además de que la proporción de agente reductor debe ser altamente precisa, el tamaño de las gotas del mismo es un parámetro de gran relevancia, ya que

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 44/148

si las gotas son excesivamente pequeñas podrían evaporarse con mucha facilidad, mientras que si son muy grandes tardarían demasiado en evaporarse, facilitando la emisión de productos reductores.

Este tipo de sistemas pueden reducir hasta el 50% de las emisiones de NO_x (aunque es cierto que son más efectivos cuanto menor sean los niveles de emisión). Otra de las ventajas es que puede ser utilizado junto a las soluciones primarias, además de que es barato y fácil de instalar.

1.7.3.2. SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE ÓXIDOS DE AZUFRE

Como ya se ha mencionado a lo largo del presente proyecto, nuestro buque debe cumplir con las limitaciones, en lo que a emisiones de SO_x se refiere, propias de las zonas SECA (uso de combustibles con un máximo de 0,1% de contenido en azufre), puesto que navega entre puertos europeos. Ante este contexto, son 4 las posibilidades que encontramos a la hora de cumplir con dichas limitaciones: SSE (Shore-Side Electrical), uso de combustibles con bajo contenido en azufre, instalación de scrubbers (sistemas de limpieza de gases de escape) o uso de GNL como combustible alternativo.

1.7.3.2.1. SSE (Shore-Side Electrical)

Consiste en conectar el sistema eléctrico de a bordo del buque a tierra, de tal forma que la energía eléctrica generada por los motores auxiliares queda sustituida por la energía eléctrica generada en tierra.

A la hora de poner en marcha este mecanismo, son 4 los factores esenciales que se deben tener en cuenta:

-Acometida de red eléctrica nacional: Dicha red eléctrica, además de ser extendida hasta el puerto (como sucede actualmente) deberá contener la potencia suficiente para poder administrar energía eléctrica a numeroso buques.

-Acondicionamiento de energía eléctrica: Pese a que la red eléctrica sea extendida de manera normalizada a todo los puertos, cada uno de estos

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 45/148

deberá contener unas instalaciones eléctricas que permitan cumplir tanto con los límites de seguridad, así como con las características de la demanda de energía solicitada (recordemos que no todos los buques emplean la misma tensión o frecuencia en su red eléctrica).

-Gestión de cables y conexión muelle-buque: Cada una de las terminales debe contener los diversos sistemas que permitan el manejo y conexión con el buque de los cables que suministran la energía eléctrica.

-Buque receptor: Cualquier buque que solicite emplear este tipo de sistema se ve obligado a realizar una serie de transformaciones, tanto de la estructura del buque como de conexión al sistema eléctrico.

El principal beneficio de emplear este tipo de sistemas es deslocalizar las emisiones de los puertos (y por lo tanto, de las ciudades donde se localizan), puesto que la energía es generada en centrales eléctricas distanciadas de estos núcleos urbanos. Además, se consigue una clara disminución del ruido generado por los motores auxiliares, siendo esto otra ventaja para los habitantes de las zonas próximas a los pueblos.

Además de deslocalizar las emisiones, se consigue una disminución notable en cada uno de los gases contaminantes generados por un buque: el NO_x se reduce en un 96%, las PM en un 68%, el CO₂ en un 45% y el SO_x en un 36%.

1.7.3.2.2. Combustibles con bajo contenido en azufre

Para poder diferenciar entre combustibles con alto o bajo contenido en azufre es necesario remontarnos a su proceso de obtención, es decir, al proceso de refinamiento. El crudo es introducido en la torre de destilación, donde se somete al proceso de fraccionamiento, en la cual se aplica calor, de tal manera que las distintas fracciones, según cual sea su punto de ebullición, ascienden a lo largo de la torre, recogiendo en cada punto de esta, a través de unas bandejas perforadas y una serie de válvulas, los diversos componentes que conforman el crudo.

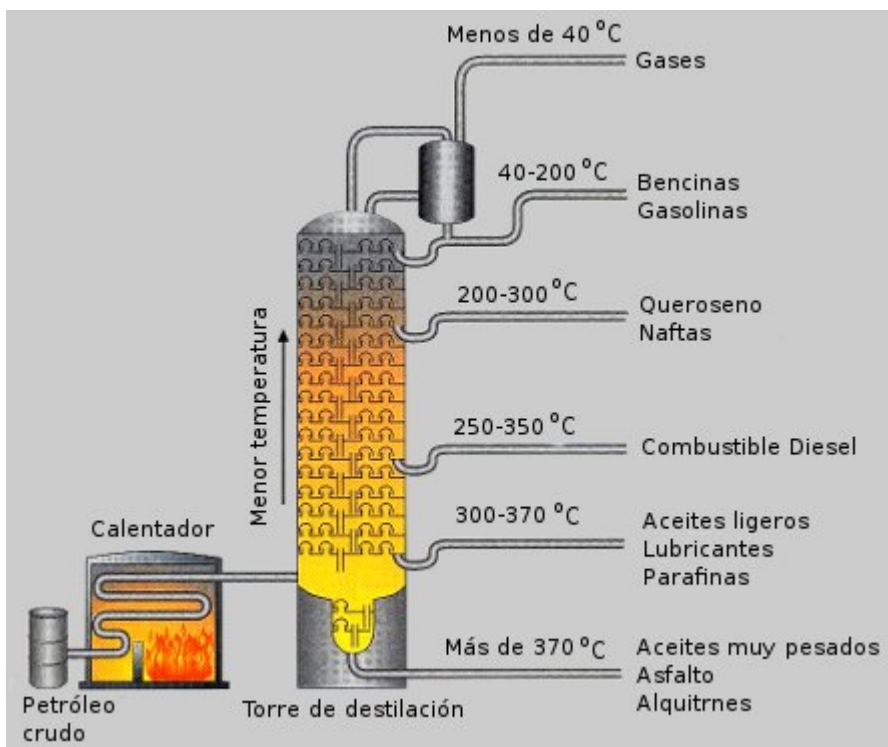


Figura 11. Fraccionamiento del crudo en una torre de destilación. Fuente. *Geoinnova*, (2018).

De esta manera, el fueloil pesado o residual (conocido como HFO), y que contiene gran cantidad de azufre, se queda en el fondo, y cuanto más arriba nos ubiquemos en la torre obtendremos un combustible más destilado (y por lo tanto con una cantidad de azufre mucho menor).

Si queremos obtener un fueloil intermedio (IFO), deberíamos mezclar el ya mencionado HFO con gasoil, el cual es un producto 100% destilado. En función del porcentaje de ambos productos obtendremos IFOs de diferentes características. Además, se hará una gran distinción dependiendo de si tienen un alto contenido en azufre (HS IFO) o un bajo contenido en azufre (LS IFO).

Tabla 6. Composición y porcentaje de azufre de los distintos IFO. Fuente. Elaboración propia.

Dato	HS IFO 380	LS IFO 380	HS IFO 180	LS IFO 180
Denominación ISO	RMG 380	RMG 380	RME 180	RME 180
Composición	98% HFO	98% HFO	88% HFO	88% HFO
	2% Gasoil	2% Gasoil	12% Gasoil	12% Gasoil
Azufre (m/m)	<3,5%	<1%	<3,5%	<1%

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 47/148

La tabla superior muestra que ninguno tipo de IFO cumple con los requisitos de las zonas SECA, por lo que no podemos emplearlo en nuestro buque (a no ser que instalemos un sistema scrubber, como veremos posteriormente).

Un combustible que sería bastante más destilado, pese a contener trazas de HFO, sería el MDO (Marine Diesel Oil). Sin embargo, este tipo de combustible tampoco cumple con los límites, puesto que contiene entre un 0,5% y 1,5% de azufre en masa.

Como combustible más refinado, y por tanto, que menos azufre contiene, es el MGO (Marina Gas Oil), cuyo porcentaje de azufre en masa no llega al 0,1%, cumpliendo con la limitación de las zonas SECA.

Tras haber analizado los distintos tipos de combustibles de origen fósil, llegamos a la conclusión de que el único que cumple con los requisitos de los puertos que frecuenta nuestro buque es el MGO, por lo que encontramos dos modos de actuación.

La primera opción, que es la más utilizada, consistiría en cambiar a este tipo de combustible cuando se entre en la zona restringida, en nuestro caso, en los puertos. Se requieren tanques de almacenamiento separados, así como sistemas de transferencia de combustible distintos.

La segunda opción, mucho menos extendida, sería emplear continuamente MGO (aunque debido a los grandes costos que supera se intenta evitar). Sin embargo, los buques que navegan en aguas restringidas están obligados a emplearlo siempre.

1.7.3.2.3. Scrubber

Como se ha visto en el apartado anterior, la mayoría de los combustibles provenientes del crudo contienen más azufre que el permitido por las zonas SECA. Sin embargo, el propio MARPOL 73/78 recoge la posibilidad de utilizar este tipo de combustibles, siempre y cuando los gases de escape tengan un contenido de SO_x equivalente al de las emisiones generadas por un combustible que cumple con la normativa.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 48/148

De este modo es necesario instalar un scrubber, que consiste en un dispositivo ubicado en el sistema de escape, cuyo objetivo es tratar las emisiones a través de una serie de sustancias (agua de mar, agua dulce tratada químicamente o sustancias secas), con el objetivo de eliminar la mayor cantidad posible de SO_x (aunque también se reducen en cierta medida las PM y los NO_x). Tras este proceso, los gases, ya limpios, son devueltos a la atmósfera, mientras que los residuos generados (formados básicamente por SO_x y PM, además de la propia sustancia empleada para el proceso de limpieza) se descargan al mar, siempre que la situación lo permita, o se almacenan (y posteriormente se descargan en tierra considerados sustancia de desecho).

Actualmente podemos distinguir entre dos tipos de sistemas de limpieza de gases de escape, el tipo de lavado en seco y el tipo de lavado húmedo, que a su vez se divide en tres grupos: sistema de circuito abierto, sistema de circuito cerrado y sistema híbrido.

1.7.3.2.3.1. Scrubber en seco

Este tipo de dispositivo no emplea ningún tipo de sustancia líquida, solo contiene cal hidratada (Ca(OH)₂) granulada, que al entrar en contacto con los gases de escape generan una reacción química que elimina los óxidos de azufre contenidos en las emisiones.

Así, las principales reacciones químicas que se dan son:

-Dióxido de azufre con cal hidratada, dando lugar a sulfito de calcio (CaSO₃) y agua: $\text{SO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaSO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

-Sulfito de calcio con oxígeno, dando lugar a sulfato de calcio dihidratado (CaSO₄): $\text{CaSO}_3 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4$

El funcionamiento en si consiste en bolas de pequeño tamaño de granulados tratados de cal hidratada situadas en un lecho empaquetado, a través del cual fluyen los gases de escape, reaccionando y dando lugar a gránulos de sulfato de calcio dihidratado (más conocido como yeso utilizado comúnmente en la

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 49/148

construcción). Estos gránulos se retiran, a través de un sistema neumático, del depurador, para ser almacenados y posteriormente descargados en tierra.

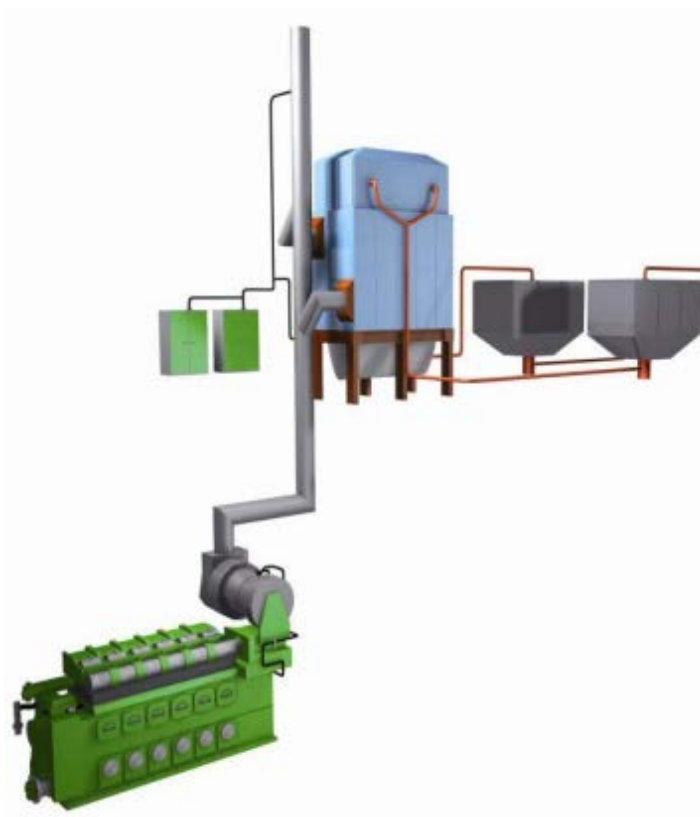


Figura 12. Dispositivo scrubber en seco. Fuente. *Ramón Grau Mur, 2014.*

La principal ventaja de este tipo de sistemas es que, al no interactuar los gases de escape con un fluido, y por lo tanto, no intercambiar excesivo calor, se pueden colocar antes de un intercambiador de calor o de un dispositivo SCR (los cuales, si recordamos, actúan a muy altas temperaturas, en torno a los 350°C). Además, otra de las ventajas es que tienen una derivación del gas de escape, por lo que no requiere un funcionamiento continuo. Otras de sus ventajas es que no conlleva un alto consumo energético, no transmite contaminantes al mar y son fáciles de operar.

Sin embargo, como contraprestaciones encontramos que ocupan un gran volumen, lo que implica necesariamente tener el espacio requerido, y además, pueden generar presiones que afecten al correcto funcionamiento del motor.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 50/148

1.7.3.2.3.2. Scrubber húmedo de circuito abierto

Este tipo de depuradora aprovecha la alcalinidad natural propia del agua de mar para así neutralizar el SO_x proveniente de las emisiones. Una vez que estos gases atraviesan el agua de mar (contenida en un tanque), son expulsados a la atmósfera. Sin embargo, el agua empleada en el proceso es traspasada a un sistema de tratamiento, donde los materiales sólidos son llevados a tanques especiales. Por otro lado, el agua restante se mezcla con agua dulce, para reajustar el pH, antes de ser vertida de nuevo al mar.

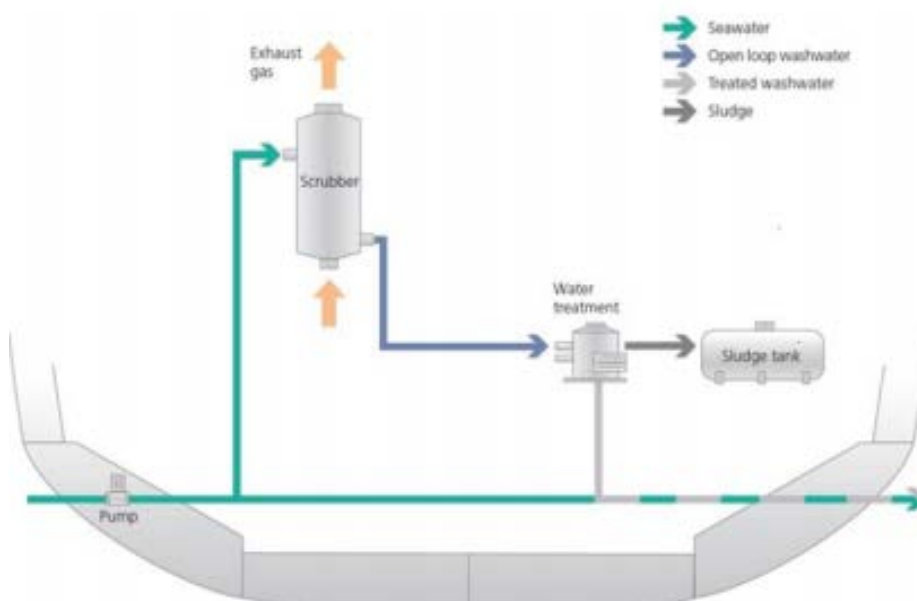


Figura 13. Scrubber húmedo de circuito abierto. Fuente. *Slideshare*, (2018).

Consume aproximadamente en torno a 45m³/MWh de agua marina, y llega a reducir alrededor del 98% de las emisiones de SO_x, lo que implica que se podría utilizar cualquier combustible de 3,5% de azufre emitiendo las emisiones equivalentes a las de un combustible de 0,1% de contenido en azufre. Otras ventajas que contempla este sistema es su alta eficiencia energética, así como que su instalación es relativamente sencilla y puede aprovecharse de equipos ya instalados.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 51/148

Sin embargo, alguna de sus desventajas es que pese a ser una instalación sencilla, es muy voluminosa. Además, genera residuos, que aparte de ser corrosivos, implican un gasto de volumen extra. No pueden ser empleados en áreas donde la alcalinidad del agua es baja, así como donde no sea lo suficientemente fría. Por último, la legislación local puede prohibir el vertido de aguas en zonas determinadas, en especial puertos o en zonas ricas de vida marina.

1.7.3.2.3.3. Scrubber húmedo de circuito cerrado

En este tipo de sistema se emplea agua dulce dosificada con un aditivo alcalino (en la mayoría de los casos sosa cáustica) que es recirculado periódicamente. A la vez que depura los gases de escape, dicho agua va acumulando impurezas, y por lo tanto va perdiendo efectividad de lavado, lo cual obliga a que una determinada cantidad del agua se limpie con cierta periodicidad, descargándose y reemplazándose por agua dulce.

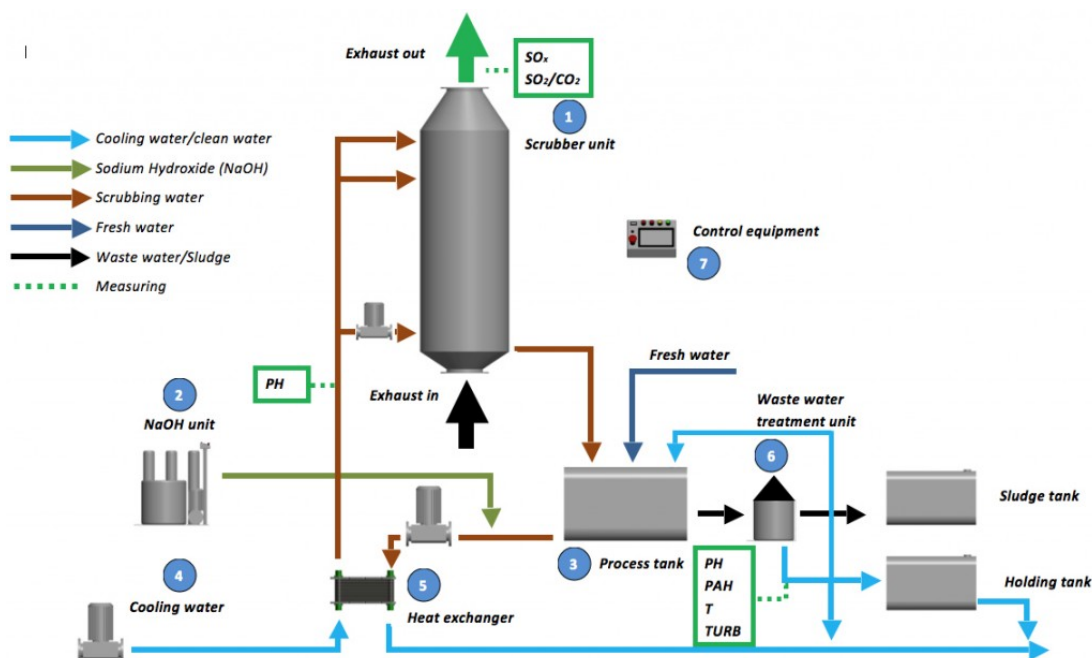


Figura 14. Scrubber húmedo de circuito cerrado. Fuente. *Meproduction*, (2018).

El proceso de tratamiento del agua requiere que una pequeña proporción de la solución alcalina no pueda volver a ser utilizada, por lo que habrá que

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 52/148

almacenarla y descargarla en puerto (corresponde al 1% del agua del circuito). Por otro lado, los sedimentos acumulados serán traspasados al tanque de lodos.

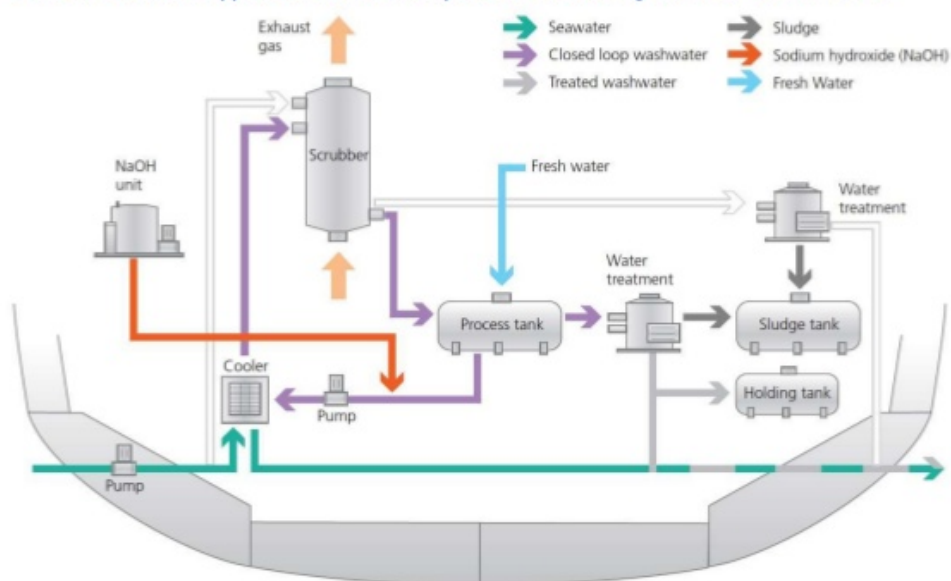
Los principales inconvenientes de este tipo de sistemas son la instalación de equipos adicionales, así como un coste de funcionamiento y mantenimiento alto debido a la necesidad de agua dulce y aditivos.

1.7.3.2.3.4. Scrubber húmedo híbrido

Este sistema de limpieza de gases de emisión aprovecha las mejores cualidades de cada una de las scrubber de tipo húmedo mencionadas: por un lado, puede trabajar en ciclo abierto cuando el buque se encuentra en alta mar, evitando tanto la utilización de aditivos como la depuración del agua de depuración; por otro lado, cuando se navega por zonas más restringidas, así como puertos o aguas interiores, el sistema de circuito cerrado permite la operación total del buque sin prácticamente descargas de agua.

Hybrid SOx scrubber (in closed loop mode)

Benefits of both types of scrubber systems and mitigation of drawbacks



INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 53/148

Figura 15. Scrubber híbrido trabajando en modo de circuito cerrado. Fuente. *Slideshare*, (2018).

El cambio de circuito abierto a circuito cerrado se conseguiría simplemente cambiando la succión de la bomba de circulación de agua de mar a la el tanque de agua dulce, mientras que la bomba de descarga del agua pasaría de la salida al mar al tanque de circulación.

Las principales desventajas de este tipo de sistemas son los grandes gastos de inversión inicial, así como de mantenimiento. Además, es el sistema scrubber que más volumen requiere, al necesitar tanto los elementos propios del ciclo cerrado como los del ciclo abierto.

1.7.3.2.4. GNL

Esta tercera opción, que ha sido la escogida para realizar el presente proyecto, es la más viable a medio y corto plazo, tanto a nivel económico como medioambiental.

La implementación del sistema SSE actualmente no es factible por dos motivos esenciales: el primero es que, nuestro barco, al navegar constantemente por aguas cuyo nivel de emisiones de SO_x están restringidas, es necesario emplear un sistema que no solo se pueda utilizar cuando el buque está atracado (el sistema SSE no puede utilizarse mientras el buque está en movimiento).

El segundo motivo es que, aunque es verdad que cada vez más puertos están interesados en implantar este sistema, actualmente solo el puerto de Melilla, en el panorama nacional, tiene dicho sistema instalado (y en fase de pruebas), lo que provoca cierto rechazo en cuanto a su utilización.

La opción de usar MGO como combustible en zonas restringidas puede ser la más idónea a corto plazo, puesto que cumple con las limitaciones de emisiones de SO_x propias de la zona SECA y con las restricciones de NO_x del Tier II, sin realizar una inversión inicial importante (no obliga a hacer grandes transformaciones en los diversos motores empleados en un buque).

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 54/148

Sin embargo, este tipo de combustibles son actualmente el doble de caros que el GNL (el precio para generar la misma cantidad de energía es el doble en el caso del MGO con respecto al LNG), y una supuesta ampliación tanto de zonas SECA como ECA incrementaría su demanda, aumentando ostensiblemente el precio.

Además, una supuesta implantación de nuevas zonas ECA haría obligatorio el cumplimiento del Tier III, lo que implicaría una reducción del 80% respecto al Tier I en las emisiones de NO_x, algo que el MGO no cumple, obligando a instalar scrubbers, lo que generaría un sobrecoste añadido.

En el aspecto medioambiental, pese a reducirse las misiones de SO_x en un 80%, estas siguen siendo considerables. Las emisiones de PM también se reducen un 80%, pero las de NO_x solo menguan en un 12%. Por último, las emisiones de CO₂ siguen siendo las mismas, sin tener en cuenta que la huella de carbono generada es superior, ya que para destilar tanto el crudo se generan altas cantidades de CO₂. De esta manera se deduce que pese a existir diferencias con otros combustibles de bajo contenido en azufre, las prestaciones actuales en cuanto a emisiones no son favorables.

La segunda opción, que consiste en el uso de scrubbers, puede ser una buena opción también a corto plazo, ya que permitiría mantener el uso de HFO, el combustible más barato. Además, a nivel ecológico, además de retener el 95% de las emisiones de SO_x, permite reducir la huella de carbono, ya que al emplear HFO no se requiere un gran refinamiento.

Pese a tener una huella de carbono inferior, las emisiones del mismo son altas, ya que este tipo de dispositivos no están diseñados para retenerlos. Además, tampoco depuran las emisiones de los NO_x, lo que obligaría a instalar otros sistemas de limpieza.

Otros inconvenientes que encontramos al emplear este tipo de sistemas es que el coste inicial es alto, así como el coste de mantenimiento y los costes de descarga.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 55/148

En el caso de circuitos abiertos, ciertos países exigen por legislación la prohibición de descargas al mar, impidiendo el uso. De la otra manera, empleando circuitos cerrados, se requiere mucho más espacio para ubicar los tanques de agua dulce, de sosa caustica y de residuos químicos.

Al ser sistemas de gran voluminosidad, pueden afectar tanto a la capacidad de la carga comercial como a la estabilidad del buque. Además de ocupar tanto espacio, es conveniente que el buque tenga un depósito de MGO, ocupando más espacio e incrementando los gastos.

Actualmente la opción de utilizar GNL como combustible (tanto para motores principales como auxiliares) está siendo cada vez más extendida. En el campo medioambiental es la única que reduce de manera muy considerable todo tipo de emisiones (ya que aunque el motor dual emplee diésel, es un 1%, lo que lo hace prácticamente despreciable): reduce el 90% de los NO_x, prácticamente el 100% de los SO_x y de las PM, y el 25% de las emisiones de CO₂.

Pese a que su inversión inicial es muy alta, y que el combustible ocupa entre 2,5 y 3 veces más que cualquier otro combustible tradicional, el precio del GNL es actualmente la mitad que el del MGO (como ya se ha explicado en párrafos anteriores). Además, el uso de GNL elimina por completo la generación de residuos, típica de otros combustibles, así como la necesidad de tratarlos.

Por último, el empleo de GNL no genera problemas de compatibilidad, que suelen ser habituales en el uso de los combustibles provenientes del crudo, ni presenta problemas de calidad, como pueden ser altos niveles de sedimentos, cenizas o aceites.

1.8. RESULTADOS FINALES

Siguiendo las exigencias del armador a la hora de instalar un motor propulsado principalmente por GNL, y ayudándonos tanto de los planos proporcionados por la naviera como por el programa AutoCAD, así como de la guía del producto facilitada por la empresa "Wärtsilä", estos son los

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 56/148

siguientes elementos y sistemas necesarios para el correcto funcionamiento de la instalación:

1.8.1. MOTOR AUXILIAR CON GENERADOR INCORPORADO

El motor auxiliar de fuel dual que se ha decidido instalar es el Wärtsilä 6L20DF, siendo el de menor potencia dentro de los motores de la gama de fuel dual, pero capaz de suministrar la demanda exigida por el buque. Es un motor de 4 tiempos propulsado por GNL (aunque emplea un 1% de MDO en este modo de funcionamiento), pese a que el arranque se debe realizar en modo MDO, a no ser que se instale un sistema externo que permita el arranque en modo GNL (el cual no es propósito de este proyecto).



Figura 16. Motor Wärtsilä 6L20DF. Fuente. Wärtsilä, (2018).

Además, entre los diferentes tipos de motores del tipo 6L20DF hemos escogido el de 1000 rpm, ya que pese a suministrar una potencia de 960 Kw (150 Kw menos que el de 1200 rpm), la cantidad de combustible empleada es

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 57/148

mucho menor, generando un ahorro económico (además de disminuir las emisiones de CO₂).

Aunque posteriormente se adjuntará la guía del proyecto con todos los datos técnicos del motor, la siguiente tabla contiene algunos de los datos fundamentales que se requieren conocer:

Tabla 7. Datos básicos de diseño y funcionamiento del motor. Fuente. *Wärtsilä, (2018)*.

Peso	16,9 t
Diámetro interior del cilindro	200 mm
Carrera	280 mm
Desplazamiento del pistón	8,8 l/cil
Número de válvulas	2 de entrada y 2 de salida
Configuración de los cilindros	6 cilindros en línea
Velocidad	1000 rpm
Velocidad lineal del pistón	9,3 m/s
Potencia por cilindro	160 kW
Potencia total	960 kW
Consumo de energía con una carga del 75%	8326 kJ/kWh
Diámetro de escape para 35m/s	309 mm

Independientemente de los parámetros de funcionamiento, otro aspecto que es fundamental a la hora de instalar cualquier dispositivo en un buque son sus dimensiones, debido al espacio reducido que estos suelen tener para sacar el máximo rendimiento al espacio empleado. De esta manera, el motor auxiliar a instalar, junto al acoplamiento del generador, ocupa longitudinalmente 5,325 metros y transversalmente 1,77 metros. Por otro lado, su altura contada desde el punto más bajo de la bancada hasta el punto más alto es de 2,605 metros, aunque desde los puntos de apoyo hasta el punto más alto es de 2,525 metros.

1.8.2. SISTEMA DE COMBUSTIBLE GNL

El motor escogido para ser instalado está diseñado para poder trabajar de manera constante empleando GNL como combustible principal (exceptuando

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 58/148

en el arranque, como ya se ha mencionado en numerosas ocasiones) sin perder potencia en comparación a cuando está tanto en modo MDO o HFO. Sin embargo, para que esta potencia no sufra variaciones, es necesario que el GNL cumpla con unas características muy específicas:

Tabla 8. Propiedades óptimas del GNL para un correcto funcionamiento del motor 6L20DF de Wärtsilä. Fuente. *Wärtsilä, (2018)*.

Property	Unit	Value
Lower heating value (LHV), min ¹⁾	MJ/m ³ N ²⁾	28
Methane number (MN), min ³⁾		80
Methane (CH ₄), min	% volume	70
Hydrogen sulphide (H ₂ S), max	% volume	0.05
Hydrogen (H ₂), max ⁴⁾	% volume	3
Ammonia, max	mg/m ³ N	25
Chlorine + Fluorines, max	mg/m ³ N	50
Particles or solids at engine inlet, max	mg/m ³ N	50
Particles or solids at engine inlet, max size	um	5
Gas inlet temperature	°C	0...60
Water and hydrocarbon condensates at engine inlet not allowed ⁵⁾		

En cuanto al sistema de combustible en sí, este podríamos distinguirlo entre interno y externo; sin embargo, el sistema interno ya viene instalado de serie en el motor (dichos planos se podrán apreciar en la *guía del proyecto* proporcionada por “Wärtsilä” que se adjunta al final del presente documento), por lo que focalizaremos nuestra atención en los distintos componentes que constituyen el sistema externo:

1.8.2.1. TANQUE CONTENEDOR DE GNL

El tanque de GNL que se pretende instalar en este proyecto es del tipo “C” según la clasificación de la OMI y está suministrado, al igual que en caso del motor, por la empresa “Wärtsilä”, cumpliendo con la normativa recogida tanto en el “LRS Rules and Regulations for the Classification of Natural Gas Fuelled Ships” como en el “International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels”.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 59/148

Su capacidad máxima es de 25 m³ (teniendo una longitud de 6,9 metros y un diámetro exterior de 3 metros), manteniendo el GNL a una temperatura de -165 °C (pudiendo soportar temperaturas mínimas de -196 °C, gracias a su composición, tanto interna como externa, de acero inoxidable austenítico) y a una presión de 1 bar.

1.8.2.2. ESPACIO DE CONEXIÓN

El espacio de conexión del tanque es el área construida alrededor de las penetraciones del tanque, construida para contener cualquier fuga y mantenernos a salvo de situaciones peligrosas. Contiene todo tipo de equipamiento necesario para un buen funcionamiento de las distintas interfaces.

En lo que a dimensiones se refiere, mide 3,2 metros de alto, 2,25 metros de largo y 3 metros de ancho.

1.8.2.3. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

El sistema de control y automatización se lleva a cabo con un sistema de control de procesos y paneles de control locales. Este sistema está diseñado para llevar a cabo las funciones primarias de proceso y control de seguridad del sistema de GNL, que incluye también todas las alarmas e indicaciones de clasificación requeridas. El sistema de control de procesos recibe todas las entradas de los sensores de los sistemas de GNL y ejecuta la lógica de control mediante el comando de las válvulas involucradas.

1.8.2.3. SISTEMA DE CALENTAMIENTO INTERMEDIO

Su objetivo principal es proporcionar calor a los evaporadores de GNL. Los principales componentes del circuito son los intercambiadores de calor de placas y las bombas de circulación.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 60/148

1.8.2.4. Gvu (Gas Valve Unit)

Antes de que el GNL se suministre directamente al motor, pasa a través de la Gvu, la cual contiene una válvula de control de presión de gas y una serie de válvulas de bloqueo y purga para garantizar un funcionamiento seguro del sistema de GNL.

La unidad incluye una válvula de cierre manual, conexión de inertización, filtro, válvula de control de presión de gas combustible, válvulas de cierre, válvulas de ventilación, sensores de presión, un sensor de temperatura del GNL y un panel de control.

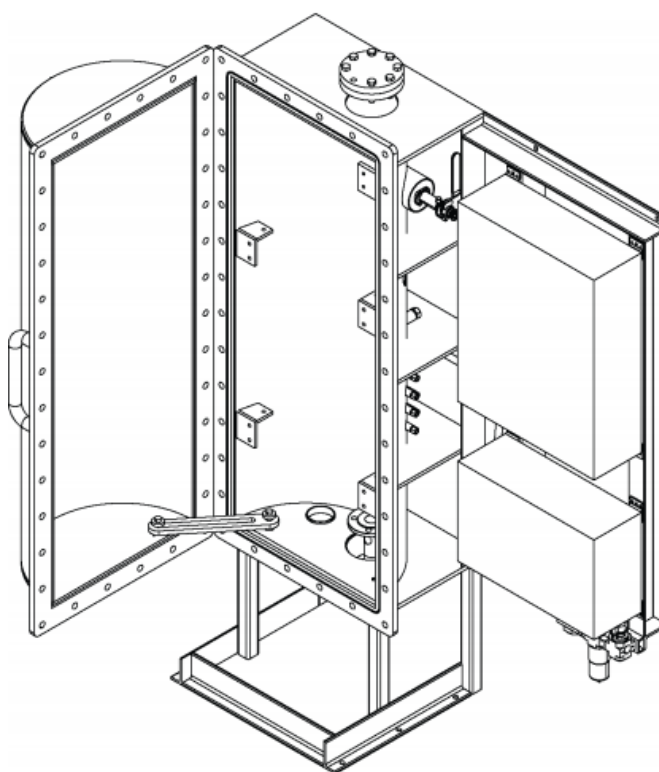


Figura 17. Gvu proporcionada po Wärtsilä. Fuente. *Wärtsilä, (2018)*.

El filtro que contiene se basa en una unidad de flujo completo que evita que las impurezas ingresen al sistema interno de GNL del motor. La finura del filtro es de 5 μm de tamaño de malla absoluta. La caída de presión sobre el filtro se controla y se activa una alarma cuando la caída de presión está por encima del valor permitido debido al filtro sucio.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 61/148

La válvula de control de presión de GNL ajusta la presión de entrada de GNL del motor de acuerdo con la carga de este, obteniendo la presión correcta en la tubería de suministro del motor. Dicha válvula está controlada por el sistema de control del motor.

La apertura y el cierre de las válvulas en la unidad de la válvula de gas, se controlan electrónica o electro-neumáticamente mediante el sistema de control GUV, visualizándose en una pantalla local que está junto al panel de control.

La unidad de la válvula de gas realizará un procedimiento de prueba de fugas antes de que el motor comience a funcionar con gas. Esta es una precaución de seguridad para garantizar la estanqueidad de las válvulas y el correcto funcionamiento de los componentes.

La GUV debe ubicarse cerca del motor para garantizar la respuesta del motor a las condiciones transitorias. La longitud máxima de la tubería de gas combustible entre la GUV y la entrada de gas del motor es de 10 m. En cuanto a sus dimensiones, su altura es de 2,325 metros, la anchura de 1,89 metros y su profundidad de 1,218 metros.

1.8.2.5. COMPRESOR

El objetivo fundamental del compresor es proporcionar el aire de trabajo necesario a la GUV para el correcto accionamiento y funcionamiento de las válvulas neumáticas que la componen.

Su funcionamiento será de tipo eléctrico, siendo capaz de comprimir a una presión de 8 bares (presión estándar de trabajo indicada por la Sociedad de Clasificación).

Indicar a su vez que el aire comprimido por este compresor también será empleado en el Sistema de Aire Comprimido (ver apartado 1.8.5 y planos adjuntos) con el propósito de suministrar el aire necesario a las válvulas neumáticas del interior del motor.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 62/148

1.8.2.6. SEPARADOR DE ACEITE Y AGUA

Ir  situado justo después del compresor con el fin de eliminar el aceite condensado originado en el proceso de compresión.

Este separador emplea un proceso multietapa de filtros de carbón activo que permite obtener un aire purificado con un aceite residual inferior a 10 ppm. Además, no requiere un depósito de sedimentación del condensado, lo que permite ahorrar espacio.

1.8.3. SISTEMA DE COMBUSTIBLE MDO

Lo primero que debemos aclarar respecto a este sistema es que contiene varias subdivisiones. Igual que en el sistema de combustible de GNL, existe una distinción entre el sistema interno del motor (instalado de serie) y el externo. Sin embargo, en esta ocasión, W rtsil  nos ofrece la posibilidad de escoger entre dos sistemas internos ligeramente diferentes: el primero se basa en una bomba de alimentación de combustible accionada a través de un motor, con su respectivo filtro, mientras que el segundo se caracteriza por utilizar un amortiguador de impulsos (en nuestro caso ha sido el escogido).

Por otro lado, el circuito de MDO externo se subdividir  en dos sistemas: el que suministre al motor MDO como combustible principal (en nuestro caso se limitar  al arranque) y el que suministre MDO como combustible piloto, cuando el motor funcione en modo GNL (la práctica totalidad del tiempo). Pese a que se podrían considerar dos sistemas diferentes, realmente comparten muchos de los elementos empleados (recordemos que en un buque la optimización del espacio es esencial), diferenciado los dos sistemas por las distintas conexiones que los constituyen.

De esta forma, procedemos a describir tantos los elementos que comparten los dos sistemas externos mencionados, así como los característicos de cada uno de ellos:

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 63/148

1.8.3.1. TANQUE DE MDO

La instalación constará con un único tanque de MDO estándar con una capacidad de 2 m³, puesto que aunque solo vaya a funcionar en modo GNL, la guía de proyecto que ofrece Wärtsilä obliga a instalar un tanque que tenga capacidad suficiente para suministrar MDO durante 8 horas funcionando en dicho modo.

A este tanque irá a parar tanto el MDO proveniente del sistema de salida de combustible principal como de combustible piloto, así como las fugas de MDO que esté en condiciones de volver a ser utilizado. El tanque mantendrá el combustible a una temperatura constante entre 20°C y 40°C.

Cabe añadir que el tanque tendrá 2 conexiones de salida, una para suministrar combustible al motor (en la cual encontraremos una válvula de cierre rápido) y otra que conectará el tanque con una pequeña depuradora (pese a que el MDO que contendrá el tanque estará en buen estado) creando un circuito cerrado, el cual se mencionará posteriormente.

Por otro lado, el tanque contará con 3 conexiones de entrada: una para introducir MDO a través del bunkering, otra para retornar el combustible proveniente de la depuradora y una última para reintroducir en el tanque tanto el MDO sobrante durante el funcionamiento del motor como el proveniente de las fugas.

1.8.3.2. TANQUE DE LODOS

El tanque de lodos tendrá como objetivo contener, por un lado, el combustible sucio que salga de los diversos componentes del sistema (en relación con tareas de mantenimiento o debido a fugas imprevistas), así como de derrames de combustible o agua provenientes del motor; y, por otro lado, las impurezas del MDO retenidas por la depuradora.

El tanque tendrá una capacidad de 100 litros, ya que funcionará de manera habitual con LNG, por lo que la aparición de fugas de MDO será más complicada (el caudal del sistema de combustible piloto es mínimo). Además,

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 64/148

el combustible con el que se recargue el tanque de MDO estará previamente depurado, por lo que apenas contendrá impurezas.

1.8.3.3. DEPURADORA

Se ha decidido instalar la separadora de apilamiento de discos de alta velocidad MAB 102 de Alfa Laval, la cual puede purificar y clarificar tanto combustible como aceite.

La separación se lleva a cabo en un recipiente que retiene las partículas sólidas. El fluido a depurar alimenta al separador a través del centro, y se separa por la fuerza centrífuga en sus diversas fases, la fase más pesada (lodo y agua) se fuerza hacia fuera a la periferia de la taza (puesto que la densidad de estos elementos es mayor a la del propio aceite o combustible). La acumulación de lodo se retira periódicamente del recipiente a mano.

El fluido se bombea, calienta y separa como se indica en el párrafo anterior. Un sello líquido en la taza del separador evita que el aceite se escape a través de la salida de agua. Si este sello se rompe, se activa un dispositivo de alarma. Con las salas de máquinas no tripuladas, las señales se transmiten a una unidad de control remoto. Cuando se rompe el sello, la válvula de tres vías apaga la alimentación de aceite y el aceite se recircula hasta que se corrija la falla.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 65/148



Figura 18. Separador MAB 102 de Alfa Laval. Fuente. *Separator*, (2018).

Trabaja en un rango de temperaturas entre 15°C y 75°C (en función de si el fluido a separar es combustible o aceite lubricante), mientras que la velocidad de su eje varía entre 1420 y 1500 rpm. En cuanto a sus prestaciones, esta depuradora es capaz de filtrar 450 l/h de MDO y 150 l/h de aceite lubricante.

1.8.3.4. FILTRO DE SUCCIÓN

Este tipo de filtros son instalados en las líneas de bombeo para prevenir que el sistema en general, y las bombas en particular, sufran daños por la absorción de impurezas y contaminantes del fluido, alargando de esta manera su vida útil.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 66/148



Figura 19. Filtro de succión. Fuente: *Destaco Ingenieros*, (2018).

De esta manera deberemos colocar un filtro de este tipo, con una finura mínima de 5 mm, delante de cada bomba del sistema de combustible de MDO.

1.8.3.5. CAUDALÍMETRO

La presencia de caudalímetros es esencial en cualquier instalación que maneje fluidos, puesto que ayudará a determinar la variación de gasto volumétrico que se da en el sistema.

La guía del proyecto de Wärtsilä propone instalar un único caudalímetro, en el tramo del sistema encargado de la alimentación de combustible del motor, siempre que el retorno del combustible vaya a parar a un tanque diferente al de uso diario.

Sin embargo, en nuestro caso, el tanque de uso diario también recibe el combustible del sistema de retorno, por lo que estamos obligados a colocar un caudalímetro en el tramo del sistema encargado de la alimentación del motor y otro en el tramo de retorno del combustible.

1.8.3.6. FILTRO DE COMBUSTIBLE

El filtro que utilizaremos en estos casos será de tipo dúplex, ya que son ideales a la hora de aplicarse en procesos continuos donde interrumpir un flujo

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 67/148

continuo (bien sea por averías o simple mantenimiento) es inviable. De esta manera, cambiar el flujo de una cámara a otra es muy sencillo, facilitando cualquier tipo de operación en la otra cámara y manteniendo un flujo constante.

Deberemos colocar un filtro en cada una de las ramas del sistema de alimentación de combustible (principal y piloto), situándolos lo más cerca posible del motor, asegurando que el combustible inyectado esté lo más limpio posible y que reúne unas condiciones óptimas. Además, el diámetro de la tubería de salida de cada filtro deberá tener siempre el mismo que el de la tubería de entrada.

Los filtros están diseñados para soportar temperaturas de hasta 50°C, mientras que la presión máxima que pueden soportar es de 16 bares (teniendo en cuenta que en su interior la caída de presión varía entre 0,2 y 0,8 bares en función del estado del filtro).

Las diferencias principales entre cada filtro son referidas al caudal y a la finura: los filtros empleados en la rama del combustible piloto están diseñados para soportar un caudal de 10 l/h (de acuerdo con el consumo máximo de combustible piloto), siendo su finura de 10 µm; los filtros empleados en la rama del combustible principal soportan un caudal de hasta 250 l/h y tienen una finura de 37 µm.

1.8.3.7. BOMBA DE CIRCULACIÓN

Esta bomba se instalará en la rama del combustible principal con el propósito de mantener la presión en las válvulas de inyección y hacer circular el combustible por el sistema.

Emplearemos una bomba de tornillo, cuyo principio fundamental se basa en el movimiento de un tornillo helicoidal excéntrico dentro de una camisa, haciendo fluir de esta manera el líquido entre el tornillo y la camisa.

La bomba a instalar tendrá una capacidad de 250 l/h y una presión de diseño de 16 bares limitada a 10 bares (puesto que la presión máxima con la que

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 68/148

puede entrar el MDO en el motor es de 7,5 bares). La temperatura de diseño es de 50°C. Por último, la propia guía del proyecto recomienda que haya una presión estática positiva de 0,3 bares en la entrada de la bomba.

1.8.4. SISTEMA DE LUBRICACIÓN

El aceite lubricante que empleará nuestro motor será perteneciente a la clase de viscosidad SAE 40, teniendo un índice de viscosidad (VI) de un mínimo de 95. La alcalinidad del aceite deberá ser entre 10 y 15, teniendo una composición en azufre inferior al 0,4%.

El sistema de lubricación que instalaremos será de sumidero húmedo (existe la posibilidad de sumidero seco), debido a que los motores auxiliares y los motores principales propulsados con GNL no requieren tantos cuidados en la calidad del aceite como los motores que consumen HFO.

De esta manera, el sistema se podría dividir, igual que en el resto de casos, en sistema interno (ya instalado de fábrica) y el externo, que solo contará con un tanque de aceite y una depuradora, puesto que el resto de elementos propios de cualquier sistema (filtros, bombas...) ya vienen incorporados en el sistema interno.

1.8.4.1. TANQUE DE ACEITE LUBRICANTE

Irà situado justo debajo del motor, con el propósito de que el aceite drenado caiga directamente al tanque por acción de la gravedad. En cuanto a su bombeo, el motor tiene incorporado en su sistema interno una bomba principal y otra bomba de prelubricación encargadas de succionar el aceite lubricante del propio tanque al motor.

Pese a que el motor contenga en su interior unos 380 litros de aceite, dispondremos de un tanque de 2 m³ que se purificará continuamente a través del circuito cerrado de la depuradora.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 69/148

1.8.4.2. DEPURADORA

Se ha decidido instalar la separadora de apilamiento de discos de alta velocidad MAB 102 de Alfa Laval, la cual puede purificar y clarificar tanto combustible como aceite.

La separación se lleva a cabo en un recipiente que retiene las partículas sólidas. El fluido a depurar alimenta al separador a través del centro, y se separa por la fuerza centrífuga en sus diversas fases, la fase más pesada (lodo y agua) se fuerza hacia fuera a la periferia de la taza (puesto que la densidad de estos elementos es mayor a la del propio aceite o combustible). La acumulación de lodo se retira periódicamente del recipiente a mano.

El fluido se bombea, calienta y separa como se indica en el párrafo anterior. Un sello líquido en la taza del separador evita que el aceite se escape a través de la salida de agua. Si este sello se rompe, se activa un dispositivo de alarma. Con las salas de máquinas no tripuladas, las señales se transmiten a una unidad de control remoto. Cuando se rompe el sello, la válvula de tres vías apaga la alimentación de aceite y el aceite se recircula hasta que se corrija la falla.



Figura 20. Separador MAB 102 de Alfa Laval. Fuente. *Separator*, (2018).

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 70/148

Trabaja en un rango de temperaturas entre 15°C y 75°C (en función de si el fluido a separar es combustible o aceite lubricante), mientras que la velocidad de su eje varía entre 1420 y 1500 rpm. En cuanto a sus prestaciones, esta depuradora es capaz de filtrar 450 l/h de MDO y 150 l/h de aceite lubricante.

1.8.4.3. CALENTADOR

El calentador está dimensionado de acuerdo con la capacidad de la bomba de alimentación contenida en la propia depuradora (150 l/h) y el incremento de temperatura del aceite del sistema. Cuando el motor está en marcha, la temperatura en el tanque de aceite del sistema se comprende entre 65°C y 75°C.

Para permitir la separación con un motor parado, la capacidad del calentador debe ser suficiente para mantener la temperatura requerida sin el suministro de calor del motor. La temperatura recomendada del aceite después del calentador es de 95°C. Por último, indicar que a temperatura de la superficie del calentador no debe superar los 150°C para evitar la cocción del aceite.

1.8.5. SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

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

Para garantizar el correcto funcionamiento de los componentes en el sistema de aire comprimido, este debe estar libre de partículas sólidas y aceite. Las características principales del aire comprimido empleado en dispositivos de seguridad y control son las siguientes:

- Debe estar comprimido a una presión de 7 bares, pese a que la presión de diseño sea de 10 bares.
- El punto de rocío debe alcanzarse a la temperatura de 3 °C.
- Su contenido máximo de aceite es de 1 mg/m³.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 71/148

-El tamaño máximo de sus partículas no puede superar las 3 μm .

El motor está equipado con un motor de arranque neumático que lo acciona a través de una llanta de engranaje en el volante.

La presión nominal empleada en el arranque es de 30 bares, reduciéndose con un regulador de presión situado antes del motor de arranque neumático.

En cuanto a los elementos fundamentales (exceptuándose de esta manera válvulas y filtros) que componen el sistema externo, las Sociedades de Clasificación obligan a que sean instalados de manera duplicada.

1.8.5.1. COMPRESORES

Los compresores son el primer instrumento en el sistema, a partir de los cuales se diseñará e instalará el resto de componentes en función de su localización. Su accionamiento será de tipo eléctrico, siendo capaces de comprimir a una presión mínima de 18 bares y alcanzar una presión de 30 bares en 20 minutos (como indican las recomendaciones de la guía del proyecto).

Por otro lado, recordar que en el apartado 1.8.2.6 se menciona la instalación de un compresor de accionamiento eléctrico de 8 bares que suministrará el aire necesario para el funcionamiento de las válvulas neumáticas del interior del motor.

1.8.5.2. SEPARADORES DE ACEITE Y AGUA

Se colocarán seguidamente a los compresores y antes de los depósitos de aire de arranque con el propósito de eliminar el aceite condensado originado en el proceso de compresión.

Estos separadores emplean un proceso multietapa de filtros de carbón activo que permiten obtener un aire purificado con un aceite residual inferior a 10 ppm. Además, no requieren un depósito de sedimentación del condensado, lo que permite ahorrar espacio.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 72/148

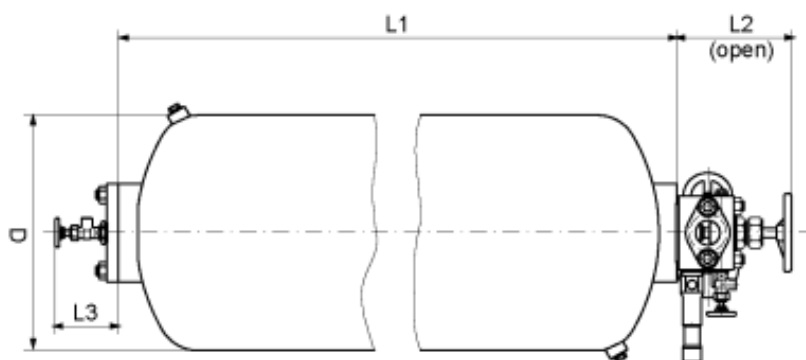
1.8.5.3. DEPÓSITOS DE AIRE DE ARRANQUE

Están diseñados para mantener el aire en su interior a una presión nominal de 30 bares, puesto que es la presión necesaria para el arranque del motor. Tienen una válvula de drenado en la parte inferior (en el supuesto caso de que se coloque verticalmente), y en el caso de que se coloquen horizontalmente, se deberán colocar con una inclinación de entre 3° y 5°, para que el agua licuada caiga.

En el arranque, el motor consume en torno a 1,2 m³, llegando a ser el doble si por cualquier tipo de circunstancias se produce un arranque fallido. De esta manera, el volumen total de aire que se requiere (y que tendrá que dividirse entre dos para calcular la capacidad de cada depósito) viene dado en función de las presiones de arranque, el volumen consumido por el motor y el número de arranques requeridos de acuerdo con la Sociedad de Clasificación, que en nuestro caso son 3.

De esta manera, el volumen total del sistema de aire comprimido requerido por la guía del producto deber tener una capacidad mínima de 300 l. Como ya se ha indicado previamente, la Sociedad de Clasificación nos obliga a instalar 2 depósitos, por lo que cada uno tendrá que tener una capacidad mínima de 150 l. Sin embargo, Wärtsilä no proporciona depósitos de estas características, por lo que el depósito con una capacidad semejante y superior escogido es el capaz de almacenar un volumen de 180 l.

Figura 21. Depósito de aire de arranque Wärtsilä. Fuente. *Wärtsilä*, (2018).



INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 73/148

Su peso total alcanza los 200 kg y sus dimensiones principales son:

L1 – 1217 mm.

L2 – 243 mm.

L3 – 110 mm.

D – 480 mm.

1.8.5.4. FILTRO DE AIRE

Después del separador de agua y aceite se puede producir un condensado que genera y afloja el óxido abrasivo de tuberías, accesorios y receptores. De esta manera, instalar este filtro antes de la entrada de aire al sistema interno de arranque del motor asegura evitar la aparición de partículas que dañen dicho sistema.

Emplearemos un filtro de tipo “Y” de acero inoxidable y con un tamaño de malla inferior a 75µm. Además, la caída de presión no sobrepasará los 0,2 bares para el consumo de aire de arranque específico del motor en un lapso de tiempo de 4 segundos.

1.8.6. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

En primer lugar, a la hora de hablar de este circuito, es esencial mencionar el fluido que emplearemos como refrigerante y sus propiedades. En este caso, la guía del proyecto aconseja emplear agua con un pH entre 6,5 y 8,5, y con una dureza de 10 °dH. Además, esta agua no puede contener más de 80 mg/l de cloro y de 150 mg/l de sulfatos.

Solo el agua dulce tratada que contiene inhibidores de corrosión aprobados puede circular a través de los motores. Es importante que el agua de calidad aceptable y los inhibidores de corrosión aprobados se usen directamente cuando el sistema se llena después de la instalación completa. Además, el uso de un aditivo aprobado para agua de refrigeración es obligatorio,

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 74/148

proporcionándose una lista de los permitidos en las instrucciones del propio motor.

El sistema, igual que el resto de sistemas, consta de un sistema interno, que ya viene incorporado en el propio motor, y uno externo. Sin embargo, ambos sistemas se dividen en dos circuitos: uno de alta temperatura y otro de baja temperatura. El agua del circuito de alta temperatura circula a través de las camisas del cilindro y de las culatas, mientras que el agua del circuito de baja temperatura circula a través del refrigerador del aire de carga y del enfriador de aceite lubricante.

1.8.6.1. VÁLVULA DE CONTROL DE TEMPERATURA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

Esta válvula irá ubicada a la salida del intercambiador de calor, midiendo y controlando la temperatura del agua de entrada del motor. Además, servirá como bypass del propio intercambiador, desviando el flujo de agua en el supuesto caso de que hubiese algún problema o contratiempo.

En cuanto al funcionamiento de la válvula, puede ser tanto de accionamiento directo o de accionamiento eléctrico. La temperatura nominal del agua controlada por la válvula debe ser de 35°C, nunca excediendo los 38°C.

1.8.6.2. VÁLVULA DE CONTROL DE TEMPERATURA DEL AIRE DE CARGA

Esta válvula, ubicada en el circuito de refrigeración de baja temperatura, a la salida del motor, tiene objetivo primordial de mantener la temperatura del aire de carga en el nivel deseado.

Su accionamiento es eléctrico, y regula el flujo de agua en la etapa de baja temperatura del enfriador de aire de carga en función de la temperatura medida en el receptor de aire de carga.

Por último, indicar que la temperatura del aire de carga se controla en función de los diversos parámetros derivados de la carga del motor.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 75/148

1.8.6.3. INTERCAMBIADOR DE CALOR

En nuestro caso hemos escogido instalar el intercambiador de placas proporcionado por Wärtsilä de 290 kg. El caudal de agua dulce que atravesará el intercambiador de calor viene dado por la guía del proyecto en función de una serie de parámetros (como son el calor disipado por el circuito de HT o la variación de temperatura), siendo este de 3,5 m³/h.

La temperatura máxima del agua dulce de salida del intercambiador es de 38°C. Además, la presencia del intercambiador de calor produce una caída de presión en el circuito de agua dulce de 0,6 bares, mientras que en el circuito de agua marina la caída de presión puede variar entre 0,8 bares y 1,4 bares.

En cuanto a las dimensiones del intercambiador de calor:

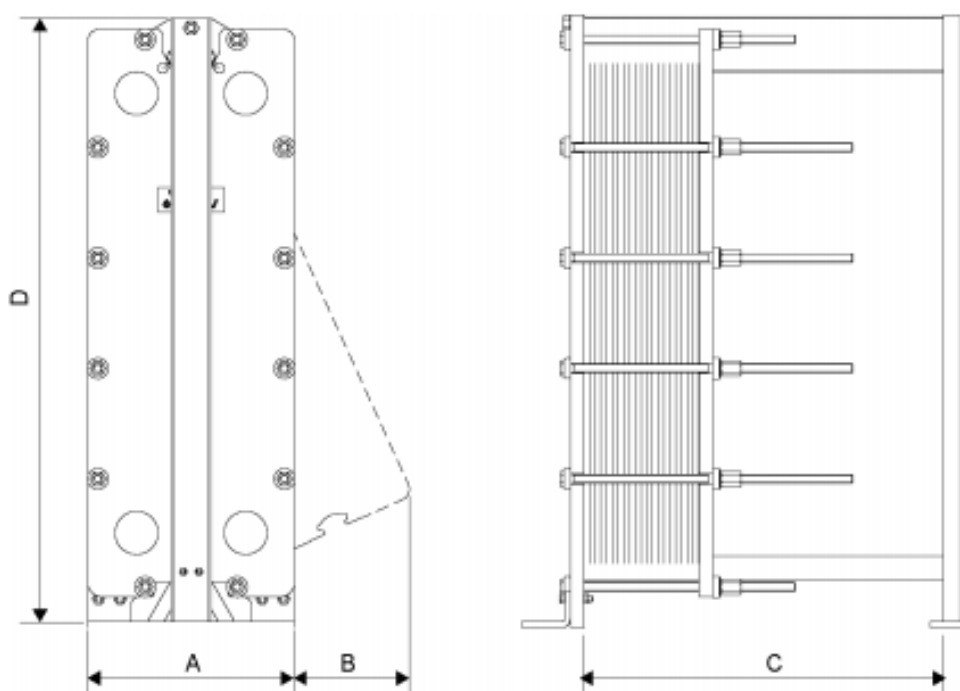


Figura 22. Intercambiador de calor Wärtsilä. Fuente: *Wärtsilä, (2018)*.

A – 578 mm.

C – 425 mm.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 76/148

D – 1.133 mm.

1.8.6.4. TANQUE DE EXPANSIÓN

El tanque de expansión compensa la expansión térmica del refrigerante, sirve para la ventilación de los circuitos y proporciona una presión estática suficiente para las bombas de circulación.

El tanque de expansión está equipado con una escotilla de inspección, un medidor de nivel, una alarma de bajo nivel y medios necesarios para la dosificación de aditivos de agua de refrigeración. Por otro lado, existe la posibilidad de que pequeñas cantidades de GNL se filtren al sistema de refrigeración, de tal manera que el propio sistema las separe y deposite en el tanque de expansión, lo que obliga a que este sea cerrado para evitar la liberación del mismo en la sala (la respiración del tanque se llevará a cabo a través de unas tuberías con unas válvulas normalmente cerradas incorporadas).

La tubería de equilibrio hacia abajo del tanque de expansión debe estar dimensionada para una velocidad de flujo que no exceda de 1,5 m/s para garantizar la presión requerida en la entrada de la bomba con los motores en funcionamiento. El flujo a través de la tubería depende de la cantidad de tubos de ventilación del tanque y del tamaño de los orificios en las tuberías de ventilación.

Tabla 9. Velocidad máxima del flujo en función del número de orificios de ventilación del tanque de expansión. Fuente. *Wärtsilä, (2018)*.

Nominal pipe size	Max. flow velocity (m/s)	Max. number of vent pipes with ø 5 mm orifice
DN 32	1.1	3
DN 40	1.2	6
DN 50	1.3	10
DN 65	1.4	17

Por último, indicar que la presión en el interior del tanque debe comprenderse entre 7 y 15 bares. Su capacidad debe ser el 10% del volumen de agua total

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 77/148

del circuito, por lo que se estima que tendrá que ser capaz de almacenar un mínimo de 20 litros (en el interior del motor hay 120 litros, y en el resto del circuito hay aproximadamente 80 litros). De esta manera, nuestro tanque tendrá una capacidad de 50 litros (puesto que habrá altas variaciones de presión en su interior).

1.8.6.5. CALENTADOR

La fuente de energía del calentador puede ser energía eléctrica, vapor o aceite térmico. La temperatura del agua del circuito de alta temperatura se recomienda que sea de 70°C (siendo la temperatura mínima de 60°C). La potencia de calentamiento determina el tiempo requerido para calentar el motor desde el estado original, siendo esta de un mínimo de 2 kW/cyl para conseguir calentar el motor de 20°C a 70°C en 12 horas, mientras que para tenerlo caliente se estima que es necesario 1 kW/cyl.

Por otro lado, la propia guía del proyecto nos ofrece una fórmula a partir de la cual podemos calcular la potencia del calentador en función del tiempo que necesitemos para llegar a la temperatura nominal. En nuestro caso, si deseásemos calentar el motor en 6 horas, necesitaríamos una potencia de 2,75 kW/cyl.

1.8.6.6. BOMBA DEL CALENTADOR

Esta bomba va situada justo antes del calentador, y genera un caudal de 2,5 m³/h, junto a una presión nominal de 1 bar y desarrollando una potencia de 200W.

Cabe añadir que tanto esta bomba como el calentador son proporcionados por Wärtsilä en un solo bloque llamado “Unidad de precalentamiento”, el cual contiene también un panel de control del calentador y de la bomba, un conjunto de termómetro, una válvula de retención y otra válvula de seguridad.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 78/148

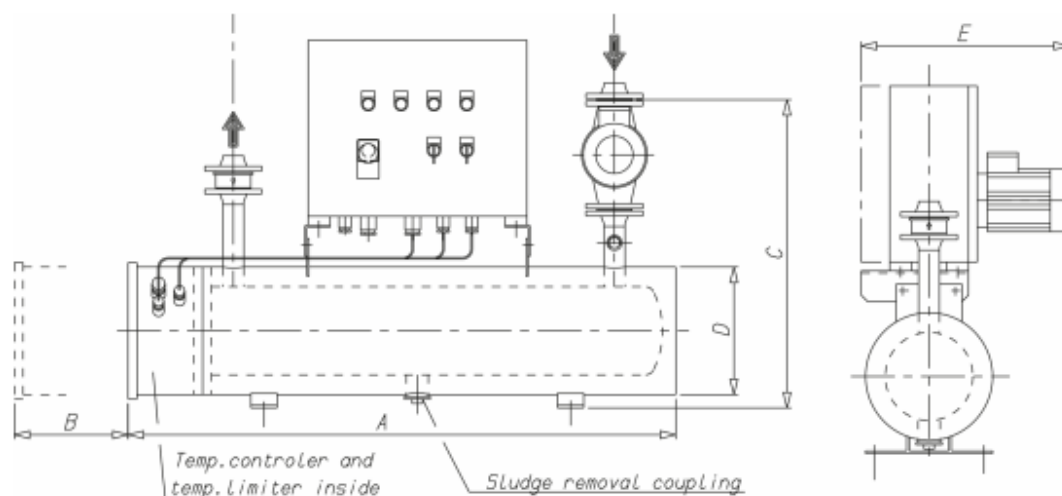


Figura 23. Unidad de precalentamiento Wärtsilä. Fuente. Wärtsilä, (2018).

1.8.6.7. BOMBA DE AGUA DE MAR

Esta bomba irá instalada en la toma de agua de mar general, y deberá desplazar el agua hasta la cubierta 6, donde se ubica nuestra instalación (y por tanto, el intercambiador de calor), por lo que se verá obligada a superar un desnivel de 17,6 m. Además, el agua de entrada del intercambiador de calor deberá ser entregada a una presión mínima de 2,5 bares.

La bomba escogida es de la marca AZCUE, de tipo centrífuga vertical, capaz de desplazar un caudal de 140 m³/h y generar una presión de 10 bares.

1.8.6.8. TANQUE DE MEZCLA Y VACIADO

La guía del proyecto entregada por Wärtsilä aconseja instalar un tanque de este tipo con el propósito de evacuar toda el agua (con sus aditivos correspondientes) del sistema de refrigeración a dicho tanque para poder realizar de esta manera las tareas de mantenimiento (una vez finalizadas, el agua se bombeará de nuevo al sistema).

El tanque tendrá una capacidad de 200 l, que es aproximadamente el volumen de agua que contiene el circuito.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 79/148

1.8.6.9. BOMBA DE LLENADO

Tiene como objetivo bombear el agua desde el tanque de drenaje hasta el tanque de expansión, y así que posteriormente se rellene de nuevo todo el circuito de refrigeración.

La bomba a instalar tendrá una capacidad de 250 l/h y una presión de diseño de 10 bares, mientras que la temperatura de diseño es de 50°C.

1.8.7. SISTEMA DE AIRE DE COMBUSTIÓN Y VENTILACIÓN

Para mantener unas condiciones aceptables de funcionamiento del motor y garantizar el funcionamiento sin problemas de todos los equipos, se debe prestar atención a la ventilación de la sala de máquinas y al suministro de aire de combustión.

1.8.7.1. VENTILACIÓN DE LA SALA

Las entradas de aire de la sala del motor auxiliar deben estar ubicadas y diseñadas de modo que el agua pulverizada, el agua de lluvia, el polvo y los gases de escape no puedan ingresar de nuevo a la sala a través de los conductos de ventilación.

A la hora de ventilar la sala, aunque es cierto que empleando parámetros genéricos se indica que de manera estándar debe haber 30 cambios de aire a la hora, la propia guía del proyecto aconseja calcular el caudal de aire a ventilar en función del calor emitido por el motor y el resto de equipos (entre otros parámetros).

Teniendo en cuenta que el motor emite una radiación de 45 kW, y estimando que el resto de equipos emiten en total la mitad de calor (22,5 kW), además de preestablecer que la diferencia de temperatura con el exterior es de 35°C, obtenemos que el caudal de aire a ventilar deber ser aproximadamente de 1,7 m³/s.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 80/148

La sala donde se ubique el motor debe contar con ventiladores capaces de producir en total los caudales solicitados (cuanto mayor sea el número de ventiladores menor podrá ser el caudal de cada uno). Estos ventiladores deberían tener preferiblemente motores eléctricos de dos velocidades (o velocidad variable), para que la ventilación puede reducirse según la temperatura del aire exterior y la radiación de calor en la sala de máquinas.

1.8.7.2. SISTEMA DE ENTRADA DE AIRE DE COMBUSTIÓN AL MOTOR

Por lo general, el aire de combustión se toma de la sala de máquinas a través de un filtro en el turbocompresor. Esto reduce el riesgo de temperaturas demasiado bajas y la contaminación del aire de combustión. Es importante que el aire de combustión no contenga polvo, humos, etc.

El aire de combustión es suministrado a través de unos ventiladores, obteniendo el flujo másico en función del consumo de aire de combustión del motor y de la densidad estimada del aire. En nuestro caso, el motor al consumir 2 kg/s de aire (en modo diésel, mientras que en modo GNL consume 1,5 kg/s), por lo que necesitaríamos unos ventiladores que proporcionen en total 1,77 m³/s en el caso de trabajar en modo diésel (que al ser el parámetro más restrictivo será el que tengamos en cuenta), y 1,33 m³/s en el caso de trabajar en modo GNL. Además, teniendo en cuenta la normativa, debemos tener unos ventiladores que generen como mínimo 1,5 veces dicho valor, lo que viene a ser 2,625 m³/s.

El aire de combustión será entregado a través de un conducto dirigido hacia la entrada de aire del turbocompresor. La salida del conducto debe estar equipada con una aleta para controlar la dirección y la cantidad de aire.

1.8.7.3. VENTILADORES

Se instalarán 3 ventiladores de flujo axial de la marca “Novenco” del tipo “ZerAx AZL” (número de artículo 30043426), dos de los cuales estarán

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 81/148

direccionados para introducir aire en la sala y otro con una disposición inversa, con el propósito de evacuar aire caliente del interior y así refrigerar la sala.

Este tipo de ventiladores traen incorporados motores eléctricos de velocidad variable para una mayor flexibilidad. Además del control manual, tienen un dispositivo que permite que la velocidad del ventilador se pueda controlar con la carga del motor.

A la hora de escoger el caudal del ventilador, hemos tenido en cuenta los requerimientos de la Sociedad de Clasificación, los cuales indican que debe haber un mínimo de 30 cambios de aire a la hora (teniendo en cuenta que la capacidad de la sala es de 300 m³, supondría renovar 9.000 m³/h de aire).

Estos ventiladores tienen un diámetro de 355 mm, con un caudal de 7,200 m³/h (2 m³/s) y una eficiencia del 87,6% (con una potencia de consumo de 2,964 kW). Genera una presión total de 1,111 Pa y una presión estática de 865 Pa. Pueden trabajar a temperaturas entre -40°C y 120°C, y trabajan a velocidades ligeramente superiores a las 4.000 rpm.

En cuanto a las dimensiones del tipo de ventilador escogido, y escogiendo el motor de máxima potencia permitida en función del diámetro, podemos ver:

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 82/148

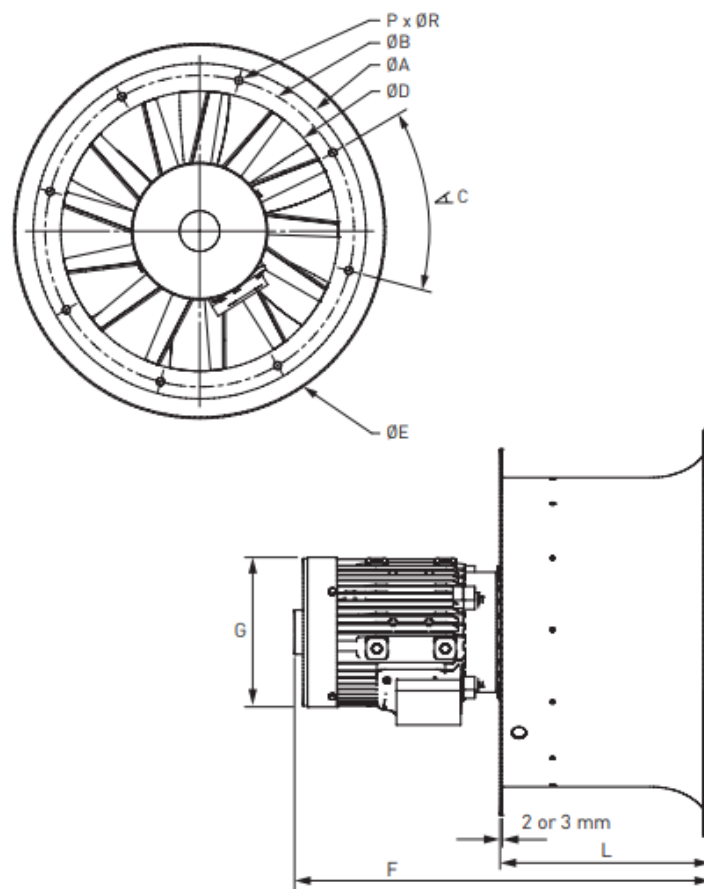


Figura 24. Ventilador “Novenco” de tipo “ZerAx AZL” número 30043426. Fuente. *Novenco, (2018)*.

D – 355 mm.

F – 566 mm.

B – 395 mm.

A – 425 mm.

E – 475 mm.

C – 45°.

P – 8.

R – 10 mm.

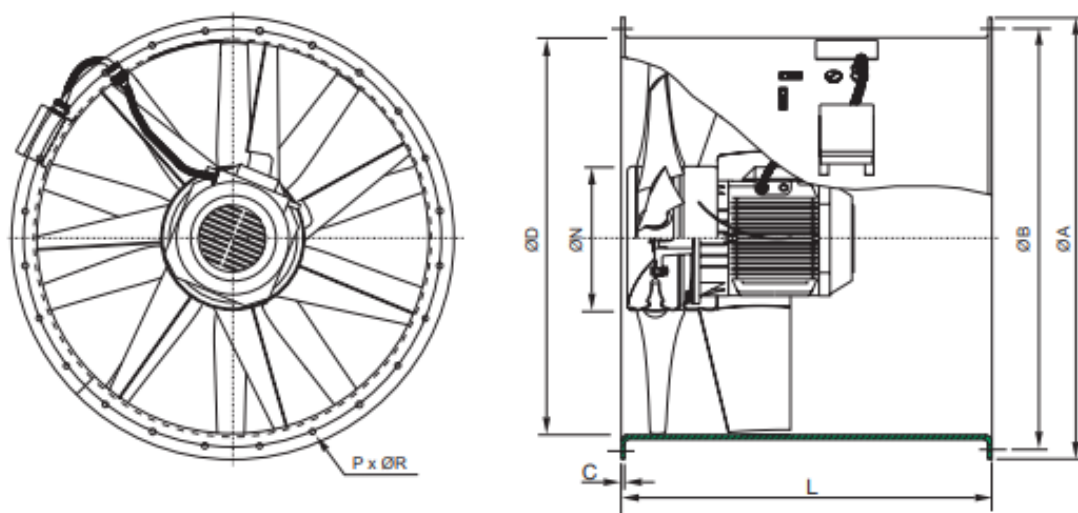
L – 246 mm.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 83/148

A la hora de suministrar aire al motor, se empleará un ventilador específico para ello, que suplirá los 9.450 m³/h de aire indicados por la guía del proyecto. Será de la misma marca que el anterior, siendo el número del artículo 30041565.

Este ventilador tiene un diámetro de 500 mm, con un caudal de 10.000 m³/h (2,8 m³/s) y una eficiencia del 75% (con una potencia de consumo de 2.348 kW). Genera una presión total de 521 Pa y una presión estática de 401 Pa. Pueden trabajar a temperaturas entre -40°C y 120°C, y trabajan a velocidades de 2.870 rpm.

En cuanto a las dimensiones del tipo de ventilador escogido, y escogiendo el motor de máxima potencia permitida en función del diámetro, podemos ver:



A – 590 mm.

B – 560 mm.

D – 500 mm.

P – 12 mm.

R – 12 mm.

C – 10 mm.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 84/148

L – 560 mm.

Peso – 69 kg.

1.8.8. SISTEMA DE GASES DE ESCAPE

A la hora de diseñar este sistema, hay una serie de factores que son determinantes en cuanto al rendimiento, como la contrapresión, la expansión térmica y el soporte.

Además, el GNL puede ingresar al sistema de escape si se produce un mal funcionamiento durante la operación del gas. El GNL puede acumularse en la tubería de escape y podría encenderse en caso de que aparezca una fuente de ignición (como una chispa) en el sistema. Por lo tanto, el sistema de escape externo debe diseñarse de modo que la acumulación de presión en caso de explosión no exceda la presión máxima permisible para ninguno de los componentes en el sistema. El motor puede tolerar una presión de al menos 200 kPa. Otros componentes en el sistema pueden tener un límite de presión máxima más bajo. Las consecuencias de una posible explosión de gas se pueden minimizar con un diseño adecuado del sistema de escape; el motor no se dañará y los gases de explosión se dirigirán de forma segura a través de rutas predefinidas.

Los elementos básicos que comprenden este sistema son:

1.8.8.1. UNIDAD DE GASES DE ESCAPE

Esta unidad es proporcionada por Wärtsilä, y consiste en un sistema de seguridad que sopla durante unos 30 segundos el sistema de gases de escape después de que se haya parado el motor cuando ha estado trabajando en modo GNL, asegurándonos de que no se quede GNL sin quemar en el sistema y evitando percances de cualquier tipo.

La unidad de ventilación consiste en un ventilador centrífugo, un interruptor de flujo y una válvula de mariposa con retroalimentación de posición. La

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 85/148

válvula de mariposa es hermética a los gases y capaz de soportar la temperatura máxima del sistema de escape en el lugar de instalación.

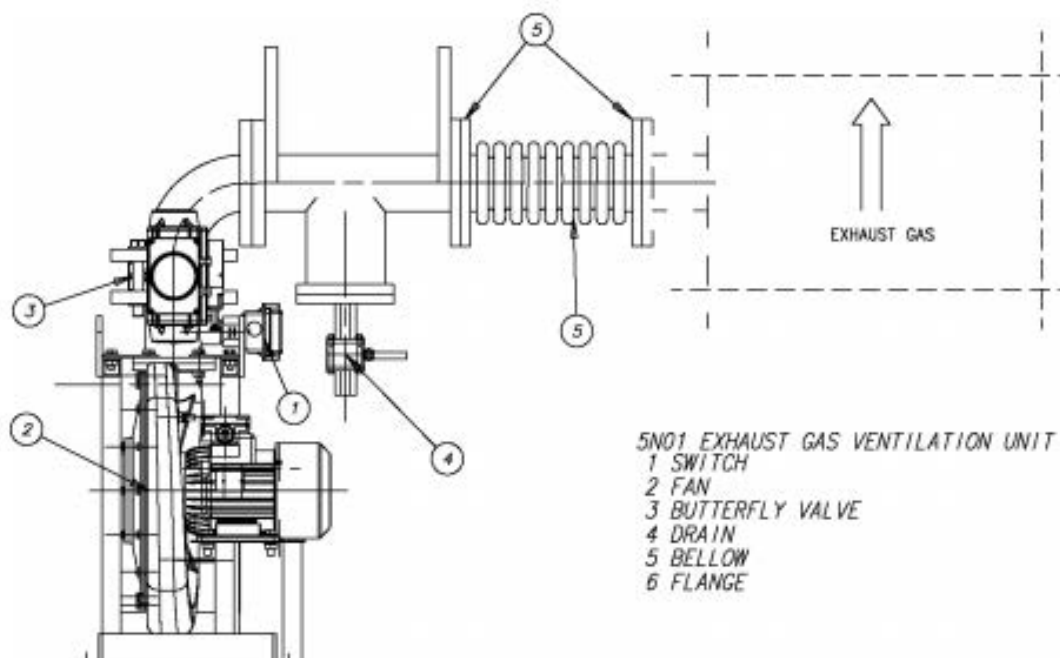


Figura 25. Unidad de gases de escape Wärtsilä. Fuente. *Novenco, (2018)*.

1.8.8.2. TUBO DE ESCAPE

El tubo de escape que vamos a instalar estará situado de manera vertical y sin codos (aumentando sus prestaciones, como indica la propia Sociedad de Clasificación), teniendo una pequeña apertura que permitirá la desviación a la unidad de gases de escape.

Estará aislado con material de aislamiento aprobado para las condiciones de operación correspondientes, con un espesor de 40 mm (siendo el espesor mínimo asignado por la Sociedad de Clasificación de 30 mm). El aislamiento será continuo por toda la estructura y estará protegido por una placa protectora o similar para mantener el aislamiento intacto. Además, en las proximidades del turbocompresor el recubrimiento tendrá un sistema diferente, facilitando el mantenimiento. Por último, indicar que especialmente importante evitar que la corriente de aire al turbocompresor separe el aislamiento, lo que obstruirá los filtros.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 86/148

En cuanto a las dimensiones del tubo de escape, el diámetro tiene que ser lo suficientemente amplio para que la velocidad de los gases de escape no supere los 35 m/s. De esta manera, aplicando la fórmula que aparece en la guía del proyecto obtenemos que, empleando una tubería con un diámetro interior de 300 mm, la velocidad de los gases de escape sería de 32,2 m/s.

1.8.8.3. SILENCIADOR

El silenciador irá situado, al igual que el resto de componente del tubo de escape, verticalmente. Sin embargo, en este caso, parte del silenciador saldrá de la sala del motor a través de un orificio ubicado en el techo de la misma.

El silenciador proporcionado por Wärtsilä es de tipo absorción, con una atenuación del ruido entre 25 dB y 35 dB. Además, el propio silenciador también cuenta con un parachispas, un colector de hollín (aunque en nuestro caso no será muy empleado) y un drenaje condensado.

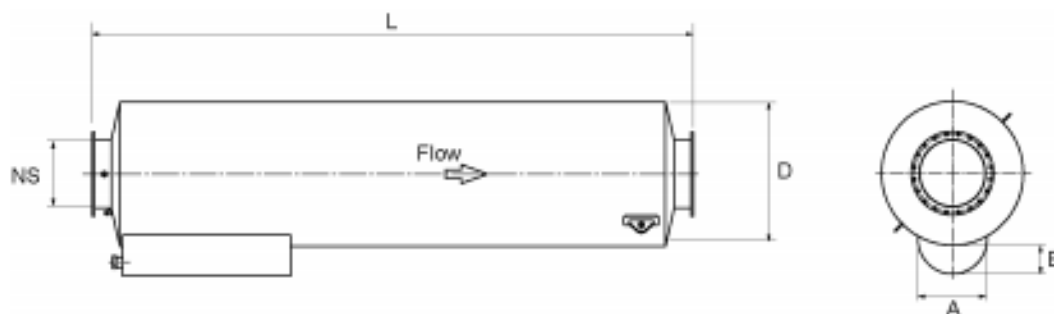


Figura 26. Silenciador Wärtsilä. Fuente. *Wärtsilä, (2018)*.

Las dimensiones del silenciador serán:

Tabla 10. Dimensiones del silenciador Wärtsilä. Fuente *Wärtsilä, (2018)*.

NS	L [mm]	D [mm]	A [mm]	B [mm]	Weight [kg]
300	3530	860	305	150	455

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 87/148

1.8.9. SISTEMA DE GAS INERTE

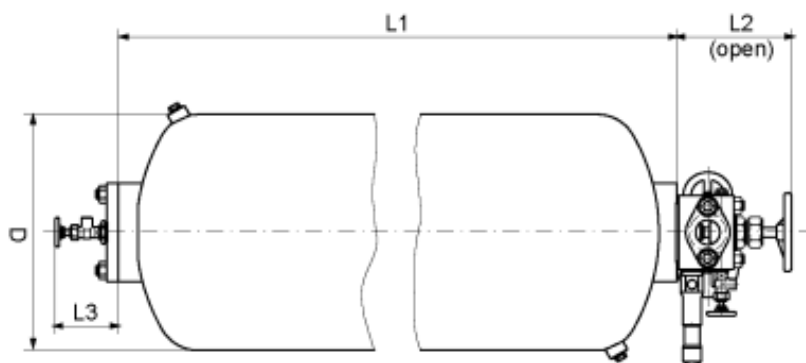
El objetivo principal de la inertización es neutralizar los gases inflamables que pueden mantenerse en el interior del motor o en alguno de sus sistemas, y que podrían generar una situación de peligro en determinadas circunstancias.

En el caso de nuestro motor, y como indica la propia guía del proyecto, este sistema estará conectado al sistema de GNL a través de la Gvu y al sistema de lubricación a través del propio motor.

Por último, indicar que el elemento principal de este sistema son las bombonas de nitrógeno:

1.8.9.1. BOMBONAS DE NITRÓGENO

Colocaremos 4 bombonas de 125 litros a 200 bares. El peso por botella es de 210 kg, y cada una contiene 23 m³ de nitrógeno. En cuanto a sus dimensiones, son las siguientes:



L1 – 1807 mm.

L2 – 243 mm.

L3 – 110 mm.

D – 324 mm.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 88/148

1.9. PLANIFICACIÓN

A la hora de realizar el TFG lo primero que tuve en cuenta fue el tema a desarrollar. Actualmente, la generación de la energía eléctrica, tanto a bordo del buque como en tierra, es un punto de vital importancia. Sin embargo, los métodos de obtención de la misma, en su gran mayoría, producen una gran contaminación (recordemos que las centrales eléctricas son las más extendidas, provocando grandes emisiones de gases contaminantes debido a la combustión de los combustibles empleados).

A todo esto, hay que sumarle que la demanda de energía eléctrica se incrementa día tras día, lo que nos obliga, por un lado, a optimizar los recursos, y por otro, a buscar nuevas alternativas que nos alejen de una contaminación tan marcada. Estudiando esta situación me informé a cerca de los medios actuales existentes a bordo de los buques a la hora de generar energía eléctrica de manera ecológica y sostenible: sistemas EGR, sistemas SCR, scrubbers...

Sin embargo, hubo dos puntos en este aspecto que no me atrajeron: el primero es que pese a reducir sustancialmente la contaminación, el uso de combustibles fósiles seguía presente; el segundo aspecto es que son temas lo suficientemente desarrollados, lo que no me permitía un gran margen de innovación.

Es por eso que estudiando otras alternativas me decanté por la instalación de un motor propulsado por GNL, ya que es un combustible que genera muchas menos emisiones que los convencionales y cuyas prestaciones son parecidas.

Una vez escogido el tema me informé de que el *Abel Matutes* (barco perteneciente a la naviera Balearia) acababa de instalar un motor auxiliar de este tipo, por lo que decidí realizar una instalación semejante en el buque objeto de estudio.

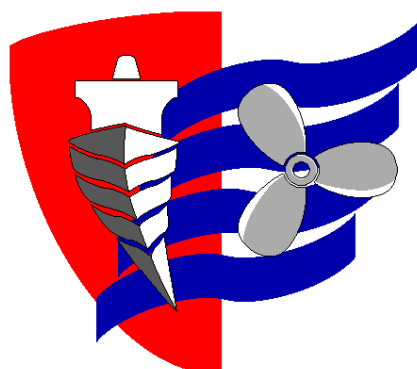
Una vez superados estos aspectos, ya me centré más propiamente dicho, en la realización del TFG. A nivel de cálculos, el inicial se basó en asegurarme que la instalación del motor cumplía con los requisitos exigidos por la

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: MEMORIA	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 89/148

Sociedad de Clasificación en lo que a estabilidad se refiere. Una vez seguros de que el buque no se veía afectado a esta transformación, se realizó el análisis de cada uno de los sistemas, su funcionamiento y los componentes que lo constituyen, para después realizar los cálculos convenientes y finalmente realizar el diseño de los planos.

Para la ejecución de todo el proceso, siempre se ha tenido en cuenta las normas dictadas por la Sociedad de Clasificación, las advertencias adjuntadas en la guía del proyecto facilitada por Wartsila y los códigos internacionales apoyados por la OMI relacionados con la seguridad del buque.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ANEXOS

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 91/148

2. ANEXOS

En este apartado irán todos los cálculos que se han debido realizar a la hora de diseñar cada uno de los sistemas, así como la influencia en la estabilidad del barco al instalar el proyecto en su totalidad.

2.1. CÁLCULOS

2.1.1. MOTOR

A la hora de escoger el motor a instalar, se realizó una observación de la situación actual y demanda de los motores auxiliares del buque objeto de estudio. Este buque consta de 3 motores de 4 tiempos Mitsubishi de 6 cilindros de 170 x 220 con un Mcr de 610 kW, aunque normalmente suelen trabajar 2 al 75% de carga.

De esta manera, para reemplazar el suministro de energía eléctrica en las zonas SECA generado por dichos motores auxiliares, se optó por la instalación del motor de menor tamaño de la gama de motores de fuel dual de la marca Wärtsilä, el 6L20DF, que independientemente de sus características mecánicas, tiene un Mcr de 960 kW, suficiente para paliar las necesidades energéticas del buque.

2.1.2. REQUISITOS EN LA ESTABILIDAD DEL BARCO

El código ISC exige unos requerimientos básicos en la estabilidad del buque después de cualquier tipo de reforma o transformación, como es en nuestro caso. De esta manera, una vez instalado todos los elementos tratados en el proyecto, el peso en rosca del buque no puede aumentar más del 2 %, así como la variación del centro de gravedad longitudinal no debe superar el 1 %.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 92/148

2.1.1.1. VARIACIÓN DEL PESO EN ROSCA

En primer lugar, debemos explicar que al carecer del peso en rosca original del buque objeto de estudio, se hizo un cálculo aproximado del mismo empleando diversas fórmulas de estimación.

Para el cálculo del peso del acero estructural empleamos el método de Watson y Gilfillan, que utiliza la siguiente fórmula:

$$WST = k \times E^{1.36} [1 + 0.5(CB80D - 0.7)]$$

Donde E se obtiene a partir de:

$$E = LPP(B + D) + 0.85LPP(D - T) + 0.85 \sum l_1 h_1 + 0.75 \sum l_2 h_2$$

Las dimensiones principales del buque serían:

- LPP (eslora entre perpendiculares) = 86,6 m.
- B (manga de trazado) = 17 m.
- D (puntal a cubierta principal) = 11,5 m.
- T (calado de proyecto) = 4,3 m.
- CB = (coeficiente de bloque) = 0,65.

Por otro lado, $l_1 h_1$ y $l_2 h_2$ son la eslora y altura correspondiente a las superestructuras y casetas (este último no se ha tenido en cuenta):

Cubiertas	Eslora (m)		Altura (m)	$l \cdot h \text{ (m}^2\text{)}$
	Cuadernas	Distancia		
Cubierta 4 (12,4). 111-133.	22	0,6	0,9	11,88
Cubierta 5 (14,3). (-6)-12.	12	0,6	1,9	13,68
Cubierta 5 (14,3). 12-97.	85	0,75	1,9	121,125
Cubierta 5 (15,8). 97-111.	14	0,75	3,4	35,7
Cubierta 6 (17,1). 0-12.	12	0,6	2,8	20,16
Cubierta 6 (17,1). 12-59.	47	0,75	2,8	98,7
Cubierta 6 (17,1). 72-97.	25	0,75	2,8	52,5
Cubierta 6 (18,7). 97-109.	12	0,75	2,9	26,1
Total				379,845

Además, para calcular el término CB80D recurriremos a la siguiente fórmula:

$$CB80D = CB + (1 - CB)(0.8D - T)/3T$$

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 93/148

Por lo tanto, obteniendo de las tablas que el valor k es de 0,031, y conociendo el resto de valores, deducimos que el peso del acero estructural total es:

$$WST = 0.031 \times 3320,96^{1.36} [1 + 0.5(0,7829 - 0.7)] = 1985,767 \text{ Tons}$$

Para el cálculo del peso de equipo y habilitación se puede emplear la siguiente fórmula:

$$WOA = K_e \times LPP \times B$$

Teniendo en cuenta que el término K_e es 0,31:

$$WOA = 0,33 \times 86,6 \times 17 = 456,4 \text{ Tons}$$

Para el peso de la maquinaria principal y auxiliar deberemos tener en cuenta:

En primer lugar, el peso de los motores principales con sus respectivas reductoras, que dan un total de 115 Tons.

En segundo lugar, deberemos calcular el peso de la maquinaria propulsora restante, que podemos estimar a partir de la siguiente ecuación:

$$WRP = k_m \times MCO^{0.7}$$

Donde K_m en el caso de un crucero es un coeficiente con valor de 0,53 y MCO es la potencia continua máxima que puede desarrollar el buque, que en nuestro caso es de 9.000 kW, por lo que

$$WRP = 0.53 \times 9000^{0.7} = 310,63 \text{ Tons}$$

En tercer lugar, para calcular otros elementos ubicados en la cámara de máquinas, existe la siguiente fórmula:

$$WRQ = 0.03 \times VMQ$$

Donde el VQM es el volumen de la sala de máquinas, que en nuestro caso hemos estimado de unos 4964,66 m³, lo que da un peso total de 148,94 Tons.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 94/148

En cuarto y último lugar nos quedaría estimar el peso de la línea de ejes fuera de la sala de máquinas, que lo obtendremos a partir de la siguiente fórmula:

$$WQE = N^{\circ}_{\text{ejes}} \times l_{\text{ejes}}(5 + 0.0164LPP)$$

Que sustituyendo los respectivos valores obtenemos:

$$WQE = 2 \times 11,5(5 + 0.0164 \times 87,6) = 148,3 \text{ Tons}$$

De esta manera, el peso total de la maquinaria principal y auxiliar es aproximadamente de 722,88 Tons, y el peso en rosca total del buque de 3165 Tons. Si lo comparamos con el precio en rosca real, que es de 3147 Tons, observamos que a través de este método de estimación hemos tenido un error de cálculo del 0,57%.

Como se ha mencionado al inicio del apartado, tras la transformación el peso en rosca total del buque no podría incrementarse en más de un 2%, lo que supone 62,94 Tons. El motor pesa 9,4 Tons, el depósito de GNL 6,35 Tons y teniendo en cuenta que el resto de componentes de los sistemas sumen un total de 10 Tons, así como considerando un factor de seguridad del 20%, supondría que la instalación del proyecto pesase en su totalidad 30,9 Tons, por lo que en este aspecto la instalación del proyecto cumpliría con los requisitos establecidos.

2.1.1.2. VARIACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD LONGITUDINAL

Debido al desconocimiento del centro de gravedad longitudinal del buque, lo primero que hicimos fue estimarlo empleando una fórmula específica para buques Ro-Ro que encontramos en el libro "Proyecto básico de un buque" y que expresa la distancia de XG sobre la perpendicular de popa como:

$$XG = 0,53732 \times LPP^{0,95275}$$

Situando XG a 37,69 m de la popa, y sabiendo la masa y ubicación de cada uno de los elementos que vamos a instalar, podemos calcular el momento total final del buque (ya que también conocemos el peso del buque, el cual

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 95/148

emplearemos el real y no el estimado, para minimizar al mínimo los errores de cálculo):

Elemento	Peso (Tons)	Coordenada (m)	Momento (Tons*m)
Buque	3147	37,69	118610,43
Motor	9,4	23,09	217,046
Depósito GNL	6,35	19,24	122,174
Otros	10	21,04	210,4
Total	3172,75		119160,05

Inicialmente hemos tomado como punto de referencia la perpendicular de popa y hemos calculado los momentos que generan los elementos a instalar sobre dicho punto. Ahora solo queda determinar la variación de posición en el centro de gravedad longitudinal:

$$XG' = \frac{\Sigma M_L}{\Delta'_{rosca}} = \frac{119160,05}{3172,75} = 37,557 \text{ m}$$

Conociendo esto, y sabiendo que el parámetro que nos define una estabilidad correcta es que el incremento de XG tiene que ser menor del 1% de la eslora entre perpendiculares:

$$\% \Delta XG = \frac{XG - XG'}{LPP} \times 100 = \frac{37,69 - 37,557}{86,6} \times 100 = 0,1532 \%$$

Por lo tanto, nuestro proyecto, en cuanto a restricciones de estabilidad, cumple con los parámetros requeridos.

2.1.3. SISTEMAS

En este apartado procederemos a indicar y calcular diferentes aspectos en cada uno de los sistemas, como pueden ser presiones en compresores, tipos de tuberías empleadas, caudal de las bombas... Sin embargo, indicar que las caídas de presiones en los circuitos, de manera genérica, no se han calculado, puesto que se tratan de distancias despreciables y la propia guía del proyecto ya lo tiene en cuenta.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 96/148

2.1.3.1. SISTEMA DE COMBUSTIBLE GNL

2.1.3.1.1. Tanque contenedor de GNL

Uno de los datos fundamentales en el proyecto es el cálculo del tanque de GNL que debemos instalar a corde con la autonomía que queramos tener. Debemos recordar que este motor solo será empleado en maniobras de puerto con el propósito de cumplir las limitaciones de emisiones de SOx propias de las zonas SECA y de los puertos europeos, así como las restricciones del resto de gases contaminantes que aparecen en el Anexo VI del MARPOL.

El motor que se desea instalar es el 6L20DF Wartsila de 960 kW de potencia. Consta de 6 cilindros, desarrollando cada uno de ellos una potencia de 160kW y consumiendo en *modo gas* al 75% de carga 8326 kJ/kWh.

A partir de estos datos, el cálculo de la potencia que consume en combustible será:

$$PTC = N * P * CG$$

PTC = Potencia Total Consumida por el motor.

N = Número de cilindros.

P = Potencia desarrollada por cada cilindro.

CG = Consumo de Gas al 75% de carga.

$$PTC = 6 * 160W * \frac{8326kJ}{kWh} = \frac{7.992.960kJ}{h}$$

Es necesario convertir sus unidades a SI, lo que implica una conversión de horas a segundos, para así obtener el resultado en Wattios (J/s), de forma que nos facilite el resto de cálculos:

$$\frac{7.992.960kJ}{h} = \frac{7.992.960kJ}{h} * \frac{1h}{3600s} = 2220,26kW$$

Por otro lado, el poder calorífico de una tonelada de GNL es de 13.000 kWh, lo que implica que con una tonelada del mismo tendríamos una autonomía de:

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 97/148

$$\frac{13.000kWh}{2220,26kW} = \mathbf{5,85h}$$

De esta forma se deduce que el motor consumiría a la hora:

$$\frac{1T}{5,85h} = \mathbf{0,17T/h}$$

Si tenemos en cuenta que al día el motor está en funcionamiento 8 horas aproximadamente, el consumo diario del motor sería:

$$\frac{0,17T}{h} * 8h = \mathbf{1,36T/Día}$$

Lo que se deduce que, siendo la densidad del GNL 0,46T/m³, el consumo volumétrico diario de GNL será:

$$(1,36T/Día)/(0,46T/m^3) = \mathbf{2,97m^3/Día}$$

Por último, suponiendo que estamos interesados en tener una autonomía de una semana, el contenedor de GNL debe tener una capacidad mínima de:

$$\frac{2,97m^3}{Día} * 7Días = \mathbf{20,79m^3}$$

De esta manera, Wärtsilä nos ofrece un tanque contenedor de GNL de 25 m³, lo que supondría una autonomía total de más de 8 días (recordemos que el motor consume en torno a 3 m³ diarios).

2.1.3.2. SISTEMA DE COMBUSTIBLE MDO

2.1.3.2.1. Tanque contenedor de MDO

Como ya se ha mencionado en apartados interiores, este tipo de motores emplean una pequeña cantidad de combustible diésel cuando están en modo GNL (un 1% comparado al empleado en el modo MDO), con el propósito de mejorar sus prestaciones.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 98/148

De esta forma, en modo GNL el motor apenas consume 4,5 g/kWh. Sabiendo que consta de 6 cilindros, cada uno de los cuales desarrolla una potencia de 160 Kw, podemos deducir que su consumo a la hora es:

$$C = CD * N * P$$

C = Consumo de MDO piloto a la hora (g).

CD = Consumo de Diésel piloto al 75% de carga (g/kWh).

N = Número de cilindros.

P = Potencia desarrollada por cilindro (kW).

$$C = \frac{4,5g}{kWh} * 6 * 160kW = 4.320g/h (4,32kg/h)$$

Considerando que la densidad del MDO es de 0,89 kg/l, a la hora consumiría 4,85 litros. Además, si tenemos en cuenta que trabajará al día 8 horas y que queremos tener una autonomía de 8 días (puesto que el tanque de GNL permite una autonomía parecida), la capacidad debería ser de 310 l.

Sin embargo, todos estos cálculos no son prácticos, puesto que la propia Sociedad de Clasificación obliga a tener un tanque contenedor de MDO con la autonomía suficiente para trabajar 8 horas en modo MDO.

Para calcular dicho consumo, simplemente tenemos que reutilizar las fórmulas anteriores, pero esta vez considerando diferentes valores en lo que a consumo de MDO (g/kWh):

$$C = CD * N * P$$

C = Consumo de MDO piloto a la hora (g).

CD = Consumo de Diésel piloto al 75% de carga (g/kWh).

N = Número de cilindros.

P = Potencia desarrollada por cilindro (kW).

$$C = \frac{196g}{kWh} * 6 * 160kW = 188160g/h (188,16kg/h)$$

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 99/148

Conociendo la densidad del MDO (0,89 kg/l) y que debe estar trabajando durante 8 horas con este consumo, el volumen mínimo del tanque tiene que ser de 1691,33 l. En nuestro caso, se ha escogido uno de 2 m³.

2.1.3.3. SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

2.1.3.3.1. Depósitos de aire de arranque

El arranque de cualquier motor es una situación crítica, de ahí que la guía del proyecto facilite todas las indicaciones necesarias para calcular correctamente el volumen necesario para los depósitos de arranque:

$$Vr = \frac{Pe * Ve * N}{Prmax - Prmin}$$

Vr = Volumen total requerido para el arranque (m³).

Pe = Presión barométrica normal (MPa).

Ve = Volumen de aire consumido en el arranque (m³).

N = Número de arranque requeridos por la Sociedad de Clasificación.

$Prmax$ = Presión máxima del aire de arranque (MPa).

$Prmin$ = Presión mínima del aire de arranque (MPa).

De esta manera, siendo que la Sociedad de Clasificación nos obliga a tener los medios realizar 3 arranques seguidos, y conociendo el resto de valores, deducimos que el volumen total para el arranque es de:

$$Vr = \frac{0,1 * 1,2 * 3}{3 - 1,8} = 0,3m3 (300 l)$$

Sabiendo que necesitamos en total 300 l de aire comprimido, y conociendo que la Sociedad de Clasificación nos manda a dividir entre 2 recipientes iguales dicho volumen, necesitaremos 2 depósitos de 150 l cada uno. Sin embargo, Wärtsilä tiene una amplia gama de estos, entre la que no se encuentran depósitos de 150 l, por lo que nos vemos obligados a coger los de 180 l (los más semejantes directamente superiores).

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 100/148

2.1.3.4. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

2.1.3.4.1. Intercambiador de calor

El intercambiador de calor principal es el elemento más importante de este circuito. La guía del producto adjunta una fórmula a partir de la cual podemos calcular el caudal del circuito de HT que lo atraviesa:

$$q = \frac{3,6 * c}{4,15 * (Tm - Ti)}$$

q = Caudal del circuito de HT (m³/h).

c = Calor disipado en el intercambiador (kW).

Tm = Temperatura a la salida del motor (°C).

Ti = Temperatura después del intercambiador (°C).

Conociendo todos los datos, puesto que son facilitados en la propia guía del producto, podemos obtener que el caudal de agua del circuito de HT que atraviesa el intercambiador de calor es:

$$q = (3,6 * 200kW) / (4,15 * (91°C - 38°C)) = 3,27 \text{ m}^3/\text{h}$$

2.1.3.4.2. Bomba de agua de mar

A la hora de seleccionar la bomba de agua marina, se han tenido en cuenta numerosos parámetros, tanto debido a su localización (recordemos que se encuentra en la zona más baja del buque, para evitar que se descebe) como por la composición de la tubería empleada (acero galvanizado en caliente), entre otros.

De esta manera, lo primero que se ha tenido en cuenta es el caudal requerido: un intercambiador de calor de estas características es atravesado generalmente por un caudal de agua marina de 100 m³/h (dato estándar

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 101/148

ofrecidos por el fabricante), por lo que considerando la posibilidad de que el caudal requerido por este equipo sea ligeramente superior, se ha considerado un error del 20%, lo que da un caudal total a suministrar por la bomba de 120 m³/h.

Una vez conocido el caudal, deberemos calcular la presión que deberá ejercer. La bomba se va a localizar en la zona más baja del buque, donde se sitúa la toma de agua de mar, y nuestro intercambiador de calor se encuentra en la cubierta 6, por lo que nuestra bomba debe superar un desnivel de 17,6 m:

$$17,6mca * \left(\frac{1 \text{ bar}}{10,2 mca} \right) = 1,7 \text{ bares}$$

Por otro lado, se debe tener en cuenta que la guía del proyecto aconseja que la presión del agua marina a la entrada del intercambiador de calor debe ser de 2,5 bares.

Por último, debemos considerar las pérdidas de carga por fricción a lo largo del circuito. Para ello, aunque es verdad que existen numerosos métodos (ecuación de Darcy-Weisbach, ecuación de Colebrook-White...), en nuestro caso hemos escogido la fórmula de Hazen-Williams, la cual es muy precisa cuando se trata de tuberías de acero (recordemos que en nuestro caso se trata de acero galvanizado en caliente):

$$hf = 10,67 * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} * \frac{L}{D^{4,87}}$$

hf = Pérdida de carga (mca).

Q = Caudal (m³/s).

C = Coeficiente de fricción de Hazen-Williams.

L = Longitud de la tubería (m).

D = Diámetro interior de la tubería (m).

Sabiendo que el caudal escogido para la bomba es de 0,00125 m³/s, que el coeficiente de fricción de Hazen-Williams para acero galvanizado es de 125,

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 102/148

que la longitud aproximada de la tubería desde la bomba hasta el intercambiador es de 25 m y que el diámetro interno de la tubería es de 0,15 m:

$$h_f = 10,67 * \left(\frac{0,0333}{125} \right)^{1,852} * \frac{25}{0,15^{4,87}} = 0,67 \text{ mca}$$

Al tratarse de un caudal tan sumamente pequeño, la pérdida de carga es prácticamente despreciable. En esta situación, y teniendo en cuenta los datos anteriores, necesitamos una bomba que como mínimo genere una presión de 3,2 bares. Si aplicamos un error del 20% (al carecer de los planos necesarios, no podemos saber con exactitud el recorrido real de la tubería y la posible presencia de codos en el circuito), nuestra bomba tiene que ejercer una presión mínima de 3,85 bares.

2.1.3.5. SISTEMA DE AIRE DE COMBUSTIÓN

2.1.3.5.1. Ventiladores para la refrigeración de la sala

Para la refrigeración de la sala debemos recordar que se instalaron 3 ventiladores “Novenco” del tipo “ZerAx AZL de 7.200 m³/h, dos direccionados al interior y uno al exterior.

Para su selección tuvimos en cuenta dos métodos a la hora de calcular el caudal que debían desplazar, y escogimos el más restrictivo (el que exigía un mayor movimiento de aire).

El primero de estos métodos es el aconsejado por la propia guía del proyecto, y tiene en cuenta la radiación emitida por el motor y el resto de componentes del sistema:

$$Q_v = \frac{\Phi}{\rho * c * \Delta T}$$

Q_v = Caudal (m³/s).

Φ = Radiación total emitida (kW).

c = Calor específico del aire de ventilación (kJ/kgK).

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 103/148

ρ = Densidad del aire (kg/ m³).

ΔT = Incremento de la temperatura en la sala (°C).

La guía del proyecto considera que la radiación emitida por el motor es de 45 kW. Al desconocer la radiación emitida por el resto de componentes, consideraremos que es la mitad de la del motor (22,5 kW). Además, estableciendo que el incremento de temperatura es de 35°C:

$$Q_v = \frac{45kW + 22,5kW}{1,13 \text{ kg/m}^3 * \frac{1,01kJ}{kgK} * 35^{\circ}C} = \frac{1,7m^3}{s}$$

El segundo método para calcular el caudal de los ventiladores es el empleado por la Sociedad de Clasificación, el cual exige 30 cambios de aire a la hora. El volumen de la sala donde se encuentra el motor tiene un volumen total de 300 m³, lo que equivale a desplazar un volumen total de 9.000 m³/h, es decir, nuestros ventiladores tienen que ser capaces de generar un caudal de 2,5 m³/s en total.

Conociendo ambos resultados, sabemos que la situación más restrictiva es la segunda, de ahí que se coloquen 2 ventiladores de entrada de 2 m³/s cada uno, lo que implica un caudal total de 4 m³/s.

2.1.3.5.1. Ventilador para la combustión del motor

Debido al alto consumo de aire del motor, se ha decidido la instalación de un ventilador exclusivo para ello, con el propósito de evitar un sobrecalentamiento en la sala y asegurarnos de que la demanda de aire exigida por el motor se pueda cumplir de manera óptima.

A la hora de calcular el consumo de aire del motor, debemos tener en cuenta caudal másico exigido por el motor, el cual varía en función del modo en el que vaya a trabajar:

$$q_c = \frac{m'}{\rho}$$

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 104/148

q_c = Caudal del aire de combustión exigido por el motor (m^3/s).

m' = Caudal másico exigido por el motor (kg/s).

ρ = Densidad del aire (kg/m^3).

Por lo consiguientes, sabiendo que en modo GNL la exigencia del caudal másico del motor es de 1,5 kg/s y considerando la densidad del aire de 1,15 kg/m^3 :

$$q_c = \frac{\frac{1,5\text{kg}}{\text{s}}}{\frac{1,15\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,33 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

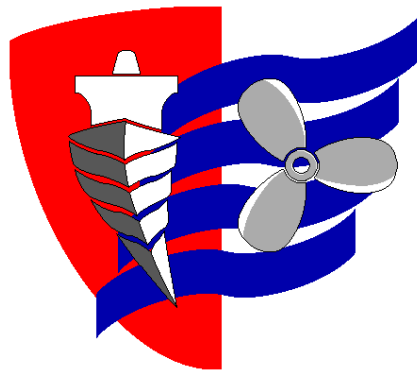
Sin embargo, si nos fijamos en el caudal másico exigido por el motor en modo diésel (señalar que la Sociedad de Clasificación así lo indica), este se incrementa hasta 2 kg/s, lo que obliga a generar un caudal de:

$$q_c = \frac{\frac{2\text{kg}}{\text{s}}}{\frac{1,15\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,77 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

A todo esto hay que añadirle que de nuevo la Sociedad de Clasificación especifica en su normativa que se debe tener los recursos suficientes para poder generar un caudal de 1,5 veces el exigido, lo que nos obliga a que el ventilador que hemos instalado genere 2,625 m^3/s (recordemos que el ventilador instalado produce 9.450 m^3/h , justo el caudal exigido).

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: ANEXOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 105/148

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



PLANOS

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLANOS	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 107/148

3. PLANOS

Disposición general

Disposición general modificada

Esquema instalación sistema de combustible GNL

Esquema instalación sistema combustible MDO

Esquema instalación sistema lubricación

Esquema instalación sistema aire comprimido

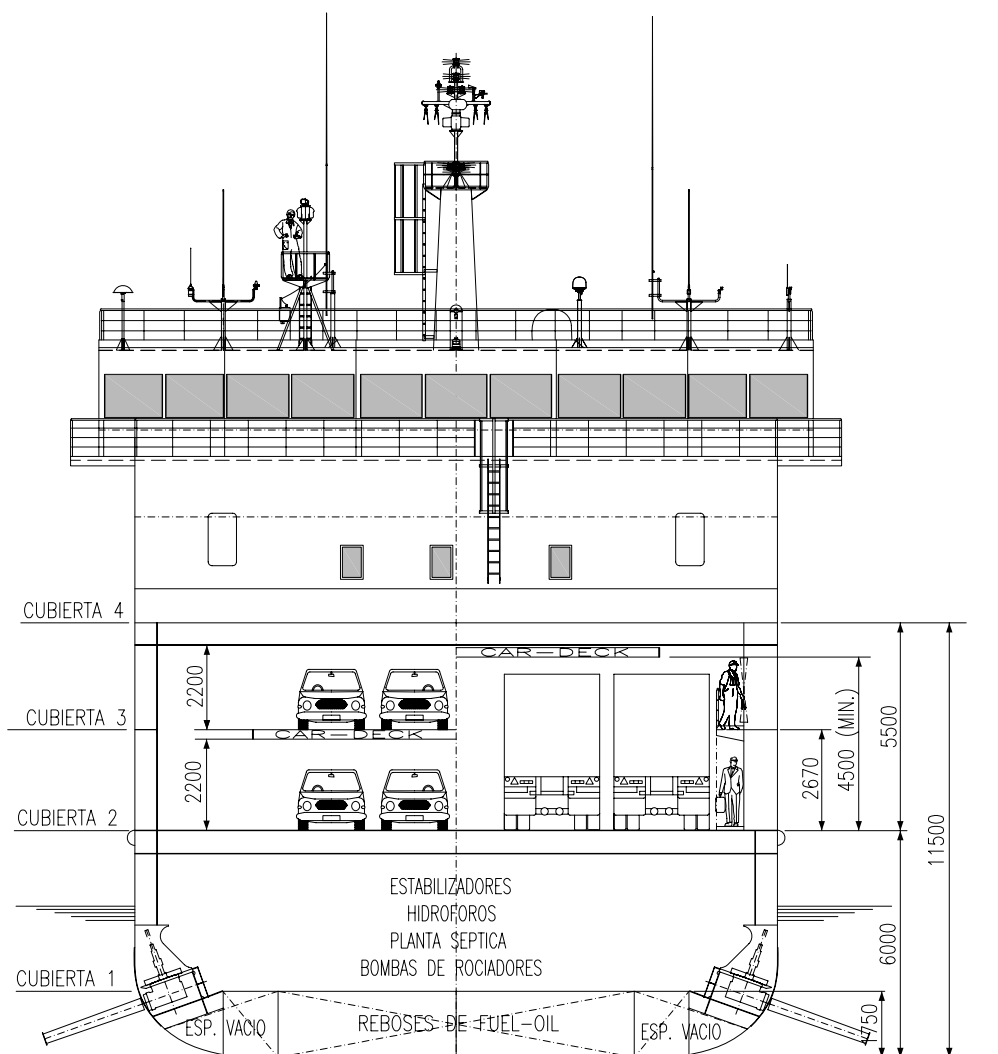
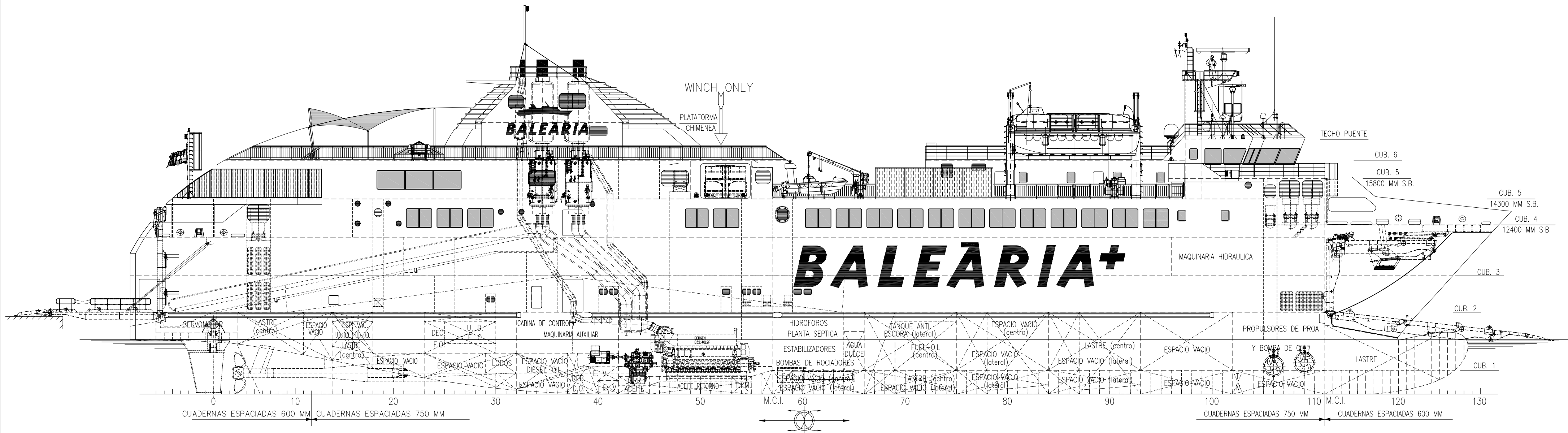
Esquema de extracción de agua salada

Esquema instalación sistema de refrigeración

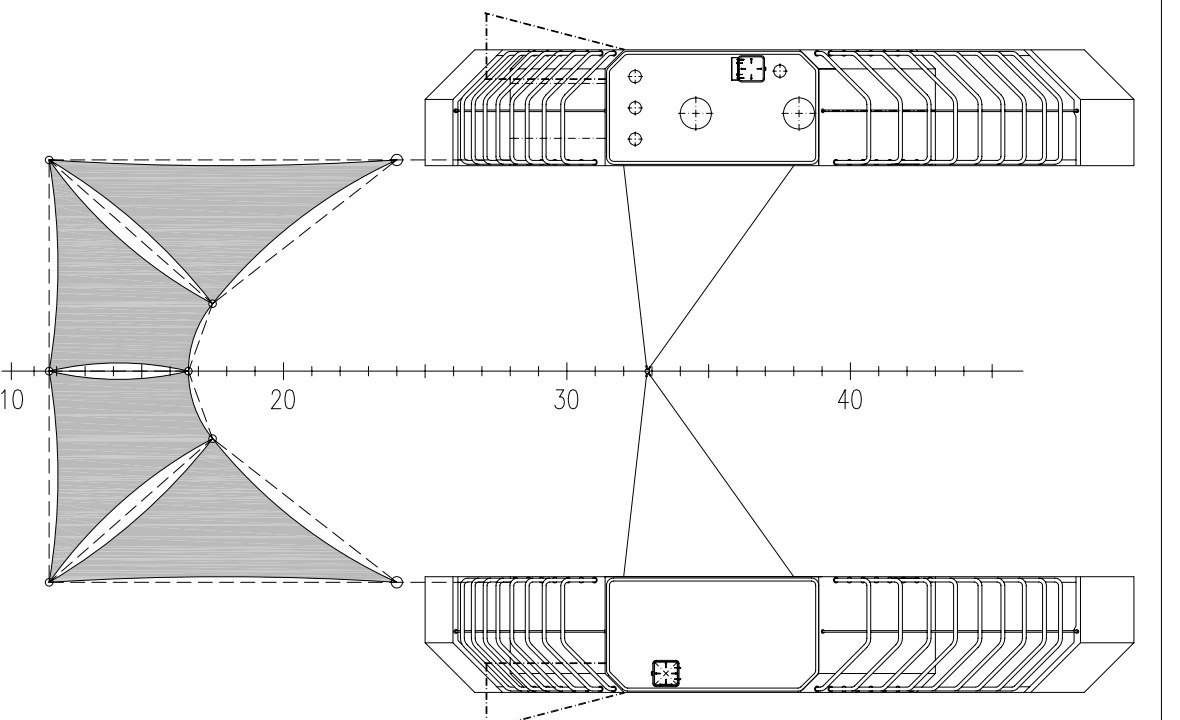
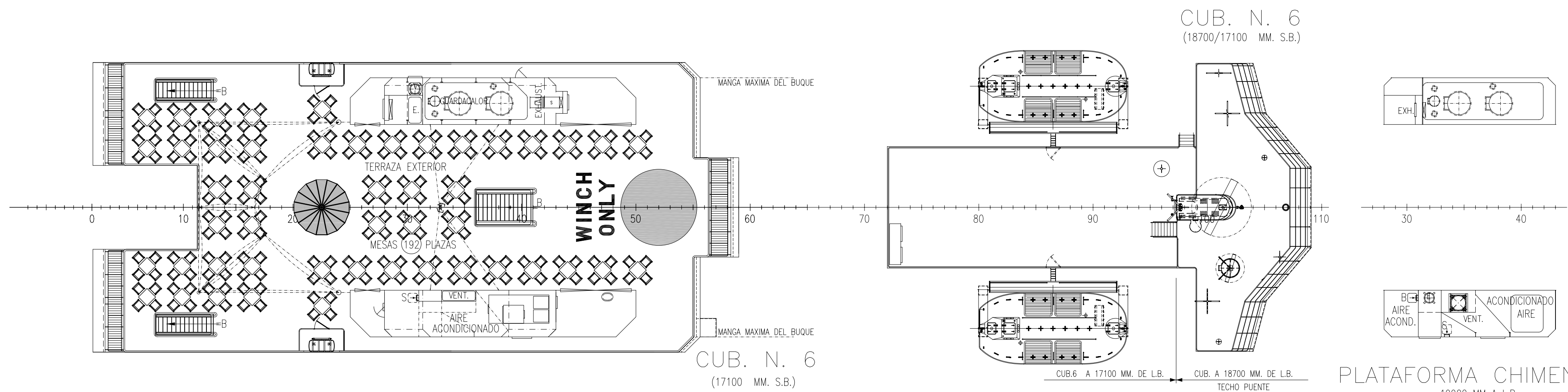
Esquema instalación sistema aire combustión y ventilación

Esquema instalación sistema gases de escape

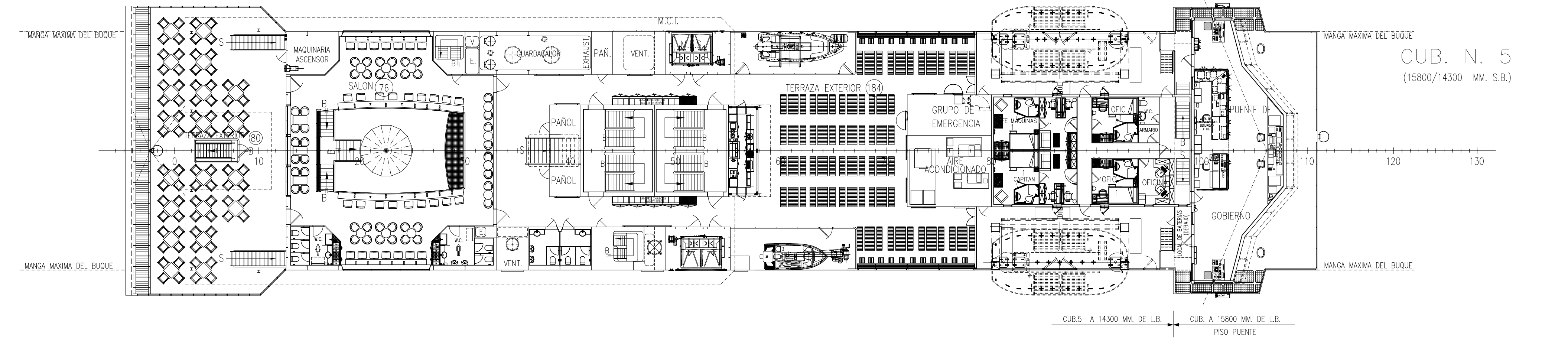
Esquema instalación sistema gas inerte



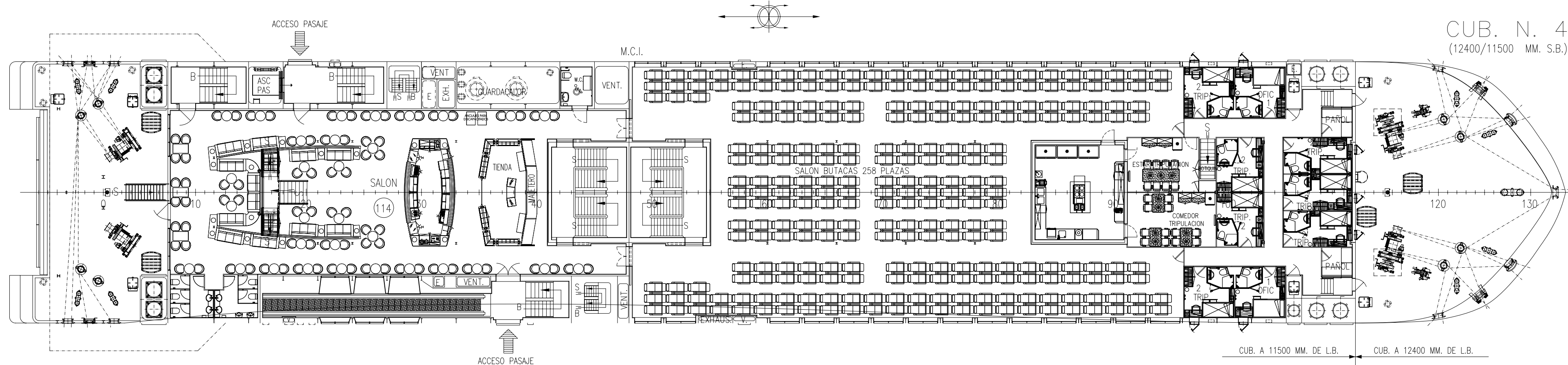
SECCIÓN TRANSVERSAL



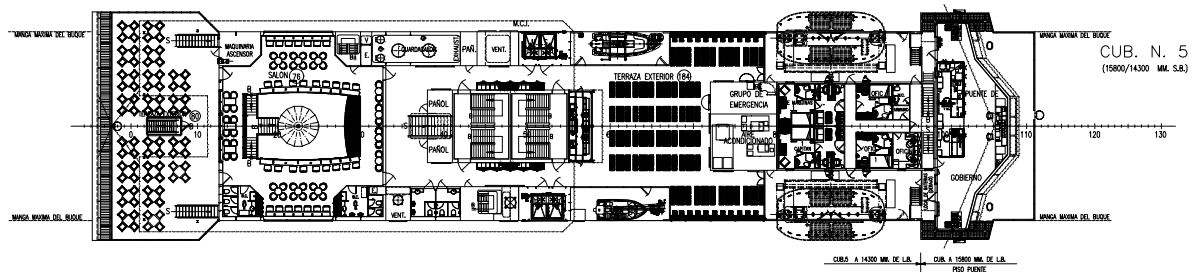
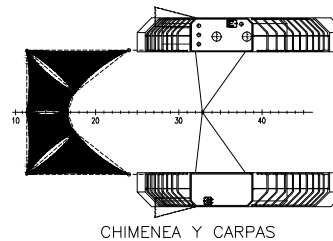
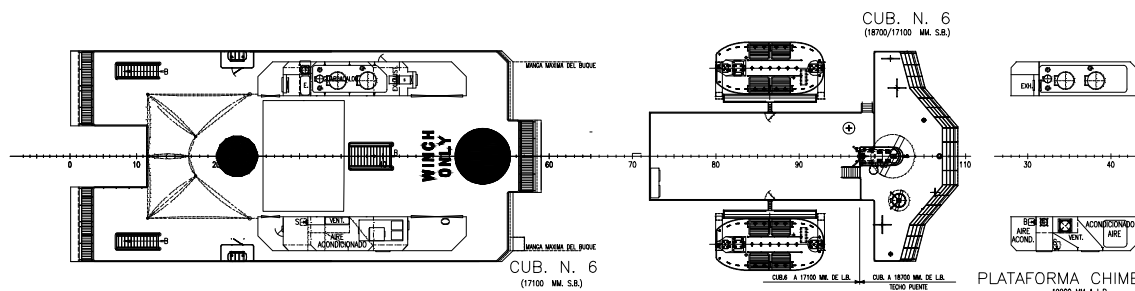
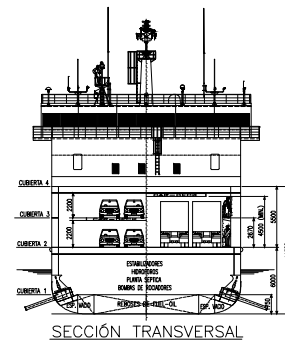
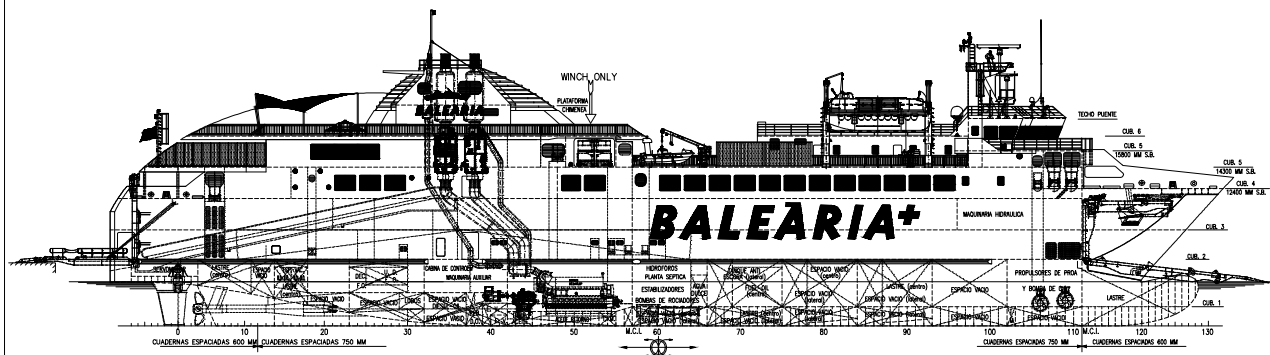
CHIMENEA Y CARPAS



CARACTERISTICAS PRINCIPALES	
ESLORA TOTAL APROX	101.00 MTS.
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	86.60 "
MANGA DE TRAZADO	17.00 "
PUNTAL A LA CUB. PRINCIPAL	6.00 "
PUNTAL A LA CUB. SUPERIOR	11.50 "
CALADO MAXIMO/DISEÑO	4.00 "

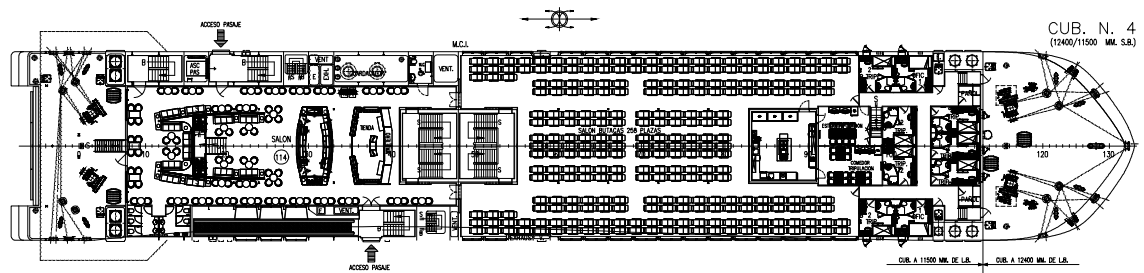


HIJOS DE J.BARRERAS S.A.	
I.S.TECNOR. S.L.	CONSTRUCCION N° 1663 TIPO: FERRY IBIZA FORMENTERA
DENOMINACION	ARMADOR: BALEARIA
DISPOSICION GENERAL	
REF.	ESCALA
1/2005	1:200
FECHA	FECHA
06-07-07	22-01-08
NOMBRE	NOMBRE
-	-
HIJOS DE J.BARRERAS se reserva la propiedad de este plano con prohibición de reproducirlo o enviarlo a terceros sin su autorización por escrito.	



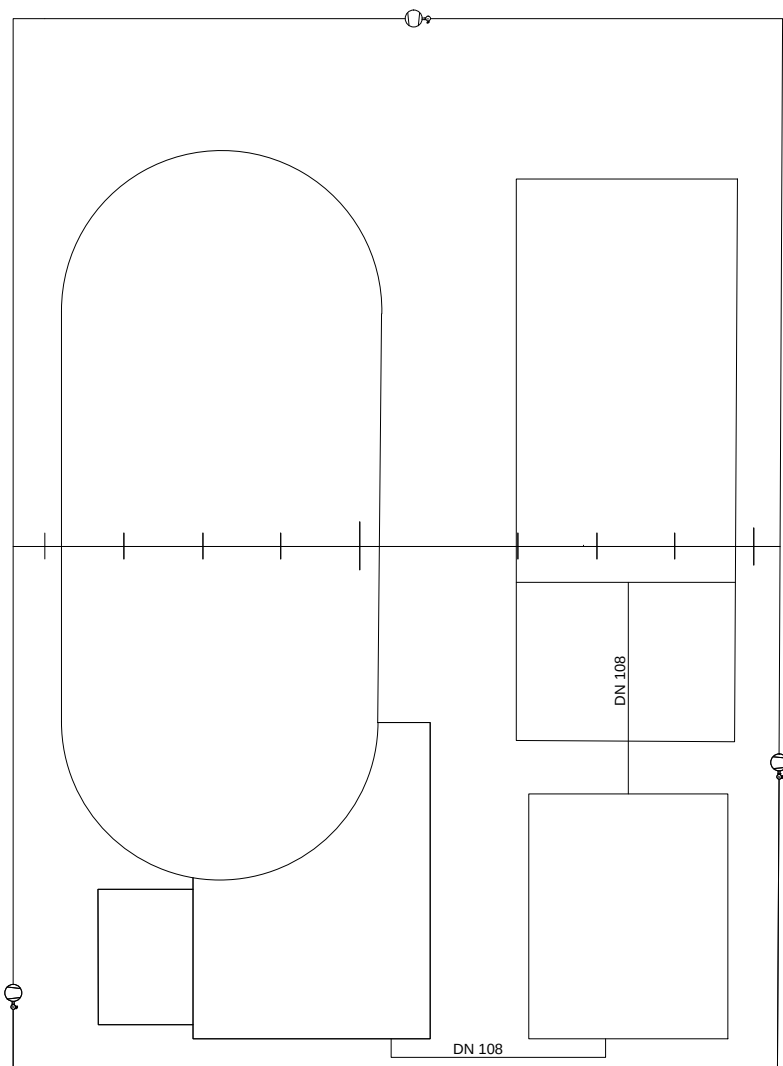
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

ESLORA TOTAL APROX	101.00 MTS.
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	86.60 "
MANGA DE TRAZADO	17.00 "
PUNTAL A LA CUB. PRINCIPAL	6.00 "
PUNTAL A LA CUB. SUPERIOR	11.50 "
CALADO MÁXIMO/DISEÑO	4.00 "



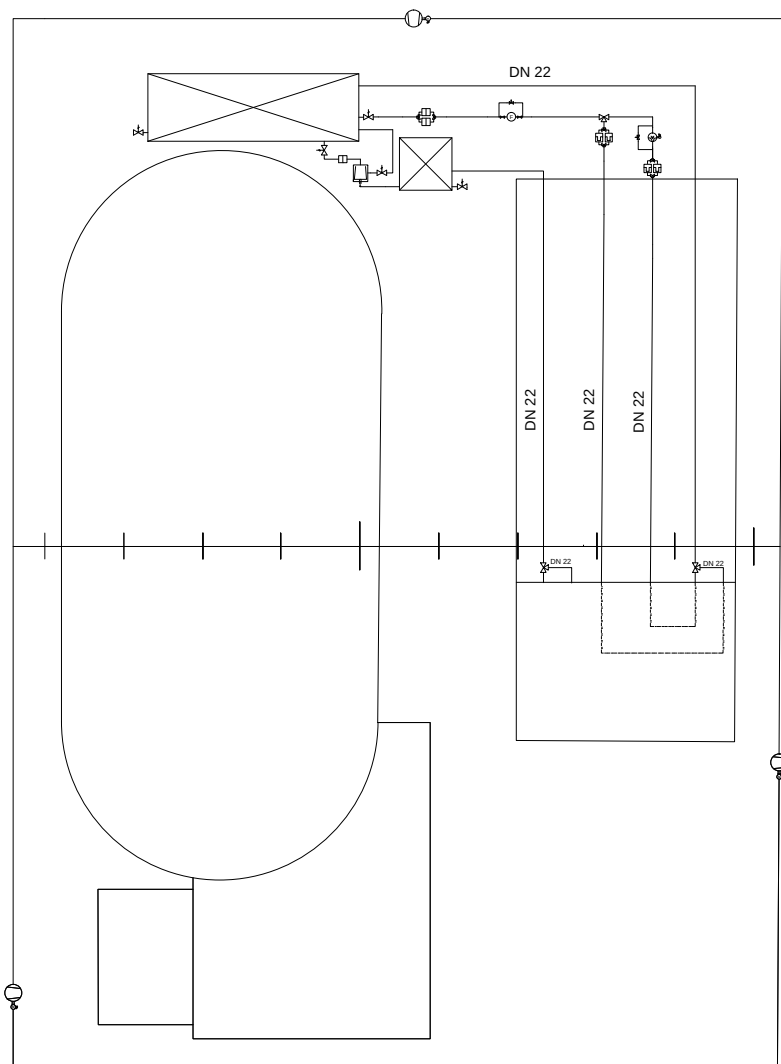
E.T.S NÁUTICA		Área Construcción Naval	
PROYECTO	INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSULME OIL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	TIPO	FERRY
DENOMINACIÓN	DISPOSICIÓN GENERAL	REF. PLANO	1/2005
ESCALA	1:450	CLASE MODIFICACIÓN	INGENIERIA
FECHA	MAY-08	ACTUALIZACIÓN MANOBRAS, NOBELIARIO.	HOJAS DE J. BARRERAS / Planos nº 102.01.03
MODIFICADO	MAY-08	INSTALACION MOTOR OIL.	HUGO SANCIENENTE DIEGO DE SONANTE
FECHA	JUL-07	NOMBRE	FIRMA
DIBUJADO	JUL-07		
MODIFICADO	MAY-08	HUGO SANCIENENTE DIEGO DE SONANTE	

Proyecto original en propiedad de E.T.S NÁUTICA. El presente documento, incluyendo modificaciones, es propiedad de E.T.S NÁUTICA. Se prohíbe su reproducción sin el consentimiento de E.T.S NÁUTICA.



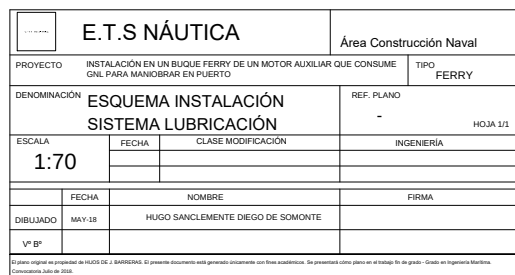
		E.T.S NÁUTICA		Área Construcción Naval	
PROYECTO		INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO			TIPO FERRY
DENOMINACIÓN		ESQUEMA INSTALACIÓN SISTEMA COMBUSTIBLE GNL			REF. PLANO - HOJA 1/1
ESCALA	FECHA	CLASE MODIFICACIÓN		INGENIERÍA	
1:70					
FECHA		NOMBRE			FIRMA
DIBUJADO	MAY-18	HUGO SANCLEMENTE DIEGO DE SOMONTE			
Vº Bº					

El plano original es propiedad de HUZES DE S. MARITIMO. Si presente documento está generado automáticamente con fines académicos. No presentarlo como plano en el trabajo. Fe de grado - Grado en Ingeniería Marítima - Convocatoria Julio de 2018.

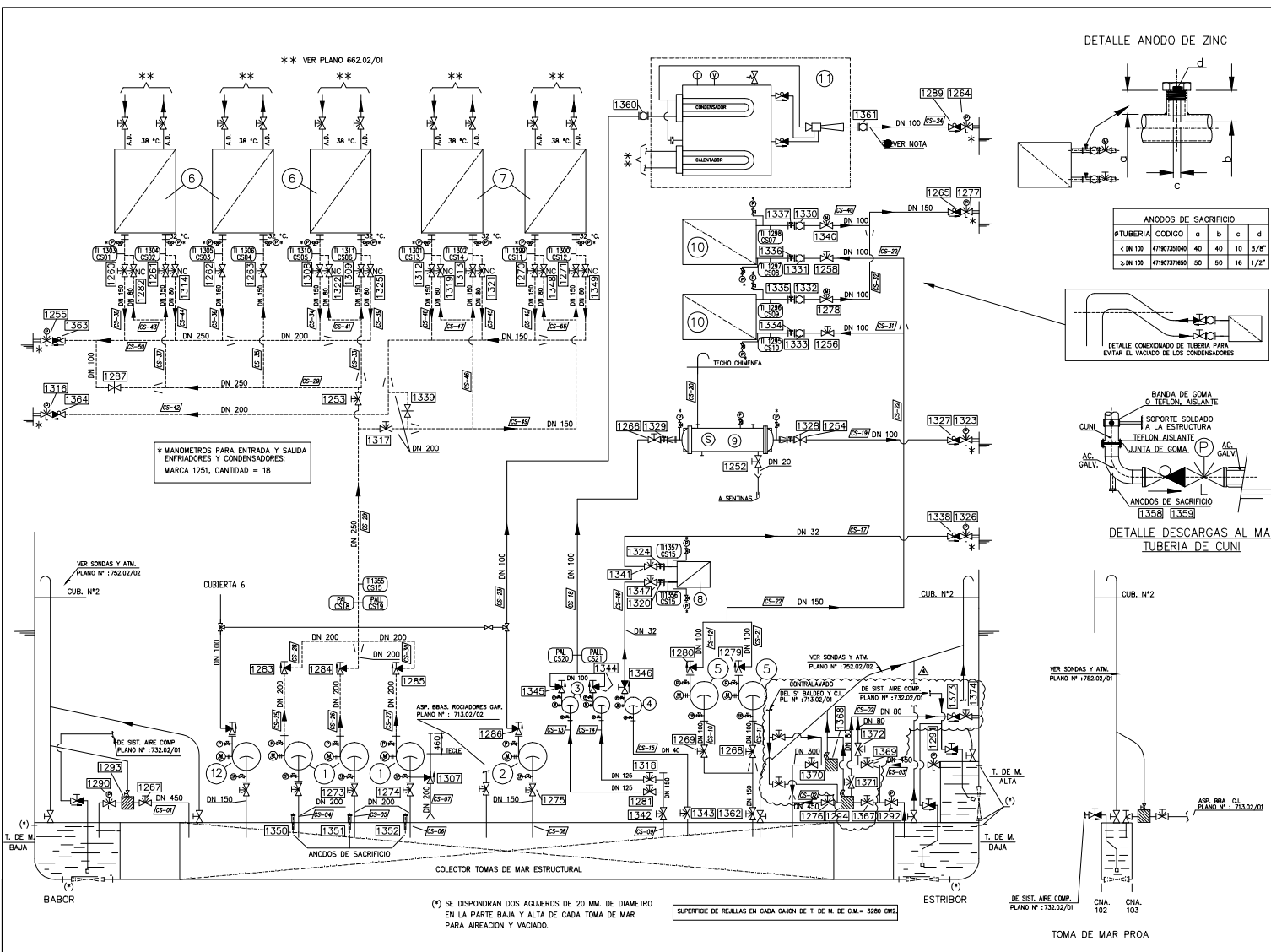


E.T.S NÁUTICA		Área Construcción Naval	
PROYECTO		INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	TIPO FERRY
DENOMINACIÓN		ESQUEMA INSTALACIÓN SISTEMA COMBUSTIBLE MDO	REF. PLANO - HOJA 1/1
ESCALA 1:55	FECHA	CLASE MODIFICACIÓN	INGENIERÍA
	FECHA	NOMBRE	FIRMA
DIBUJADO	MAY-18	HUGO SANCLEMENTE DIEGO DE SOMONTE	
Vº Bº			

El plano original es propiedad de E.T.S NÁUTICA. Si presenta documento está generado automáticamente con fines académicos. No presentarlo como plano en el trabajo. No de grado. Creado en Ingeniería Náutica. Conocimiento Julio de 2018.







EQUIPOS			
MARCA	ELEMENTOS	CANT.	DATOS TECNICOS
1	ELECTROBOMBA CIRCU. A.S. (1 RESERVA).	3	250 m³/h. 3 bar C/U
2	ELECTROBOMBA CIRCU. A.S. GENERADOR A.D.	1	47 m³/h. a 45 m.a.m.
3	ELECTROBOMBA CIRCU. CONDENS. SOB. VAPOR	1	55 m³/h. a 35 m.a.m.
4	ELECTROBOMBA CIRCU. CONDENS. A.A. CAB. CONTROL	1	4,8 m³/h. a 15 m.a.m.
5	ELECTROBOMBA CIRCU. CONDENS. A.A. HABITACION	2	60 m³/h. a 15 m.a.m.
6	ENFRIADORES CENTRALES M.A.P.P. (1 RESERVA)	3	2600 kW; 143,3 m³/h.
7	ENFRIADORES CENTRALES EQUIPOS AUXILIARES (1 RESERVA)	2	1700 kW; 190 m³/h.
8	CONDENSADOR A.A. CAB. CONTROL	1	VESTA 14000 1700 kg/h vapor 54 m³/h. de agua salada
9	CONDENSADOR SOB. VAPOR	1	
10	CONDENSADOR A.A. HABITACION	2	
11	GENERADOR A.D.	1	15 Tons/día
12	ELECTROBOMBA CIRCU. A.S. GENERADOR A.D.	1	

- 1.- TUBERIA
- 1.1.- MATERIAL
LA TUBERIA SERA DE ACERO ESTIRADO SIN SOLDADURA S/N 781.09 Y DE CU-NI DEMONSTRADA SEGUN TAJAS ADJUNTAS. VER NOTAS.
- 1.2.- UNIONES
BRIDAS ATORNILLADAS EN TRAMOS DESMONTABLES.
- 1.3.- TRATAMIENTO
LA TUBERIA DE ACERO SERA GALVANIZADA DESPUES DE CONSTRUIDA.
- 2.- JUNTAS
SERAN VA 1100 PARA DIAMETROS MENORES O IGUALES A DN 80. PARA DIAMETROS MAYORES SERAN DE KUNDSRIK NA 1002.
- 3.- VALVULAS
LAS DE DESCARGA AL MAR SERAN TIPO MARIPOSA, O CIERRE Y RETENCION CON CUERPO DE FUNDICION MODULAR O ACERO MOLDADO Y ACCESORIOS DE BRONCE. EL RESTO DE LAS VALVULAS SERAN COMO SIGUE:
LAS VALVULAS DE MARIPOSA TENDRAN CUERPO DE FUNDICION MODULAR Y ACCESORIOS DE BRONCE O ACERO INOXIDABLE CON ELASTOMERO DE EPDM.
LAS VALVULAS DE GLOBO MENORES DE DN 40 Y SUPERIOR DIAMETRO SERAN DE HIERRO FUNDIDO Y BRONCE. A EXCEPCION DE LAS TOMAS Y DESCARGAS AL MAR, QUE SERAN DE ACERO MOLDADO Y BRONCE DE ACUERDO CON LA SOCIEDAD DE CLASIFICACION.
LAS VALVULAS DE MARIPOSA CON ACCIONAMIENTO NEUMATICO DISPONDRAN DE MANDO A DISTANCIA Y MANDO MANUAL "IN STOP" E INDICACION DE LA POSICION (ABIERTA CERRADA).
- 4.- NOTAS
- LAS DESCARGAS AL MAR TENDRAN PIEZAS DE DISTANCIA S/NORMAS NAE.
- TODOS LOS PASOS DE TUBERIA EN NAFAMPOS ESTANCOS SERAN ESTANCOS.
- UNA DE LAS BRIDAS DE CIRCULACION DE AGUA SALADA ESTARA ALIMENTADA DESDE EL CUADRO DE EMERGENCIA Y DISPONDRAN DE UNA ASPIRACION DE SENTINAS DE EMERGENCIA S/RECOMENDACION.
- LAS CONDICIONES FLEXIBLES SERAN DE TIPO APROBADO.
- TODAS LAS CLAVES DE ASPIRACION DE AGUA DE MAR LLEVARAN REJILLA DE ACERO INOXIDABLE DESMONTABLE, CON UN AREA LIBRE DE POR LO MENOS DOS VECES EL AREA DE LA VALVULA DE MAR.
- EL ACCIONAMIENTO MANUAL "IN STOP" DE LAS VALVULAS DE TOMA DE MAR (MARCAS 1295, 1297 Y 1292) SE SITUARAN AL MENOS A 450 MM. DEL PISO DE PLANCHAS.
* - DEPENDIENDO DE LA SITUACION LA DESCARGA AL MAR SE SITUARA DE LA SIGUIENTE FORMA:
- EN ZONA DE ARRIBO DE BOTES 500 MM. POR ENCIMA DE LA FLOTACION EN LASTRE.
- FUERA DE ESTA ZONA 300 MM. POR ENCIMA DE LA FLOTACION EN LASTRE.
- LA TUBERIA DE DESCARGA AL MAR, DEBERA DE LLEVAR UN TRAMO RECTO DE 500 mm. A LA SALIDA DEL EQUIPO.
- NC NORMALMENTE CERRADA
I CARRETE DE SACRIFICIO
T ANODO DE SACRIFICIO DE ZINC
--- TUBERIA DE CU-NI
--- TUBERIA DE ACERO GALVANIZADO
- LINEAS DE (CS-07) A (ES-55)
MARCAS DE L. DE M. [1251] A [1374]
- CIRCULACION CONDENS. SOB. VAPOR
PRESION DE TRABAJO : 3,5 BAR.
PRESION DE PRUEBA : 5,25 BAR.
TEMPERATURA < 50°C.
FLUIDO : AGUA DE MAR
- CIRCULACION CONDENS. AIR. ACION.
PRESION DE TRABAJO : 3 BAR.
PRESION DE PRUEBA : 3 BAR.
TEMPERATURA < 50°C.
FLUIDO : AGUA DE MAR
- CIRCULACION ENFRIADORES CENTRALES
PRESION DE TRABAJO : 3 BAR.
PRESION DE PRUEBA : 4,5 BAR.
TEMPERATURA < 50°C.
FLUIDO : AGUA DE MAR
- GENERADOR A.D.
PRESION DE TRABAJO : 4 BAR.
PRESION DE PRUEBA : 6 BAR.
TEMPERATURA < 50°C.
FLUIDO : AGUA DE MAR

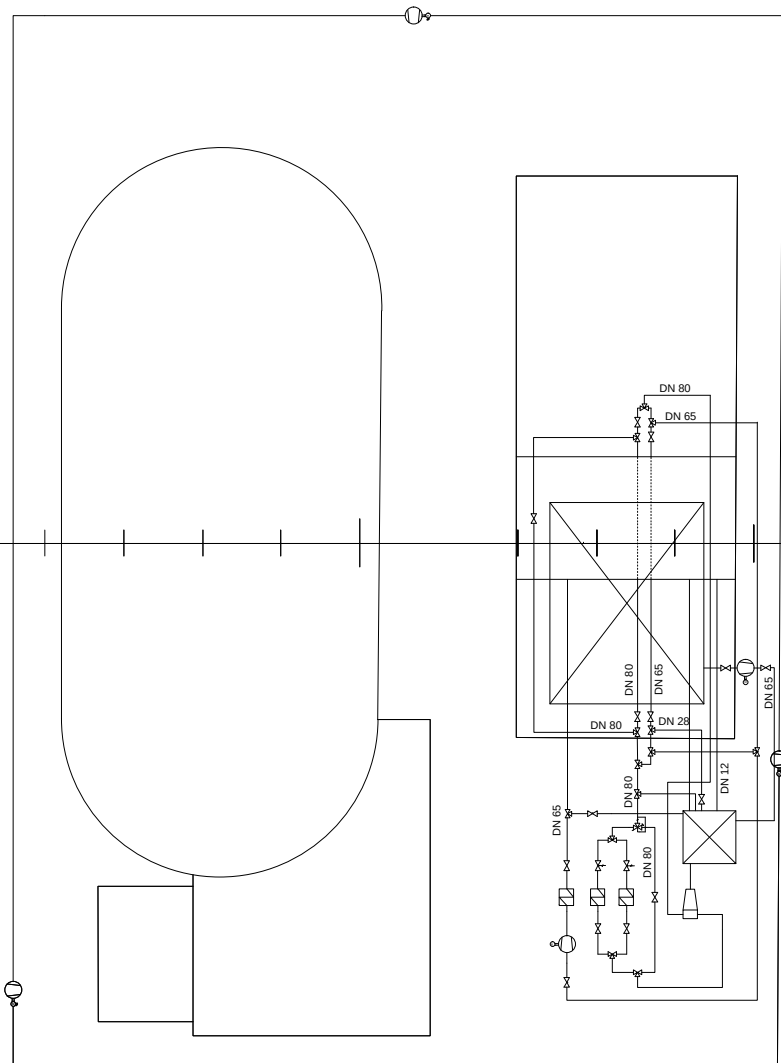
TUBERIA DE ACERO				
DN.	EXT. x ESP.	NORM.A.E.	IDENTIF.	MATERIAL
32	42,2 x 3,6	781.09	SCH. 40 STD.	ACER ALLOS GR. 1 / API SL GR. B
40	48,3 x 3,7	781.09	SCH. 40 STD.	ACER ALLOS GR. 1 / API SL GR. B
100	114,3 x 6	781.09	SCH. 40 STD.	ACER ALLOS GR. 1 / API SL GR. B
125	141,3 x 6,5	781.09	SCH. 40 STD.	ACER ALLOS GR. 1 / API SL GR. B
150	168,3 x 7,1	781.09	SCH. 40 STD.	ACER ALLOS GR. 1 / API SL GR. B
250	273 x 9,3	781.09	SCH. 40 STD.	ACER ALLOS GR. 1 / API SL GR. B
300	323,8 x 9,5	781.09	SCH. 40 STD.	ACER ALLOS GR. 1 / API SL GR. B
450	457 x 12,7	781.09	XS	ACER ALLOS GR. 1 / API SL GR. B

TUBERIA DE CU-NI			
DN.	EXT. x ESP.	MATERIAL	
80	88,9 x 2	CU-NI	
100	108 x 2,5	CU-NI	
125	133 x 2,5	CU-NI	
150	159 x 2,5	CU-NI	
200	219,1 x 3	CU-NI	
250	267 x 3	CU-NI	

CAUDALES AGUA SALADA T.M. O.M.R.A. MAG.			
	S° PERMANENTE	S° INTERM.	
BBAS ENFRIADORES	500 m³/h	-	
BBA. GENERADOR A.D.	47 m³/h	-	
BBAS C.I.	-	100 m³/h	
BOMBAS DE LASTRE	-	400 m³/h	
BBA. A.A. CABINA DE CONTROL	4,8 m³/h	-	
BBA. A.A. HABITACION	120 m³/h	-	
BBA. CIRCU. COND. SOB. VAPOR	55 m³/h	-	
BBA. ROCIADORES GARAJES	-	280 m³/h	
BBA. ROCIADORES HABITACION	-	100 m³/h	
TOTAL	726,8 m³/h	880 m³/h	

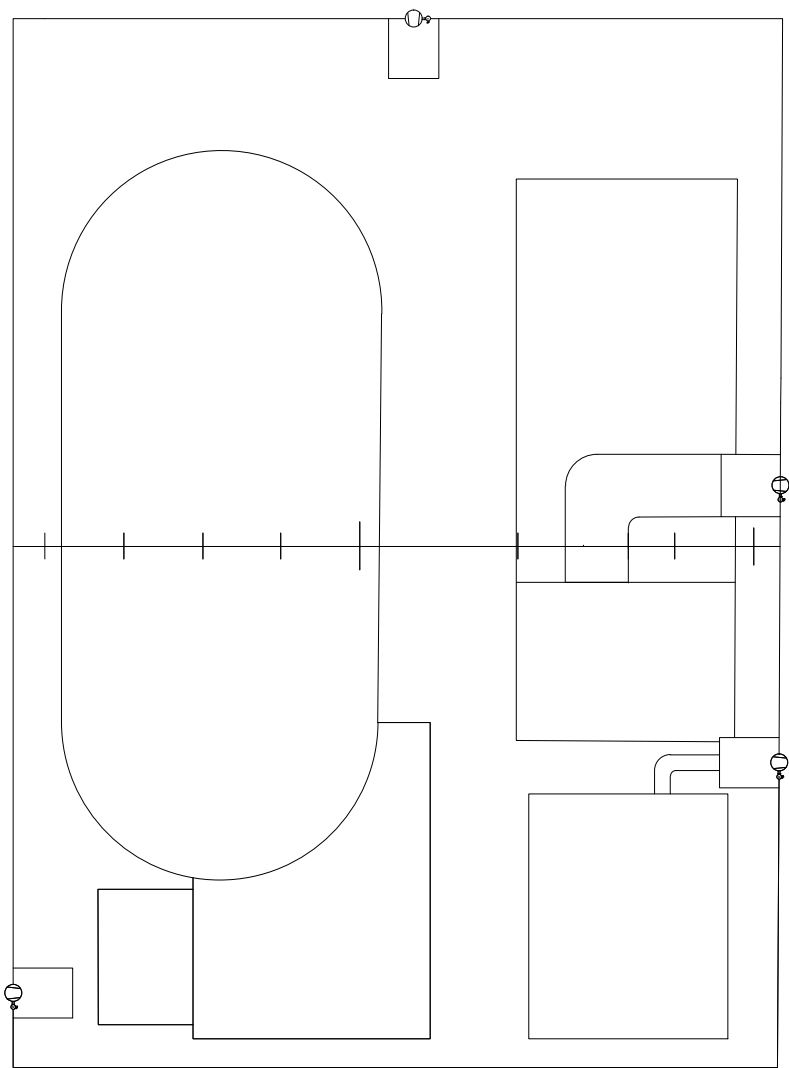
CAUDALES AGUA SALADA T.M. PROA			
	S° PERMANENTE	S° INTERM.	
BBA C.I.	-	50 m³/h	
TOTAL	-	50 m³/h	

E.T.S NÁUTICA		Área Construcción Naval	
PROYECTO	INSTALACION EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME OIL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	TIPO	FERRY
DENOMINACION	ESQUEMA CIRCULACION AGUA SALADA	REF. PLANO	1/2005
ESCALA	FECHA	CLASE MODIFICACION	INGENIERIA
	ABR-05	AUMENTADO FILTRO T. MAR EN Y CENTRALIZADO	HUJOS DE J. BARRERAS / BBA 0201
	MAY-08	INSTALACION BOMBA DE AGUA MARINA	HUGO SANCHELMENTE DIEGO DE SOMORTE
FECHA	NOMBRE		FIRMA
DIBUJADO JUL-07	A. COROMINAS		
MODIFICADO MAY-08	HUGO SANCHELMENTE DIEGO DE SOMORTE		



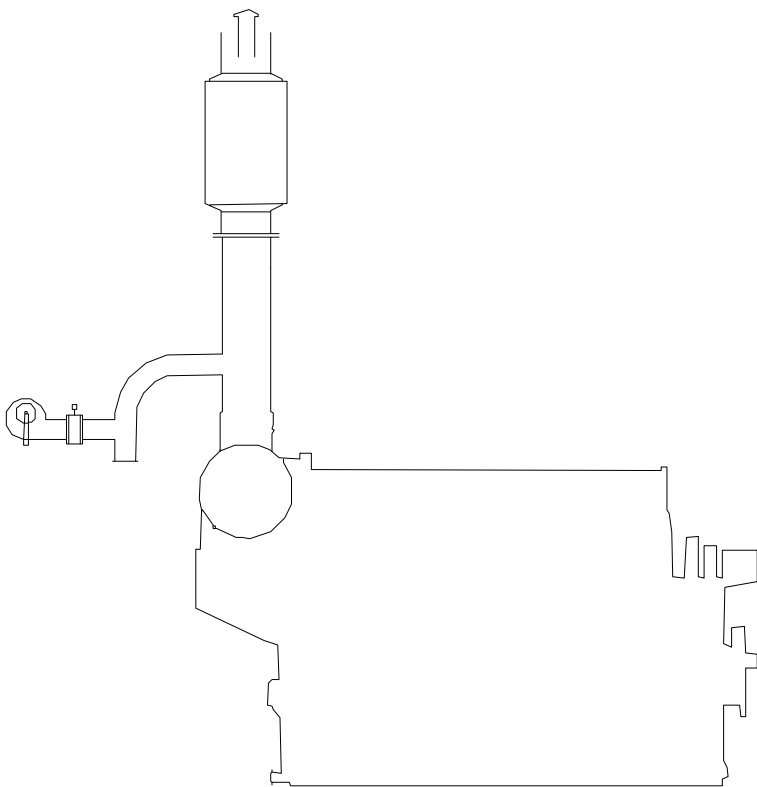
		E.T.S NÁUTICA		Área Construcción Naval	
PROYECTO		INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO			TIPO FERRY
DENOMINACIÓN		ESQUEMA INSTALACIÓN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN			REF. PLANO - HOJA 1/1
ESCALA 1:70	FECHA	CLASE MODIFICACIÓN			INGENIERÍA
	FECHA	NOMBRE			FIRMA
DIBUJADO	MAY-18	HUGO SANCLEMENTE DIEGO DE SOMONTE			
Vº Bº					

El plano original es propiedad de HUZES DE S. MARITIMO. Si presente documento está generado automáticamente con fines académicos. No presentarlo como plano en el trabajo. No se puede imprimir. Creado en Ingeniería Náutica. Conocimiento Julio de 2018.



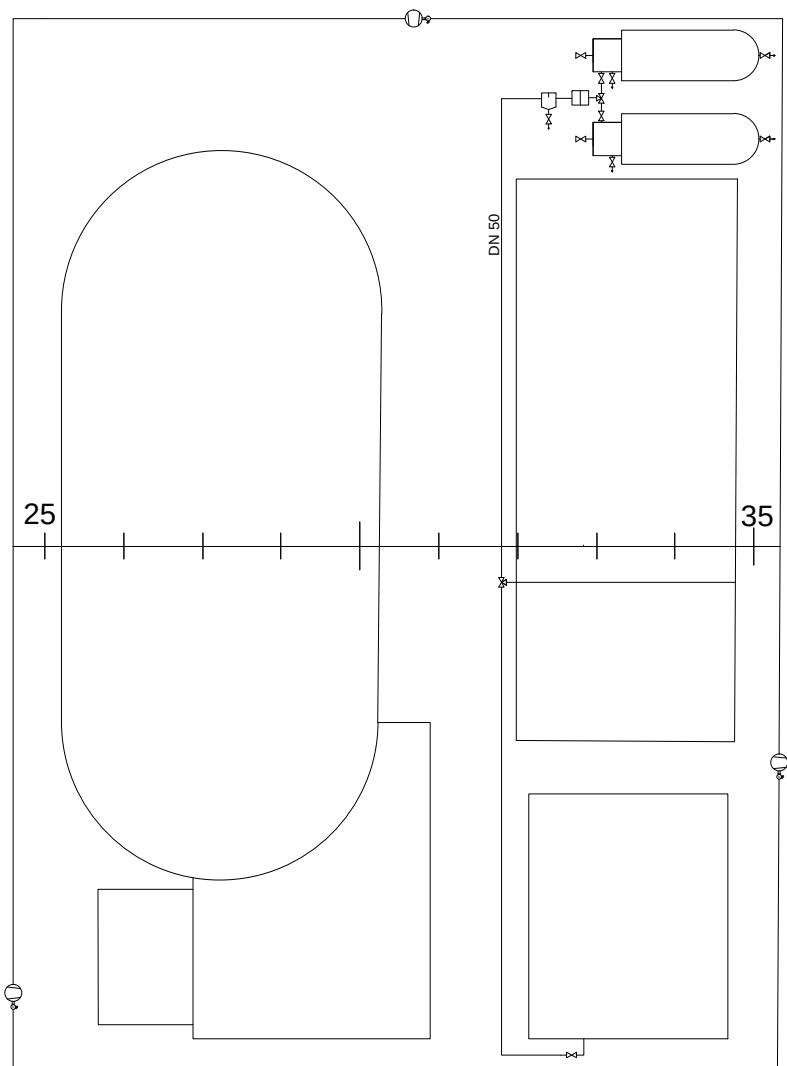
		E.T.S NÁUTICA		Área Construcción Naval	
PROYECTO		INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO			TIPO FERRY
DENOMINACIÓN				REF. PLANO	
ESQUEMA INSTALACIÓN SISTEMA AIRE COMBUSTIÓN Y VENTILACIÓN				- HOJA 1/1	
ESCALA	FECHA	CLASE MODIFICACIÓN		INGENIERÍA	
1:70					
	FECHA	NOMBRE			FIRMA
DIBUJADO	MAY-18	HUGO SANCLEMENTE DIEGO DE SOMONTE			
Vº Bº					

El plano original es propiedad de E.T.S NÁUTICA. Si presente documento está generado automáticamente con fines académicos. No presentarlo como plano en el trabajo. Fe de grado - Grado en Ingeniería Marítima. Convocatoria Julio de 2018.



		E.T.S NÁUTICA		Área Construcción Naval	
PROYECTO		INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO			TIPO FERRY
DENOMINACIÓN		ESQUEMA INSTALACIÓN GASES DE ESCAPE			REF. PLANO - HOJA 1/1
ESCALA	FECHA	CLASE MODIFICACIÓN			INGENIERÍA
1:70					
		NOMBRE			FIRMA
DIBUJADO	MAY-18	HUGO SANCLEMENTE DIEGO DE SOMONTE			
Vº Bº					

El plano original es propiedad de HUZES DE S. MARITIMO. Si presente documento está generado automáticamente con fines académicos. No presentarlo como plano en el trabajo. Hecho en Ingeniería Marítima. Conocimiento Julio de 2018.



E.T.S NÁUTICA		Área Construcción Naval	
PROYECTO		INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	TIPO FERRY
DENOMINACIÓN		ESQUEMA INSTALACIÓN SISTEMA GAS INERTE	REF. PLANO - HOJA 1/1
ESCALA 1:70	FECHA	CLASE MODIFICACIÓN	INGENIERÍA
	FECHA	NOMBRE	FIRMA
DIBUJADO	MAY-18	HUGO SANCLEMENTE DIEGO DE SOMONTE	
Vº Bº			

El plano original es propiedad de E.T.S NÁUTICA. Si presenta documento está generado automáticamente con fines académicos. No presentarlo como plano en el trabajo. No de grado. Creado en Ingeniería Naval

Construcción Naval de 2018

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 120/148

4. PLIEGO DE CONDICIONES

4.1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

4.1.1. CONDICIONES GENERALES

El presente pliego de condiciones tiene por objeto definir al Astillero, el alcance del trabajo y la ejecución cualitativa del mismo. Determina los requisitos a los que se debe de ajustar la ejecución de la instalación del motor de GNL, así como del resto de sistemas y elementos que se encargan de su correcto funcionamiento de una forma segura.

El Astillero está obligado al cumplimiento de la reglamentación del trabajo correspondiente, la contratación de un seguro obligatorio, seguro de enfermedad y todas aquellas reglamentaciones de carácter social vigentes o que en lo sucesivo se dicten.

En particular deberá cumplir lo dispuesto en la norma UNE 24042 “Contratación de Obras. Condiciones Generales”, siempre que no lo modifique el presente pliego.

Mandos y responsabilidades:

Jefe de obra:

El contratista dispondrá a pie de obra de un técnico cualificado, quien ejercerá como Jefe de Obra, controlará y organizará los trabajos objeto del contrato siendo el interlocutor válido frente a la propiedad.

Vigilancias:

El contratista será el único responsable de la vigilancia de los trabajos que tenga contratados hasta su recepción provisional.

Limpieza:

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 121/148

El contratista mantendrá en todo momento el recinto de la obra libre de acumulación de materiales de desecho, desperdicios o escombros debiendo retirarlos a medida que estos se produzcan.

Al abandonar el trabajo cada día deberá dejarse el puesto y las zonas de trabajo ordenadas.

Será por cuenta del contratista el suministro, la distribución y el consumo de todas las energías y fluidos provisionales que sean necesarios para el correcto y normal desarrollo de los trabajos objeto de su oferta.

Subcontratación:

El contratista podrá subcontratar parcialmente las obras contratadas, en todo caso el contratista responderá ante la Dirección Facultativa de Obra y la Propiedad de la labor de sus subcontratistas como si fuese labor propia.

La propiedad podrá recusar antes la contratación, cualquiera de las subcontratas que el subcontratista tenga previsto utilizar, teniendo este la obligación de presentar nombres alternativos.

4.1.2. REGLAMENTOS Y NORMAS

Todas las unidades de obra se ejecutarán cumpliendo las prescripciones indicadas en los reglamentos de seguridad y normas técnicas de obligado cumplimiento para este tipo de instalación, tanto de ámbito internacional, como nacional o autonómico, así como todas las otras que se establezcan en la memoria descriptiva del mismo.

Se adaptarán además a las presentes condiciones particulares que complementarán las indicadas por los reglamentos y normas citadas.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 122/148

4.1.3. MATERIALES

Todos los materiales empleados serán de primera calidad. Cumplirán las especificaciones y tendrán las características indicadas en el proyecto y en las normas técnicas generales, así como todas las relativas a la conservación de los mismos atendiendo a las particularidades de un medio hostil como es el marino.

En caso de existir contradicción u omisión en los documentos del proyecto, el Astillero que realizará las obras tendrá la obligación de ponerlo de manifiesto al Técnico Director de Obra, quien decidirá sobre el particular. En ningún caso podrá suplir la falta directamente y por decisión propia sin la autorización expresa.

4.1.4. RECEPCIÓN DEL MATERIAL

El Director de Obra de acuerdo con el Astillero dará a su debido tiempo su aprobación sobre el material suministrado y confirmará que permite una instalación correcta. La vigilancia y conservación del material suministrado será por cuenta del Astillero.

El control de calidad correrá por cuenta del contratista de la obra de acuerdo a la legislación vigente. El control de calidad comprenderá los siguientes aspectos:

- .- Control de materias primas.
- .- Control de equipos o materiales suministrados a obra.
- .- Calidad de ejecución de las obras (construcción y montaje).
- .- Calidad de la obra terminada (inspección y pruebas).

Si en cualquier momento durante la ejecución de las obras o durante el periodo de garantía, la Dirección del Proyecto detectase que algún material o

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 123/148

unidad de obra no cumple con los requisitos de calidad exigidos, podrá exigir al contratista su demolición y posterior reconstrucción. Todos los costes derivados de estas tareas serán por cuenta del Contratista, quien no tendrá derecho a presentar reclamación alguna por este concepto.

En cuanto a las muestras, será el contratista el que deberá presentarlas para su aprobación con la antelación suficiente para no retrasar el comienzo de la actividad correspondiente, la dirección del proyecto tiene un plazo de tres días para dar su visto bueno o parar exigir el cambio si la pieza presentada no cumpliera todos los requisitos. Si las muestras fueran rechazadas, el contratista deberá presentar nuevas muestras, de tal manera que el plazo de aprobación por parte de la dirección de obra no afecte al plazo de ejecución de las obras. Cualquier retraso que se origine por el rechazo de los materiales será considerado como imputable al Contratista.

4.1.5. ORGANIZACIÓN

El Astillero actuará de patrono legal, aceptando todas las responsabilidades que le correspondan y quedando obligado al pago de los salarios y cargas que legalmente están establecidas y en general, a todo cuanto legisle en decretos u órdenes sobre el particular ante o durante la ejecución de la obra.

Dentro de lo estipulado en el Pliego de Condiciones, la organización de la obra así como la determinación de la procedencia de los materiales que se empleen, estará a cargo del Astillero a quien le corresponderá la responsabilidad de la seguridad contra accidentes.

El Astillero, sin embargo, deberá informar al Director de Obra de todos los planes de organización técnica de la obra, así como de la procedencia de los materiales y cumplimentar cuantas órdenes de éste en relación con datos extremos.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 124/148

4.1.6. INTERPRETACIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO

La interpretación técnica de los documentos del proyecto corresponde al Técnico Director de Obra. El Astillero está obligado a someter a éste a cualquier duda, aclaración o discrepancia que surja durante la ejecución de la obra por causa del proyecto, o circunstancias ajenas, siempre con la suficiente antelación en función de la importancia del asunto con el fin de darlo solución lo antes posible.

El Astillero se hace responsable de cualquier error motivado por la omisión de esta obligación y consecuentemente deberá rehacer a su costa los trabajos que correspondan a la correcta interpretación del proyecto. El Astillero está obligado a realizar todo cuanto sea necesario para la buena ejecución de la obra aun cuando no se halle explícitamente reflejado en el pliego de condiciones o en los documentos del proyecto.

El Astillero notificará por escrito o en persona directamente al Director de Obra y con suficiente antelación las fechas en que quedarán preparadas para la inspección cada una de las partes de la obra para las que se ha indicado necesidad o conveniencia de las mismas o para aquellas que parcial o totalmente deban quedar ocultas.

4.1.7. OBRAS COMPLEMENTARIAS

El Astillero tiene la obligación de realizar todas las obras complementarias que sean indispensables para ejecutar cualquiera de las unidades de obra específicas en cualquiera de los documentos del proyecto, aunque en el mismo no figuren explícitamente mencionadas dichas complementarias, todo ello son variación del importe contratado.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 125/148

4.1.8. MODIFICACIONES

El Astillero está obligado a realizar las obras que se encarguen resultantes de las posibles modificaciones del proyecto, tanto en aumento como en disminución o simplemente variación, siempre y cuando el importe de las mismas no altere en más o menos de un 25% del valor contratado.

La valoración de los mismos se hará de acuerdo con los valores establecidos en el presupuesto entregado por el Astillero y que ha sido tomado como base del contrato.

El Director de Obra está facultado para introducir las modificaciones que considere oportunas de acuerdo a su criterio, en cualquier unidad de obra, durante la construcción, siempre que cumpla las condiciones técnicas referidas al proyecto y de modo que no varíe el importe total de la obra.

4.1.9. OBRA DEFECTUOSA

Cuando el Astillero halle cualquier unidad de obra que no se ajuste a lo especificado en el Proyecto o en este Pliego de Condiciones, el Director de Obra podrá aceptarlo o rechazarlo; en el primer caso, este fijará el precio que crea justo con arreglo a las diferencias que hubiera, estando el Astillero obligado a aceptar dicha valoración. En el otro caso, se reconstruirá a expensas del Astillero la parte mal ejecutada cuantas veces sean necesarias sin que ello sea motivo de una reclamación económica o de ampliación del plazo de ejecución.

4.1.10. MEDIOS AUXILIARES

Serán por cuenta del Astillero todos los medios y maquinarias auxiliares que sean necesarias para la ejecución de la Obra. En el uso de los mismos, estará

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 126/148

obligado a cumplir todos los Reglamentos de Seguridad e Higiene en el trabajo vigentes y a utilizar los medios de protección adecuados para sus operarios.

En el caso de rescisión por incumplimiento de contrato por parte del Astillero, podrán ser utilizados libre y gratuitamente por la dirección de obra hasta la finalización de los trabajos.

4.1.11. SUBCONTRATACIÓN DE OBRAS

Salvo que el contrato disponga lo contrario o que, de su naturaleza y condiciones se deduzca que la obra ha de ser ejecutada directamente por el Astillero, podrá este concretar con terceros la realización de determinadas unidades de obra, previo conocimiento por escrito al Director de Obra. Los gastos derivados de la subcontratación correrán a cargo del Astillero.

4.1.12. CONTRATO

El contrato se formalizará mediante contrato privado, que podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes. Comprenderá la adquisición de todos los materiales, transporte, mano de obra, medios auxiliares para la ejecución de la obra proyectada en el plazo estipulado así como la reconstrucción de las unidades defectuosas, la realización de las obras complementarias y las derivadas de las modificaciones que se introduzcan durante la ejecución, estas últimas en los términos previstos.

La totalidad de los documentos que componen el proyecto técnico de la obra serán incorporados al contrato y tanto el Astillero como el propietario deberán firmarlos en testimonio de que los conocen y aceptan.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 127/148

4.1.13. RESPONSABILIDADES

El Astillero elegido será el responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas del proyecto y en el contrato. Como consecuencia de ello, vendrá obligado a la desinstalación de las partes mal ejecutadas y a su reinstalación correcta, sin que sirva de excusa que el Director de Obra haya examinado y reconocido las obras.

El Astillero es el único responsable de todas las contravenciones que se cometan (incluyendo su personal) durante la ejecución de las obras u operaciones relacionadas con las mismas. También es responsable de los accidentes o daños que, por errores, inexperiencia o empleo de métodos inadecuados, se produzcan a la propiedad, a los vecinos o terceros en general.

El Astillero es el único responsable del incumplimiento de las disposiciones vigentes en materia laboral respecto su personal y por lo tanto, de los accidentes que puedan sobrevenir y de los derechos que puedan derivarse de ellos.

4.2. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

4.2.1. MEDICIONES Y VALORACIONES DE LAS OBRAS

El Astillero verificará los planos y efectuará las mediciones correspondientes. En caso de hallar anomalías reclamará al Director de Obra y éste lo comunicará a la parte interesada.

El Astillero se pondrá de acuerdo con el Director de Obra y la parte interesada, volviendo a verificar las anomalías y en su caso se tomarán las medidas oportunas. Tal fin pretende asegurar la continuidad de las obras, sin que falte material para su ejecución y evitando de esta forma posibles retrasos.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 128/148

4.2.2. ABONO DE LAS OBRAS

En el contrato se deberá fijar detalladamente la forma y plazos en que se abonarán las obras realizadas. Las liquidaciones parciales que puedan establecerse tendrán carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a las certificaciones que resulten de la liquidación final. No suponiendo, dichas liquidaciones, aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

4.2.3. PRECIOS

El Astillero presentará, al formalizarse el contrato, la relación de los precios de las unidades de obra que integren el proyecto, los cuales de ser aceptados tendrán valor contractual y se aplicarán a las posibles variaciones que pueda haber.

En caso de tener que realizarse unidades de obra no previstas en el proyecto se fijará su precio entre el Director de Obra y el Astillero, antes de iniciar la obra, y se presentará al propietario para su aceptación o no.

4.2.4. REVISIÓN DE PRECIOS

En el contrato se establecerá si el Astillero tiene derecho a revisión de precios y la fórmula a aplicar para calcularla. En defecto de esta última, se aplicará a juicio del Director de Obra alguno de los criterios oficiales aceptados.

4.2.5. PENALIZACIONES POR RETRASOS

Por retrasos en los plazos de entrega de la obra, se podrán establecer tablas de penalización cuyas cuantías y demoras se fijarán en el contrato.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 129/148

Estas cuantías podrán, bien ser cobradas a la finalización de las obras, bien ser descontadas de la liquidación final.

4.2.6. LIQUIDACIÓN EN CASO DE RESCISIÓN DEL CONTRATO

Siempre que se rescinda el contrato por las causas anteriormente expuestas, o bien por el acuerdo de ambas partes, se abonarán al Astillero las unidades de obra ejecutadas y los materiales acopiados a pie de obra y que reúnan las condiciones y sean necesarios para la misma.

Cuando se rescinda el contrato, llevará implícito la retención de la fianza para obtener los posibles gastos de conservación, el periodo de garantía y los derivados del mantenimiento hasta la fecha de la nueva adjudicación.

4.2.7. FIANZA

En el contrato se establecerá la fianza que el Astillero deberá depositar en garantía del cumplimiento del mismo, o se convendrá una retención sobre los pagos realizados a cuenta de la obra realizada.

De no estipularse la fianza en el contrato, se entiende que se adoptará como garantía una retención del 5% sobre los pagos a cuenta citados.

En el caso de que el Astillero se negase a realizar por su cuenta los trabajos por ultimar la obra en las condiciones contratadas o atender la garantía, la propiedad podrá ordenar ejecutarlas a un tercero, abonando su importe con cargo a la retención o fianza, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho la propiedad si el importe de la fianza no bastase.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 130/148

4.2.8. CONSERVACIÓN DE LAS OBRAS DURANTE EL PLAZO DE GARANTÍA

Correrán por cuenta del Astillero los gastos derivados de la conservación de la obras durante el plazo de garantía. En este periodo, las obras deberán estar en perfectas condiciones, condición indispensable para la recepción definitiva de las mismas.

El Astillero no podrá reclamar indemnización alguna por dichos gastos, que se suponen incluidos en las diversas unidades de obra.

4.2.9. MEDIDAS DE SEGURIDAD

El Astillero deberá cumplir en todo momento las leyes y regulaciones relativas a seguridad e higiene en el trabajo. El incumplimiento de estas, será objeto de sanción, siguiendo las especificaciones redactadas en el contrato, donde vendrán reflejadas las distintas cuantías en función de la falta detectada.

4.2.10. DEMORAS

Al encargarse el trabajo, se fijará por ambas partes, el programa con la fecha de inicio y de terminación.

El Astillero pondrá los medios necesarios para ello, que deberán ser aceptados por la propiedad.

Solo se considerarán demoras excusables los retrasos o interrupciones imputables a causas de fuerza mayor, tales como huelgas generales, catástrofes naturales etc.

En el caso de que el Astillero incurra en demoras no excusables, le serán aplicadas las siguientes sanciones:

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 131/148

- Por retraso en la incorporación del personal y otros medios necesarios para la finalización del trabajo: desde un 1% hasta un máximo de 5% por día de retraso.
- Por retraso en la finalización de los trabajos o retrasos en los trabajos intermedios que expresamente se indiquen: desde un 1% de la facturación de estos encargos con un tope de un 5% por cada día de retraso.
- Por incumplimiento en la limpieza y orden de las instalaciones: 300€ la primera vez, aumentando en otros 300€ las sucesivas hasta un máximo de tres veces, a partir de la cual se procederá a restituir por la propiedad las condiciones de limpieza y orden, cargando el coste al Astillero.

4.3. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS

4.3.1. NORMAS A SEGUIR

Las obras a realizar estarán de acuerdo y se guiarán por las siguientes normas además de lo descrito en este pliego de condiciones:

- Reglamentación General de Contratación según Decreto 3410/75, del 25 de Noviembre.
- Artículo 1588 y siguientes del Código Civil, en los casos en que sea procedente su aplicación al contrato que se trate.
- Ordenanzas Generales de Seguridad e Higiene en el Trabajo, aprobada pro Orden del 9/3/71 del Ministerio de Trabajo.
- Normas UNE.
- Plan Nacional y Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el trabajo.
- Normas de la compañía suministradora de los materiales.

Lo indicado en este Pliego de Condiciones con preferencia a todos los códigos.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 132/148

4.3.2. PERSONAL

El Astillero tendrá al frente de la obra un encargado con autoridad sobre los demás operarios y conocimientos acreditados y suficientes para la ejecución de la obra.

El encargado recibirá cumplirá y transmitirá las instrucciones y órdenes al Director de Obra.

El Astillero tendrá en la obra, además del personal que requiera el Director de Obra, el número y clase de operarios que hagan falta para el volumen y naturaleza de los trabajos que se realicen, los cuales serán de reconocida aptitud y experimentados en el oficio.

4.3.3. CONDICIÓN, ADMISIÓN Y RETIRADA DE MATERIALES

Todos los materiales empleados en este proyecto, y de los cuales se hará mención, deberán ser de la mejor calidad conocida dentro de su clase.

No se procederá al empleo de los materiales sin que estos sean examinados y aceptados en los términos que prescriben las respectivas condiciones estipuladas para cada clase de material. Esta misión será efectuada por el Director de Obra.

Se cumplirán todos los análisis, ensayos y pruebas con los materiales y elementos de obra que ordene el Director de Obra.

4.3.4. RECONOCIMIENTOS Y ENSAYOS PREVIOS

Cuando lo estime oportuno el Director de Obra, podrá encargar y ordenar análisis, ensayo o comprobación de los materiales, elementos o instalaciones,

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 133/148

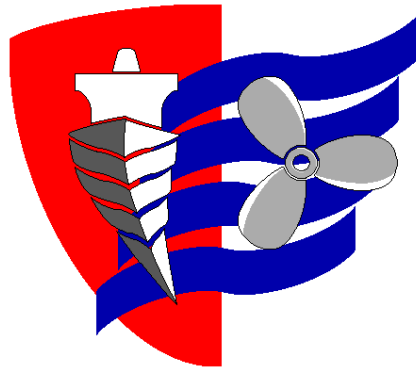
bien sea en fábrica de origen, laboratorios oportunos o en la misma obra, según crea más conveniente, aunque estos no estén indicados en el pliego.

En el caso de discrepancia, los ensayos o pruebas se efectuarán en el laboratorio que el Director de Obra designe.

Los gastos ocasionados por estas pruebas y comprobaciones, serán por cuenta del Astillero.

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PLIEGO DE CONDICIONES	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 134/148

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



MEDICIONES

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PRESUPUESTO	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 136/148

5. MEDICIONES Y PRESUPUESTO

El presupuesto que vamos a realizar está organizado en diferentes partidas basándonos en la memoria del proyecto, que lo divide según los servicios auxiliares a instalar en el motor.

Además, en nuestro caso debemos añadir el presupuesto de la mano de obra, así como instalaciones externas necesarias para la obra.

5.1. PRESUPUESTO DESGLOSADO EN PARTIDAS

5.1.1. MOTOR

El elemento principal de nuestra instalación es el motor (con el generador acoplado). Wärtsilä ofrece un precio de 480.000 € por el conjunto del motor, el generador acoplado y la bancada sobre la que se apoya el conjunto.

5.1.2. SISTEMA DE COMBUSTIBLE GNL

Producto	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio por producto (€)
Tanque contenedor de GNL	1	420000	138000
Sistema de carga	1	15000	15000
Sistema de automatización	1	140000	140000
Sistema de calentamiento intermedio	1	18000	18000
GVU	1	38000	38000

Tuberías	Diámetro nominal (mm)	Longitud (m)	Precio (€/m)	Precio por producto (€)
DIN 2448, pared doble	108	4,4	112	492,8

Precio total (€)	347492,8
------------------	----------

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PRESUPUESTO	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 137/148

5.1.3. SISTEMA DE COMBUSTIBLE MDO

Producto	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio por producto (€)
Tanque de MDO	1	4800	4800
Depuradora	1	2300	2300
Tanque de lodos	1	390	390
Bomba de alimentación	1	820	820

Válvulas	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio por producto (€)
De 3 vías	2	230	460
Paso y aislamiento	7	66	462
Caudalímetro	1	2300	2300
Filtro de combustible	1	860	860
Filtro de aspiración	1	1865	1865
Filtro de succión	2	80	160

Tuberías	Diámetro externo (mm)	Longitud (m)	Precio (€/m)	Precio por producto (€)
DIN 2353	22	20,5	59	1209,5

Precio total (€)	15626,5
------------------	---------

5.1.4. SISTEMA DE LUBRICACIÓN

Producto	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio por producto (€)
Tanque de aceite	1	3800	3800
Depuradora	1	2300	2300
Calentador	1	4800	4800
Trampa de condensado	1	540	540

Válvulas	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio por producto (€)
De paso y aislamiento	6	48	288

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PRESUPUESTO	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 138/148

Tuberías	Diámetro nominal (mm)	Longitud (m)	Precio (€/m)	Precio por producto (€)
DIN 2448	32	5,2	86	447,2
DIN 2448	65	4,5	113	508,5

Precio total (€)	12683,7
------------------	---------

5.1.5. SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Producto	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio por producto (€)
Compresor	2	2880	5760
Separador de aceite y agua	3	560	1680
Botella de aire de arranque	2	3200	6400
Filtro de aire	1	540	540
Compresor estándar	1	850	850

Válvulas	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio por producto (€)
De paso y aislamiento	10	48	480
De 3 vías	2	130	260

Tuberías	Diámetro nominal (mm)	Longitud (m)	Precio (€/m)	Precio por producto (€)
DIN 2353	28	5,2	83	431,6
DIN 2391	10	3,55	28	99,4

Precio total (€)	16501
------------------	-------

5.1.6. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Producto	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio por producto (€)
Intercambiador de calor	1	9500	9500
Tanque de expansión	1	580	580
Calentador	1	1150	1150
Bomba del calentador	1	340	340

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PRESUPUESTO	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 139/148

Bomba de circulación de agua del mar	1	3400	3400
Tanque de mezcla y vaciado	1	1500	1500
Bomba de llenado	1	340	340

Válvulas	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio por producto (€)
Control de temperatura del intercambiador de calor (válvula termostática y unidad de control)	1	5600	5600
Control de temperatura del aire de carga (válvula y unidad de control)	1	5100	5100
De paso y aislamiento	19	66	1254
De 3 vías	13	230	2990

Tuberías	Diámetro nominal (mm)	Longitud (m)	Precio (€/m)	Precio por producto (€)
DIN 2353	12	4,4	51	224,4
DIN 2353	28	3,35	83	278,05
ISO 7500-1	65	10,8	186	2008,8
ISO 7500-1	80	13,7	220	3014
ISO 7500-1	150	25	280	7000

Precio total (€)	44279,25
------------------	----------

5.1.7. SISTEMA DE AIRE DE COMBUSTIÓN Y VENTILACIÓN

Producto	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio por producto (€)
Ventilador 30043426	3	2100	6300
Ventilador 30041565	1	2900	2900

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PRESUPUESTO	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 140/148

Conducto	Superficie (m2)	Precio (€/m2)	Precio por producto (€)
500x300	3,2	23	73,6
150x150	0,48	27	12,96

Precio total (€)	9286,56
------------------	---------

5.1.8. SISTEMA DE GASES DE ESCAPE

Producto	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio por producto (€)
Unidad de gases de ventilación	1	1500	1500
Silenciador	1	5500	5500
Expansiones	3	2500	7500
Conducto de escape	1	4800	4800
Calorifugado y revestimiento en acero inoxidable	1	5500	5500

Precio total (€)	24800
------------------	-------

5.1.9. SISTEMA DE GAS INERTE

Producto	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio por producto (€)
Bombonas de Nitrógeno, manómetro, reductores y mangueras	4	4100	16400
Armario de control	1	2500	2500

Válvulas	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio por producto (€)
3 vías	4	230	920
De paso y aislamiento	5	66	330
Filtro de aire	1	600	600
Separador de agua	1	850	850

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PRESUPUESTO	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 141/148

Tuberías	Diámetro nominal (mm)	Longitud (m)	Precio (€/m)	Precio por producto (€)
DIN 2448	50	8,7	98	852,6

Precio total (€)	22452,6
------------------	---------

5.1.10. COMPARTIMENTO DEL MOTOR

Producto	Precio por producto (€)
Fijaciones	720
Film aislante térmico	240
Lana de roca	385
Listones de madera (40x60)	300
Tornillería	860

Producto	Superficie (m2)	Precio (€/m2)	Precio por producto (€)
Chapa galvanizada (1mm)	189	37	6993
Chapa acero naval (6mm)	189	89	16821
Manta ignífuga	189	88	16632

Producto	Longitud (m)	Precio (€/m)	Precio por producto (€)
Angular	111	4	444

Precio total (€)	43395
------------------	-------

5.1.11. MANO DE OBRA

Oficio	Precio (€/h)	Trabajadores	Horas por trabajador	Horas totales	Precio total (€)
Electricista	28	4	225	900	25200

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PRESUPUESTO	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 142/148

Mecánico	28	6	200	1200	33600
Técnico de Wartsila	64	2	80	160	10240
Técnicos de GNL	52	1	80	80	4160
Controles, certificado de obra, inspección, clasificación.					12800

Precio total (€)	86000
------------------	-------

5.2. BALANCE FINAL DEL PRESUPUESTO

Secciones a presupuestar	Importe (€)
Motor, generador y bancada	480000
GNL	347492,8
Gas Inerte	22452,6
MDO	15626,5
Lubricación	12683,7
Aire comprimido	16401,6
Refrigeración	44279,25
Aire de combustión y ventilación	9286,56
Escape	24800
Mano de obra	86000
Compartimento del motor	43395
Presupuesto de Ejecución del Material	1102418,01 €

Concepto	Importe
Gastos Generales, licencias y trámites	6000
Honorario del proyecto	7400
21% PEM (IVA)	234321,782

INSTALACIÓN EN UN BUQUE FERRY DE UN MOTOR AUXILIAR QUE CONSUME GNL PARA MANIOBRAR EN PUERTO	REF: PRESUPUESTO	
	FECHA: 07/06/2018	
	REV: 00	PAG: 143/148

Presupuesto total	1350139,79 €
-------------------	--------------

Asciende el Presupuesto General para conocimiento del Cliente a un millón trescientos cincuenta mil ciento treinta y nueve con setenta y nueve euros.

.

Aviso responsabilidad UC

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”