

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y
MÁQUINAS**

GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

ENERGÍA Y PROPULSION



**“INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE
LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE
PORTACONTENEDORES PARA
CONSUMO DE GNL”**

TRABAJO FIN DE GRADO

TFG/GTM/E-02-17

SEPTIEMBRE – 2017

SANTIAGO BAÑA PÉREZ

DIRECTOR: FELIPE ANTELO GONZÁLEZ



TRABAJO FIN DE GRADO

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

ENERGÍA Y PROPULSIÓN

D. FELIPE ANTELO GONZÁLEZ, en calidad de Director principal, autorizo al alumno D. SANTIAGO BAÑA PÉREZ, con DNI 78807730-R a la presentación del presente Trabajo Fin de Grado titulado:

“INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL”

DEFENDIDO ANTE TRIBUNAL EN LA SESIÓN DE

SEPTIEMBRE – 2017

Fdo. El director

Fdo. El alumno

FELIPE ANTELO GONZÁLEZ

SANTIAGO BAÑA PÉREZ

RESUMEN

A medida que avanzamos en el tiempo las restricciones respecto a la contaminación de los buques es cada vez más estricta.

En la actualidad, para cumplir con la normativa, se están construyendo buques propulsados con GNL como combustible.

El proyecto consiste en llevar a cabo el retrofit del motor de un buque portacontenedores para pasarlo a consumir GNL y la instalación de todos los elementos necesarios para el suministro del GN al motor.

ABSTRACT

As we move forward over time the restrictions on ship pollution are becoming more stringent.

Actually, to comply with the regulations, the ships are being built propelled with LNG as fuel.

The project consists of carrying out the retrofit of the engine of a container ship to pass it to the consumption of LNG and the installation of all the necessary elements to supply the GN to the engine.

RESUMO

A medida que avanzamos no tempo as restricións respecto a contaminación dos buques é cada vez máis estricta.

Na actualidade, para cumprir coa normativa, estanse a construír buques propulsados por GNL como combustible.

O proxecto consiste en levar a cabo o retrofit do motor dun buque portacontedores para pásalo a consumir GNL e a instalación de todos os elementos necesarios para o suministro de GN ao motor.

“INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL”

1. ÍNDICES GENERALES



GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

ENERGÍA Y PROPULSIÓN

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: **SEPTIEMBRE 2017**

AUTOR: Santiago Baña Pérez

Fdo.: Santiago Baña Pérez

INDICE

1. ÍNDICES GENERALES	4
2. MEMORIA	13
2.1. INTRODUCCIÓN.....	17
2.2. OBJETO	19
2.3. ALCANCE.....	19
2.4. ANTECEDENTES.....	20
2.5. NORMAS Y REFERENCIAS	20
2.5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas	20
2.5.2. Bibliografía	21
2.5.2.1. Informes Técnicos.....	21
2.5.2.2. Revistas Técnicas.....	23
2.5.2.3. Enlaces internet	24
2.5.3. Programas utilizados	25
2.6. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	25
2.7. REQUISITOS DE DISEÑO	27
2.7.1. Legislación, reglamentación y normativa.....	27
2.7.1.1. Gubernamental	28
2.7.1.2. No gubernamental	32
2.8. Introducción al LNG	33
2.8.1. Propiedades físicas y composición del LNG	33
2.8.2. Características del LNG	36
2.8.2.1. Inflamabilidad.....	36
2.9. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES.....	39
2.9.1. LNG Pack.....	39
2.9.1.1. Sistema de almacenamiento del LNG.....	43

2.9.1.1.1.	Tanque presurizado de LNG	43
2.9.1.1.1.1.	Tipos de tanques independientes	44
2.9.1.1.1.2.	Tanque del LNG Pack.....	45
2.9.1.2.	Bomba Criogénica HP	49
2.9.1.3.	Espacio del tanque de conexión	50
2.9.1.3.1.	MGE (Main Gas Evaporator)	51
2.9.1.3.2.	PBE (Pressure Build-up Evaporator)	53
2.9.1.3.3.	Válvulas	54
2.9.1.4.	GVU (Gas Valve Unit).....	56
2.9.1.5.	Estación Bunker.....	62
2.9.1.6.	Sistema de calentamiento a los evaporadores	65
2.9.1.7.	Tuberías del sistema.....	66
2.9.1.8.	Sistemas de seguridad y protección	67
2.9.1.8.1.	Sistema de detección de gas.....	67
2.9.1.8.2.	Sistema de nitrógeno.....	67
2.9.1.8.3.	Válvulas de alivio de presión	68
2.9.1.8.4.	Ventilación.....	68
2.9.1.9.	Sistema de control	69
2.9.1.9.1.	Cuadros de control	70
2.9.1.9.1.1.	Cuadro del PLC.....	70
2.9.1.9.1.2.	Cuadros neumáticos	71
2.9.1.9.1.3.	Panel del bunker	71
2.9.1.10.	Estación de operación.....	71
2.9.1.10.1.	Instrumentación	72
2.9.1.10.2.	Modos de automatización	72
2.9.1.10.3.	Funciones de control	73
2.9.2.	Retrofit del motor	73

2.9.2.1.	Elementos del sistema	75
2.9.2.1.1.	Culata	78
2.9.2.1.2.	Tuberías de gas de doble pared	78
2.9.2.1.3.	Bloque de control de gas	79
2.9.2.1.4.	Válvulas de combustible líquido, gas y arranque.....	81
2.9.2.1.5.	Válvula de escape	83
2.9.2.2.	Concepto de inyección de gas	83
2.9.2.2.1.	Modos de funcionamiento del motor.....	84
2.9.2.2.2.	Seguridad	85
2.10.	Soluciones propuestas	87
3.	ANEXOS	89
3.1.	Anexo I: Tamaño del tanque de LNG.....	91
3.2.	Anexo II: Tamaño del espacio del tanque de conexión.....	91
3.3.	Anexo III: Cálculo del tamaño del tanque de LNG	91
4.	PLANOS.....	93
4.1.	Plano nº1: “Esquema principal del circuito del LNG Pack”	95
4.2.	Plano nº 2: “Plano y medidas del tanque de LNG”	96
4.3.	Plano nº 3: “Espacio del tanque de conexión”	97
4.4.	Plano nº 4: “Estación Bunker”	98
4.5.	Plano nº 5: “Plano del buque”	99
4.6.	Plano nº 6: “Sistema de inyección modo gas”	100
4.7.	Plano nº 7: “Sistema de suministro de F.O”	101
4.8.	Plano nº 8: “Sistema de detección de fugas y ventilación”	102
4.9.	Plano nº 9: “Sistema de sellado de aceite”	103
4.10.	Plano nº 10: “Sistema de purga de gas inerte”	104
5.	PLIEGO DE CONDICIONES.....	105
5.1.	Pliego de condiciones generales	108

5.1.1.	Condiciones generales	108
5.1.2.	Reglamentos y normas.....	109
5.1.3.	Materiales	109
5.1.4.	Recepción del material	110
5.1.5.	Organización	111
5.1.6.	Ejecución de las obras	111
5.1.7.	Interpretación y desarrollo del proyecto.....	112
5.1.8.	Variaciones del proyecto	113
5.1.9.	Obras complementarias	113
5.1.10.	Modificaciones.....	113
5.1.11.	Obra defectuosa	113
5.1.12.	Medios auxiliares.....	114
5.1.13.	Conservación de las obras	114
5.1.14.	Subcontratación de obras.....	114
5.1.15.	Recepción de las obras	114
5.1.16.	Contratación de astillero.....	114
5.1.17.	Contrato.....	115
5.1.18.	Responsabilidades	115
5.1.19.	Rescisión de contrato	115
5.2.	Pliego de condiciones económicas	116
5.2.1.	Mediciones y valoraciones de las obras	116
5.2.2.	Abono de las ofertas.....	116
5.2.3.	Precios	116
5.2.4.	Revisión de precios.	117
5.2.5.	Precios contradictorios.	117
5.2.6.	Penalizaciones por retrasos	117
5.2.7.	Liquidación en caso de rescisión del contrato	117

5.2.8.	Fianza.....	118
5.2.9.	Gastos diversos por cuenta del astillero.....	118
5.2.10.	Conservación de las obras durante el plazo de garantía.....	118
5.2.11.	Medidas de seguridad	118
5.2.12.	Responsabilidad por daños	119
5.2.13.	Demoras.....	119
5.3.	Pliego de condiciones facultativas	120
5.3.1.	Normas a seguir	120
5.3.2.	Personal	120
5.3.3.	Condiciones de los materiales empleados	121
5.3.4.	Admisión y retirada de materiales	121
5.3.5.	Reconocimientos y ensayos previos	121
5.4.	Pliego de condiciones técnicas.....	121
5.4.1.	Aceptación y rechazo de los materiales e instalación	121
5.4.2.	Diseño e instalación de las tuberías	122
5.4.3.	Vigilancia, pruebas y ensayos	123
6.	ESTADO DE MEDICIONES	125
6.1.	Motor MAN M&W S50ME-C8.5-GI-TII	127
6.2.	Bomba criogénica MSP-GU.....	130
7.	PRESUPUESTO	131
7.1.	Precios descompuestos.....	133
7.1.1.	Capítulo 1: Tanques de almacenamiento	133
7.1.2.	Capítulo 2: Bombas Criogénicas	133
7.1.3.	Capítulo 3: Espacio del tanque de conexión	133
7.1.4.	Capítulo 4: GVU	134
7.1.5.	Capítulo 5: Estación Bunker	134
7.1.6.	Capítulo 6: Sistema de calentamiento con glicol	134

7.1.7.	Capítulo 7: Tuberías	135
7.1.8.	Capítulo 8: Sistema de seguridad.....	135
7.1.9.	Capítulo 9: Sistema de control	135
7.1.10.	Capítulo 10: Estaciones de operación	136
7.1.11.	Capítulo 11: Retrofit del motor.....	136
7.1.12.	Capítulo 12: Obras realizadas en astillero.....	136
7.2.	Resumen de capítulos	137

Índice de tablas

Tabla 2.8.1.1	Propiedades del LNG.....	33
Tabla 2.8.1.2	Propiedades del metano.....	34
Tabla 2.8.1.3	Composiciones típicas del LNG.....	34
Tabla 2.9.1.1.1.2.3	Características principales del tanque de LNG.....	47
Tabla 2.9.1.2.1	Elección del modelo de la bomba.....	49
Tabla 2.9.1.3.1.2	Datos técnicos del MGE.....	52
Tabla 2.9.1.3.2.2	Datos técnicos del PBE.....	54
Tabla 2.9.1.7.2	Dimensiones de las tuberías.....	66
Tabla 2.9.2.2.2.1	Dimensión de la tubería de IG.....	86
Tabla 3.1.1	Tamaños del tanque de LNG.....	91
Tabla 3.2.1	Tamaño del espacio del tanque de conexión.....	91

Índice de imágenes y gráficas

Figura 2.1.1	Mapa de estaciones bunker y terminales.....	18
Gráfica 2.8.1.4	Ratio del LNG respecto a la temperatura.....	35
Gráfica 2.8.1.5	Punto de ebullición de componentes del LNG.....	36
Gráfica 2.8.1.6	Inflamabilidad mezclas de O ₂ , CH ₄ y N ₂	37
Figura 2.9.1.1	Esquema del sistema del LNG Pack.....	40
Figura 2.9.1.2	Disposición del Air Lock.....	41
Figura 2.9.1.3	Bomba en tanque del espacio de conexión.....	42
Figura 2.9.1.4	Bomba en interior del tanque del LNG.....	42
Figura 2.9.1.1.1	Circuito de los vaporizadores.....	43
Figura 2.9.1.1.1.2.1	Tanque del LNG Pack.....	46
Figura 2.9.1.1.1.2.2	Sistema de vacío inter-barrera.....	46
Figura 2.9.1.1.1.2.4	Disposición del tanque del LNG Pack.....	47
Figura 2.9.1.2.2	Sistema de 2 bombas MSP-GU.....	50
Figura 2.9.1.3.1.1	Sistema del MGE.....	52
Figura 2.9.1.3.2.1	Sistema del PBE.....	53
Figura 2.9.1.4.1	Configuración horizontal de la GVU.....	59

Figura 2.9.1.4.2	Configuración vertical de la GVU.....	59
Figura 2.9.1.4.3	Caudalímetro efecto Coriolis.....	60
Figura 2.9.1.4.4	Funcionamiento de caudalímetro tipo Coriolis.....	61
Figura 2.9.1.5.1	Esquema de la cortina de agua.....	63
Figura 2.9.1.5.2	Bunker mediante camión.....	63
Figura 2.9.1.5.3	Estación bunker.....	64
Figura 2.9.1.5.4	Diagrama del proceso de suministro del LNG.....	65
Figura 2.9.1.6.1	Circuito de calefacción.....	65
Figura 2.9.1.7.1	Tuberías de doble pared.....	66
Figura 2.9.1.8.1.1	Detectores de HC.....	67
Figura 2.9.1.8.4.1	Ventiladores del sistema.....	68
Figura 2.9.1.9.1	Conexión del sistema de control.....	70
Figura 2.9.2.1	Tipo de motor por sus siglas.....	73
Figura 2.9.2.2	Motor MAN B&W 8S50ME-C9-GI.....	75
Figura 2.9.2.1.1	Módulo de gas.....	76
Figura 2.9.2.1.2	Zonas afectadas en caso de reconversión.....	77
Figura 2.9.2.1.3.1	Bloque de control de gas.....	81
Figura 2.9.2.1.4	Válvula de inyección de gas.....	82
Gráfica 2.9.2.2.1.1	Porcentaje de consumo a modo gas.....	84
Gráfica 2.9.2.2.1.2	Porcentaje de consumo a modo dual.....	85
Figura 6.2.1	Bomba MSP-GU.....	130

“INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL”

2.MEMORIA



GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

ENERGÍA Y PROPULSIÓN

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: SEPTIEMBRE 2017

AUTOR: Santiago Baña Pérez

Fdo.: Santiago Baña Pérez

ÍNDICE DE LA MEMORIA

2.1.	INTRODUCCIÓN.....	17
2.2.	OBJETO	19
2.3.	ALCANCE.....	19
2.4.	ANTECEDENTES.....	20
2.5.	NORMAS Y REFERENCIAS	20
2.5.1.	Disposiciones legales y normas aplicadas	20
2.5.2.	Bibliografía	21
2.5.2.1.	Informes Técnicos.....	21
2.5.2.2.	Revistas Técnicas.....	23
2.5.2.3.	Enlaces internet	24
2.5.3.	Programas utilizados	25
2.6.	DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	25
2.7.	REQUISITOS DE DISEÑO.....	27
2.7.1.	Legislación, reglamentación y normativa.....	27
2.7.1.1.	Gubernamental	28
2.7.1.2.	No gubernamental	32
2.8.	Introducción al LNG	33
2.8.1.	Propiedades físicas y composición del LNG	33
2.8.2.	Características del LNG	36
2.8.2.1.	Inflamabilidad.....	36
2.9.	ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES.....	39
2.9.1.	LNG Pack	39
2.9.1.1.	Sistema de almacenamiento del LNG.....	43
2.9.1.1.1.	Tanque presurizado de LNG	43
2.9.1.1.1.1.	Tipos de tanques independientes	44

2.9.1.1.1.2. Tanque del LNG Pack.....	45
2.9.1.2. Bomba Criogénica HP	49
2.9.1.3. Espacio del tanque de conexión	50
2.9.1.3.1. MGE (Main Gas Evaporator)	51
2.9.1.3.2. PBE (Pressure Build-up Evaporator)	53
2.9.1.3.3. Válvulas	54
2.9.1.4. GVU (Gas Valve Unit).....	56
2.9.1.5. Estación Bunker.....	62
2.9.1.6. Sistema de calentamiento a los evaporadores	65
2.9.1.7. Tuberías del sistema.....	66
2.9.1.8. Sistemas de seguridad y protección	67
2.9.1.8.1. Sistema de detección de gas.....	67
2.9.1.8.2. Sistema de nitrógeno.....	67
2.9.1.8.3. Válvulas de alivio de presión	68
2.9.1.8.4. Ventilación	68
2.9.1.9. Sistema de control	69
2.9.1.9.1. Cuadros de control	70
2.9.1.9.1.1. Cuadro del PLC.....	70
2.9.1.9.1.2. Cuadros neumáticos	71
2.9.1.9.1.3. Panel del bunker	71
2.9.1.10. Estación de operación.....	71
2.9.1.10.1. Instrumentación	72
2.9.1.10.2. Modos de automatización.....	72
2.9.1.10.3. Funciones de control	73
2.9.2. Retrofit del motor	73
2.9.2.1. Elementos del sistema.....	75
2.9.2.1.1. Culata	78

2.9.2.1.2.	Tuberías de gas de doble pared	78
2.9.2.1.3.	Bloque de control de gas	79
2.9.2.1.4.	Válvulas de combustible líquido, gas y arranque.....	81
2.9.2.1.5.	Válvula de escape	83
2.9.2.2.	Concepto de inyección de gas	83
2.9.2.2.1.	Modos de funcionamiento del motor.....	84
2.9.2.2.2.	Seguridad	85
2.10.	Soluciones propuestas	87

2.1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente proyecto se va exponer la reconversión del motor MAN ME de un portacontenedores en un motor MAN ME-GI para poder consumir LNG.

En la actualidad existen restricciones muy grandes con respecto a la contaminación atmosférica, como podemos ver con la aprobación de la norma IMO Tier III que reduce al 80 % las exigencias del Tier I.

Para poder entrar en las llamadas zonas ECA (Emission Control Area) hay que cumplir una serie de criterios que cada vez son más estrictos y con esta reconversión, se cumpliría perfectamente con las restricciones actuales mediante el consumo de LNG.

Si comparamos las emisiones de un motor por ejemplo, el 8S50ME-C con su reconversión, el 8S50ME-GI, a una carga del 100 % los resultados obtenidos serían:

- Reducción del 23 % en emisiones de CO_2
- Reducción del 13 % en emisiones de NO_x
- Reducción del 92 % en emisiones de SO_x

Si comparamos ahora un motor ME-GI con un motor que solo consuma GNL, tendremos como ventaja la flexibilidad del combustible utilizado, pudiendo funcionar de 3 formas distintas:

- Consumir solo gas con una pequeña cantidad de gas piloto
- Operación Dual Fuel (SDF) con una pequeña inyección de gas
- Consumir solo fuel

Por lo que podemos deducir que el uso de GNL como combustible es mucho más ecológico que el de fuel siendo los rendimientos similares. De este modo, proporciona un grado de flexibilidad para el operador, teniendo en cuenta las ventajas económicas de la elección del tipo de combustible, la accesibilidad del combustible y los beneficios ambientales con el uso de gas.

Con el fin de convertir un motor ME a un motor ME-GI, tanto los componentes mecánicos y eléctricos para el funcionamiento del gas deben ser instalados y el software habilitado.

Además de lo mencionado, actualmente están operando múltiples barcos para el suministro de LNG en la mayoría de puertos, camiones e incluso se está realizando bunker a pequeña escala en las propias terminales regasificadoras del mundo por lo que no existe ningún problema a la hora de hacer suministro de combustible. En la siguiente imagen se pueden ver las distintas estaciones bunker y terminales para suministro de gas:



Figura 2.1.1 – Mapa de estaciones bunker y terminales [22]

- Estación Bunker en funcionamiento
- Estación Bunker en construcción
- Terminales en funcionamiento
- Terminales en construcción

2.2. OBJETO

El objetivo principal del proyecto es llevar a cabo un retrofit del motor de un buque portacontenedores ECO FEEDER de 1750 TEU que ya está en activo, sin necesidad de tener que instalar un nuevo motor. Simplemente habría que añadirle al motor MAN B&W 8S50ME-C9 del buque una serie de extras y modificaciones.

Para llevar a cabo el retrofit habrá que cambiar las culatas del motor, sistema de sellado de aceite, poner tuberías de doble pared... y añadir una serie de sistemas como el sistema de ventilación de estas tuberías, sistema de gas inerte, válvulas de inyección de gas, sistema de control y seguridad; así como todo el sistema de suministro de gas al motor como pueden ser el tanque de almacenamiento, sistema de glicol, bombas de alta presión, vaporizadores, estación bunker y paneles para monitorizar todas las operaciones.

Como veremos más adelante, se va a optar por la instalación del LNG Pack que ofrece Wärtsilä que asegura una temperatura y presión adecuada de gas a los motores. Todas las operaciones del LNG Pack se controlan por un sistema automático que nos da seguridad y control sobre el sistema de LNG adaptándolo a las necesidades que necesitamos, pudiendo controlar todo el sistema en el IAS.

Como último objetivo el autor intentará sacar el máximo partido a las horas invertidas en la preparación del proyecto, y transmitir lo aprendido a futuras navieras o armadores que quieran llevar a cabo un retrofit de algún motor de características similares.

2.3. ALCANCE

Se tomará como buque para realizar el trabajo un portacontenedores de 1750 TEU ECO FEEDER diseñado por “Ingenieur-Technik GMBH” con un motor MAN B&W 8S50ME-C9 de 13.280 kW.

Se realizará el retrofit del motor y además se llevará a cabo la instalación del sistema completo para el suministro de gas.

2.4. ANTECEDENTES

Para la realización del proyecto se revisaron varios proyectos de buques similares o que tuviesen sistemas del mismo tipo. Entre ellos cabe destacar las siguientes navieras con sus respectivos buques:

- Tote Maritime → En 2016 fue la botadura de 2 buques portacontenedores de 3100 TEU con motor 8L70ME-C8.2-GI en los astilleros de Nassco.
- Teekay → En 2014 se propuso un proyecto para la producción de 5 gaseros de 173.000 m^3 con motor 5G70ME-C9.2-GI
- Crowley → En 2015 se ordenó el proyecto de 2 portacontenedores de 2400 TEU con motor 8S70ME-C8.2-GI
- Matson Navigation → En 2017 ordena la construcción de 2 portacontenedores de 3600 TEU con motor 7S90ME-C9.2-GI
- Brodosplit → En 2015 se proyectó la construcción de 2 portacontenedores de 1431 TEU con motor 8S50ME-B9.3-GI
- Nakilat → Retrofit del buque gasero Rasheda de 260.000 m^3 con motor 7S70ME-C7-GI
- Navigator Gas → En 2015 encarga la construcción de buque LPG de 35.000 m^3 con motor 6S50ME-C8.2-GI
- Elcano → En 2016 ordena la construcción de 2 gaseros de 175.000 m^3 con motor 7G70ME-C9.2-GI
- Knutsen OAS Shipping → En 2015 se ordena la construcción de 2 gaseros de 176.300 m^3 con motor 7G70ME-C9.2-GI
- Wallenius & NYK → Construcción de 2 buques para transporte de carga rodada con motor 8S50ME-B8.2-GI
- Retrofit del buque petrolero “Bit Viking”

2.5. NORMAS Y REFERENCIAS

2.5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

- SOLAS. Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar.

- Código CIG. Código Internacional para la construcción y el equipo de buques que transporten gases licuados a granel.
- MARPOL 73/78. Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques
- Lloyd's Register Documents
- Convenio sobre la Seguridad en Contenedores (CSC)
- Tanker Safety Guide: Liquefied Gas

2.5.2. Bibliografía

2.5.2.1. Informes Técnicos

- [1] Informe técnico: "Wärtsilä environmental services case: Unique conversion of bit viking"
- [2] Informe técnico: "Wärtsillä, LNG shipping solutions"
- [3] Informe técnico: "Wärtsillä LNGPack"
- [4] Informe técnico: "El Gas Natural Licuado (GNL) y la Tecnología de los motores Wärtsilä Dual-Fuel (DF)"
- [5] Informe técnico: "El gas natural licuado (GNL)". Autor: Ernesto López Anadón
- [6] Informe técnico: "Motor Dual Fuel – Desarrollado en la Manera Correcta"
- [7] Informe técnico: "Isla Bella, el primer portacontenedores propulsado por GNL."
- [8] Informe técnico: " Tanker ship Bit Viking LNG conversión for environmental sustainability"
- [9] Informe técnico: "Dual-Fuel-Electric Propulsion Machinery Concept on LNG Carriers"

- [10] Informe técnico: “Fuel efficiency in gas conversions”
- [11] Informe técnico: “Maintenance agreement for the world’s first lng-fuelled passenger ferry”
- [12] Informe técnico: “ME-GI control system standard operation”
- [13] Informe técnico: “MAN: Introduction to ME-GI”
- [14] Informe técnico: “MAN: ME-GI concept”
- [15] Informe técnico: “MAN: ME-DF-ECS”
- [16] Informe técnico: “MAN: Gas Control”
- [17] Informe técnico: “MAN: ME-GI components”
- [18] Informe técnico: “MAN: ME-GI auxiliary system”
- [19] Informe técnico: “Marine Engine: IMO Tier II and Tier III”
- [20] Informe técnico: “Burckhardt Compression: LABT-GI Compressor. High pressure compressors for large LNGC BOG handling and fuel gas injection”
- [21] Informe técnico: “MAN B&W ME-GI-S y MAN B&W ME-LGI-S para aplicaciones estacionarias”
- [22] Informe técnico: “MAN B&W Dual Fuel Engines – Starting a New Era in Shipping”
- [23] Informe técnico: “Propulsion Trends in Container Vessels Two-stroke Engines”
- [24] Informe técnico: “MAN B&W ME-GI - Dual fuel low speed engine”
- [25] Informe técnico: “Costs and Benefits of LNG as Ship Fuel for Container Vessels”

- [26] Informe técnico: “ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines - A Technical, Operational and Cost-effective Solution for Ships Fuelled by Gas”
- [27] Informe técnico: “QUANTUM 9000 - Two-stroke LNG - By DNV and MAN Diesel & Turbo”
- [28] Informe técnico: “8,500 TEU Container - Vessel Optimization”
- [29] Manual: “Cargo Operation Manual: La Mancha Knutsen”
- [30] Project Guide: “MAN B&W S50ME-C8.5-GI-TII Electronically Controlled Dual Fuel Two-stroke Engines”
- [31] Informe técnico: Introducing ISLA BELLA – World’s First LNG-Powered Containership Launched at NASSCO
- [32] Informe técnico: “Marine Engine - IMO Tier II and Tier III - Programme 2017”
- [33] Guía de producto: “LNG Pack Product Guide”

2.5.2.2. Revistas Técnicas

- [34] Diesel Facts 2013-1
- [35] Diesel Facts 2013-2
- [36] Diesel Facts 2013-3
- [37] Diesel Facts 2014-1
- [38] Diesel Facts 2014-2
- [39] Diesel Facts 2014-3
- [40] Diesel Facts 2015-1
- [41] Diesel Facts 2015-3

[42] Diesel Facts 2016-1

[43] Diesel Facts 2016-2

[44] Diesel Facts 2016-3

2.5.2.3. Enlaces internet

- [45] Página web: “Ingeniero Marino.com” de nuestro compañero Roberto García (13/03/2017)
- [46] Página web: “Vessel Finder” (18/03/2017)
- [47] <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1952/Ruth%20Blanco%20Rodriguez.pdf?sequence=1> (09/04/2017)
- [48] <http://www.motorship.com/news101/Ing/dual-fuel-two-stroke-technology-advances> (25/04/2017)
- [49] <http://primeserv.man.eu/service-solutions/products-solutions/upgrades/primeserv-green/me-gi-conversion> (13/05/2017)
- [50] <http://www.petrotecnica.com.ar/junio12/sinpublicidad/GNL.pdf> (17/05/2017)
- [51] http://www.industriaspesqueras.com/noticias/tecnologia/33567/del_motor_diesel_a_la_propulsion_con_gas.html (19/05/2017)
- [52] <http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/services-documents/White-papers/wartsila-bwp-fuel-efficiency-in-gas-conversions.pdf?sfvrsn=6> (24/05/2017)
- [53] <http://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/gas-solutions/fuel-gas-handling/wartsila-Ingpac> (12/06/2017)
- [54] <http://powerplants.man.eu/docs/librariesprovider7/technical-papers/5510-0169-00ppr.pdf?sfvrsn=22> (19/06/2017)
- [55] <http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/services-documents/learning-center/references/w%c3%a4rtsil%c3%a4-reference-viking-grace.pdf?sfvrsn=0> (22/07/2017)
- [56] <http://maquinasdebarcos.blogspot.com.es/2012/02/el-gas-natural-liquado-Ing-y-la.html> (30/07/2017)
- [57] http://www.abh-empden.com/pdf/1106_Pocket.pdf (14/08/2017)
- [58] <http://www.acdIngpumps.com/msp-sl.html>

- [59] <https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/the-wartsila-gas-valve-unit-enclosed-design-gvu-ed-for-marine-applications>
- [60] <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/instrumentacion/medicion-flujos-pract/item/326-caudalimetros-m%C3%A1sicos-coriolis-principio-de-medicion.html>
- [61] <http://sgmx.mx/productos/gas/>

2.5.3. Programas utilizados

- Microsoft Word 2010
- AutoCad 2016
- Menfis
- EES

2.6. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

A/C:	Aire Acondicionado
ATEX:	Atmosphere Explosive
BOG:	Boil Off Gas
CCU:	Cylinder Control Unit
Código CIG:	Código internacional para la Construcción y el equipo de buques que transporten gases licuados a granel.
COL:	Control Oil Level
CPU:	Central Processing Unit
CSC:	Convenio sobre la Seguridad en buques portacontenedores
DF:	Dual Fuel
DN:	Diámetro Nominal
ECA:	Emission Controlled Area
ECS:	Engine Control System

EES:	Engineering Equation Solver
ELGI:	Electrical Gas Injection
ELWI:	Electrical Window and gas shoot down
ESD:	Emergency Shut Down
FGSS:	Fuel Gas Supply System
FIVA:	Fuel Injection Valve Actuator
FL:	Filling Limit
GVU:	Gas Valve Unit
HCU:	Hydraulic Cylinder Unit
HMI:	Human Machine Interface
IAS:	Integrated Automation System
ICS:	International Chamber of Shipping
LEL:	Limit Explosion Limit
LHV:	Lower Heating Value
LL:	Load Limit
LNG:	Liquefied Natural Gas
MARPOL:	Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los Buques
MDO:	Marine Diesel Oil
MGE:	Main Gas Evaporator
MGO:	Marine Gas Oil
MGV:	Main Gas Valve
MOP:	Main Operator Panel

NG:	Natural Gas
OMI:	Organización Marítima Internacional
ONU:	Organización de las Naciones Unidas
PBE:	Pressure Build-up Evaporator
PLC:	Programmable Logic Controller
RMS:	Remote Monitoring and Support
SOLAS:	Convenio internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar. (“Safety of Lyfe at Sea”)
SSCC:	Sociedades de Clasificación
TCP:	Transmission Control Protocol
TEU:	Twenty-food Equivalent Unit
UNE:	Una Norma Española

2.7. REQUISITOS DE DISEÑO

2.7.1. Legislación, reglamentación y normativa.

La legislación, reglamentación y normativa aplicable se divide en dos tipos, la gubernamental y la no gubernamental.

Al primer grupo pertenecen todos los convenios y códigos que son dictados por los estados u organización de los mismos, y certifican un buque a nivel estatal e internacional.

Al segundo grupo pertenece la normativa dictada por empresas privadas conocidas como Sociedades de Clasificación. Las SSCC son organizaciones que agrupan a un número importante de profesionales , con el objetivo de promover tanto la seguridad de la vida humana en el mar, como la de los buques, así como también la protección del medio marino, asegurando elevados criterios técnicos para el proyecto, fabricación, construcción y mantenimiento de los buques.

En la actualidad existen más de 50 SSCC y cada una de ellas certifica a un buque bajo unos estándares propios y proporciona a los fletadores una clasificación del buque según su calidad.

Para llevar a cabo el retrofit del buque, es necesario cumplir tanto con la normativa gubernamental como la no gubernamental de alguna de las SSCC.

2.7.1.1. Gubernamental

- **Convenio MARPOL 73/78**

El Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, (MARPOL) 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.

Fue desarrollado por la OMI en 1973 aunque no entró en vigor hasta el 2 de octubre de 1983.

En el Convenio figuran reglas encaminadas a prevenir y reducir al mínimo la contaminación ocasionada por los buques, tanto accidental como procedente de las operaciones normales, y actualmente incluye seis anexos técnicos:

- 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 ocasionada por las basuras de los buques
- Anexo VI - Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques

- **Convenio SOLAS:**

El Convenio SOLAS está considerado como el más importante de todos los tratados internacionales relativos a la seguridad de los buques mercantes.

El convenio ha sido actualizado y modificado en numerosas ocasiones. La versión vigente en la actualidad se conoce como "Convenio SOLAS, 1974, enmendado".

El objetivo principal del Convenio SOLAS es establecer normas mínimas relativas a la construcción, el equipo y la utilización de los buques, compatibles con su seguridad. Los Estados de abanderamiento son responsables de asegurar que los buques que enarbolean su pabellón cumplan las disposiciones del Convenio, el cual prescribe la expedición de una serie de certificados como prueba de que se ha hecho así. Las disposiciones relativas a la supervisión permiten también a los Gobiernos Contratantes inspeccionar los buques de otros Estados Contratantes, si hay motivos fundados para creer que un buque dado, y su correspondiente equipo, no cumplen sustancialmente las prescripciones del Convenio, siendo conocido este procedimiento como "supervisión por el Estado rector del puerto". La versión actual del Convenio SOLAS contiene disposiciones por las que se establecen obligaciones de carácter general, procedimientos de enmienda y otras disposiciones, acompañado de un anexo dividido en 12 capítulos.

- Capítulo I - Disposiciones generales
- Capítulo II-1 – Construcción - Compartimentado y estabilidad, instalaciones de máquinas e instalaciones eléctricas
- Capítulo II-2 – Prevención, detección y extinción de incendios
- Capítulo III – Dispositivos y medios de salvamento
- Capítulo IV – Radiocomunicaciones
- Capítulo V - Seguridad en la navegación
- Capítulo VI - Transporte de cargas
- Capítulo VII - Transporte de mercancías peligrosas
- Capítulo VIII - Buques nucleares
- Capítulo IX - Gestión de la seguridad operacional de los buques
- Capítulo X - Medidas de seguridad aplicadas a las naves de gran velocidad
- Capítulo XI - Medidas especiales para incrementar la seguridad marítima
- Capítulo XII - Medidas de seguridad aplicables a los graneleros

- **Convenio sobre la Seguridad en Contenedores (CSC):**

Convenio firmado el 1972 y que entró en vigor el 1977, realizado en el marco de una Conferencia conjunta entre la OMI y la ONU. El tratado tiene dos objetivos claramente diferenciados:

- Seguridad en la manipulación de los contenedores:

Mantener un alto nivel de seguridad en el transporte y la manipulación, dando prescripciones de resistencias, control y prueba. En este último apartado de pruebas para que un contenedor sea aprobado con el sello de la Sociedad de Clasificación (Class) Germanischer Lloyd deberá obtener unos valores 1,5 veces los prescritos por el CSC.

- Fomento del transporte internacional de contenedores:

En lo que se engloban las normas de estandarización y documentación de los propios contenedores en todos los países firmantes, esperando que el contenedor viaje con el mínimo posible de formalidades administrativas.

- **Tanker Safety Guide: Liquefied Gas:**

Guía escrita por la conocida The International Chamber of Shipping (ICS), organización creada en 1921. Se trata de la principal organización naviera del mundo, que representa alrededor del 80 % del tonelaje mercante del mundo, gracias a la afiliación de asociaciones nacionales de armadores. Se ocupa de todas las cuestiones reglamentarias, operacionales y jurídicas.

Una de las actividades principales de la ICS es el organismo consultivo del organismo de las Naciones Unidas encargado de la seguridad de la vida humana en el mar y la protección del medio marino, la OMI.

A diferencia de otras asociaciones comerciales de transporte marítimo internacional, representa los intereses globales de todos los tipos de buques: graneleros, buques cisterna, buques de pasaje, portacontenedores... incluidos armadores y administradores de buques terceros.

La ICS tiene carácter consultivo con varios otros órganos intergubernamentales que afectan a la navegación, entre ellos: la World Customs Organization, la International Telecommunications Union, la United Nations Conference on Trade and Development, y la World Meteorological Organization.

El ICS también tiene relación con organizaciones de la industria que representan diferentes intereses marítimos del transporte marítimo, los puertos, el pilotaje, la industria petrolera, las compañías de seguros y las sociedades de clasificación y es responsable de varias publicaciones en conjunto con el Witherby Seamanship.

Aunque no se trata de una normativa pura, tiene un propósito de proporcionar una serie de recomendaciones de seguridad y de buenas prácticas operacionales a bordo de buques que dispongan de LNG. Tiene 9 capítulos y 8 apéndices:

- Capítulo 1 – Las propiedades y los peligros de los gases licuados.
- Capítulo 2 – Precauciones generales.
- Capítulo 3 – Peligro de incendio y precauciones.
- Capítulo 4 – Operaciones de carga.
- Capítulo 5 – Sistema de carga.
- Capítulo 6 – Espacios cerrados.
- Capítulo 7 – Procedimientos de emergencia.
- Capítulo 8 – Lucha contra incendios.
- Capítulo 9 – Protección personal y medios de salvamento.
 - Apéndice 1 – Información de la carga.
 - Apéndice 2 – El transporte por mar del gas licuado a granel.
 - Apéndice 3 – Re licuefacción.
 - Apéndice 4 – Astilleros y períodos de reparación.
 - Apéndice 5 – Manipulación de la planta y el equipo de carga.
 - Apéndice 6 – Instrumentos.
 - Apéndice 7 – Equipos eléctricos en áreas peligrosas.
 - Apéndice 8 – Altas presiones.

2.7.1.2. No gubernamental

- **Lloyd's Register Documents:**

La Lloyd's Register es una Sociedad de Clasificación y una organización de análisis de riesgos. La SSCC editó el primer Registro de Buques en 1764 para dar tanto a los agentes como a los armadores una idea del estado de los buques que aseguraban y fletaban.

Se trata de la SSCC más antigua, estableciendo reglas diseñadas para aumentar la seguridad y asegurando que los buques se construyan y mantengan de acuerdo con estas reglas.

Nos fijaremos en sus siguientes apartados en la elaboración de nuestro proyecto:

Sección 6 – Diseño del sistema:

- 6.4 Sistema de suministro de gas:
 - 6.4.1 – La línea de suministro principal de gas a cada motor estará equipada con una Válvula Manual de Parada y una válvula Principal de Gas automática en serie. La válvula principal de Gas cortará el suministro de gas automáticamente en caso de una pérdida de gas, detección de incendio, pérdida de la ventilación necesaria, o pérdida de presión en las tuberías de doble pared.
 - 6.4.2 – Para instalaciones con una única fuente de potencia propulsora, en caso de pérdida de suministro de gas, tiene que haber un suministro secundario de fuel separado e independiente. Los motores Dual-Fuel tienen que poder operar a máxima carga continua utilizando únicamente fuel como alimentación.
- 6.5 – Motores alternativos de combustión interna alimentados a gas y turbinas de gas
 - 6.5.7 Los motores Dual-Fuel utilizan un combustible piloto para la ignición y tienen que ser capaces de cambiar inmediatamente a fuel a cualquier carga en caso de que se cierre el suministro de gas y seguir funcionando a fuel continuamente a cualquiera de la carga. Generalmente, el consumo de fuel se lleva a cabo solamente cuando

se arranca, cuando el motor funciona de manera inestable, o en maniobras en puerto.

- 6.5.8 Para motores Dual-Fuel, el cambio a gas tiene que ser posible solo a régimen de carga y bajo condiciones donde se pueda realizar de manera segura. En una bajada de la potencia, tiene que cambiar a Fuel de manera automática. Se podrá interrumpir en cualquier momento de forma manual en todos los casos.

2.8. Introducción al LNG

Para el desarrollo del proyecto se utiliza como combustible el LNG porque es el más adecuado en cuanto a sus características para su consumo en este tipo de motores como NG.

2.8.1. Propiedades físicas y composición del LNG

El Gas Natural es una mezcla de hidrocarburos que, cuando se licúa, forma un líquido incoloro e inodoro. El LNG se suele transportar y almacenar a una temperatura muy cercana a su punto de ebullición a presión atmosférica (aproximadamente -160 °C). Su principal constituyente es el metano, aunque tiene ciertos componentes en menor porcentaje como pueden ser el etano, propano, butano, pentano, nitrógeno...

Una composición típica del LNG y sus propiedades físicas se pueden ver en las siguientes tablas:

	Methane CH ₄	Ethane C ₂ H ₄	Propane C ₃ H ₈	Butane C ₄ H ₁₀	Pentane C ₅ H ₁₂	Nitrogen N ₂
Molecular Weight	16.042	30.068	44.094	58.120	72.150	28.016
Boiling Point at 1 bar absolute (°C)	-161.5	-88.6	-42.5	-5	36.1	-196
Liquid Density at Boiling Point (kg/m ³)	426	544.1	580.7	601.8	610.2	0.8086
Vapour SG at 15°C and 1 bar absolute	0.554	1.046	1.540	2.07	2.49	0.97
Gas Volume/Liquid Ratio at Boiling Point and 1 bar absolute	619	413	311	311	205	649
Flammable Limits in Air by Volume (%)	5.3 to 14	3 to 12.5	2.1 to 9.5	2 to 9.5	3 to 12.4	Non-flammable
Auto-ignition Temperature (°C)	595	510	468	365/500		
Gross Heating Value at 15°C (kJ/kg)	Normal: 55559 Iso: 49404	51916	50367	49530 49404	49069 48944	
Vaporisation Heat at Boiling Point (kJ/kg)	510.4	489.9	426.2	385.2	357.5	199.3

Tabla 2.8.1.1 - Propiedades del LNG [29]

Boiling point at 1 bar absolute	-161.5 °C
Liquid density at boiling point	426.0kg/m ³
Vapour SG at 15°C and 1 bar absolute	0.554
Gas volume /liquid volume ratio at -161.5°C at 1 bar absolute	619
Flammable limits in air by volume	5.3 to 14%
Auto-ignition temperature	595 °C
Higher Specific Energy (Gross Heating Value) at 15°C	5550kJ/kg
Critical temperature	-82.5 °C
Critical pressure	43 bar(a)

Tabla 2.8.1.2 - Propiedades del Metano [29]

	Methane CH ₄	Ethane C ₂ H ₆	Propane C ₃ H ₈	Butane C ₄ H ₁₀	Nitrogen N ₂	C5+	Density (kg/m ³)
Arzew	87.4	8.6	2.4	0.05	0.35	0.02	466
Bintulu	91.23	4.3	2.95	1.4	0.12	0	457
Bonny	90.4	5.2	2.8	1.5	0.07	0.02	453
Das Is	84.83	13.39	1.34	0.28	0.17	0	465
Badak	91.09	5.51	2.48	0.88	0.03	0	N/A
Arun	89.33	7.14	2.22	1.17	0.08	0.01	N/A
Kenai	99.8	0.1	0	0.1	0.1	0	421
Lumut	89.4	6.3	2.8	1.3	0.05	0.05	463
Marsa el Braga	70	15	10	3.5	0.9	0.6	531
Point Fortin	96.2	3.26	0.42	0.07	0.008	0.01	433
Ras Laffan	90.1	6.47	2.27	0.6	0.25	0.03	457
Skikda	91.5	5.64	1.5	0.5	0.85	0.01	451

Tabla 2.8.1.3 – Composiciones típicas del LNG [29]

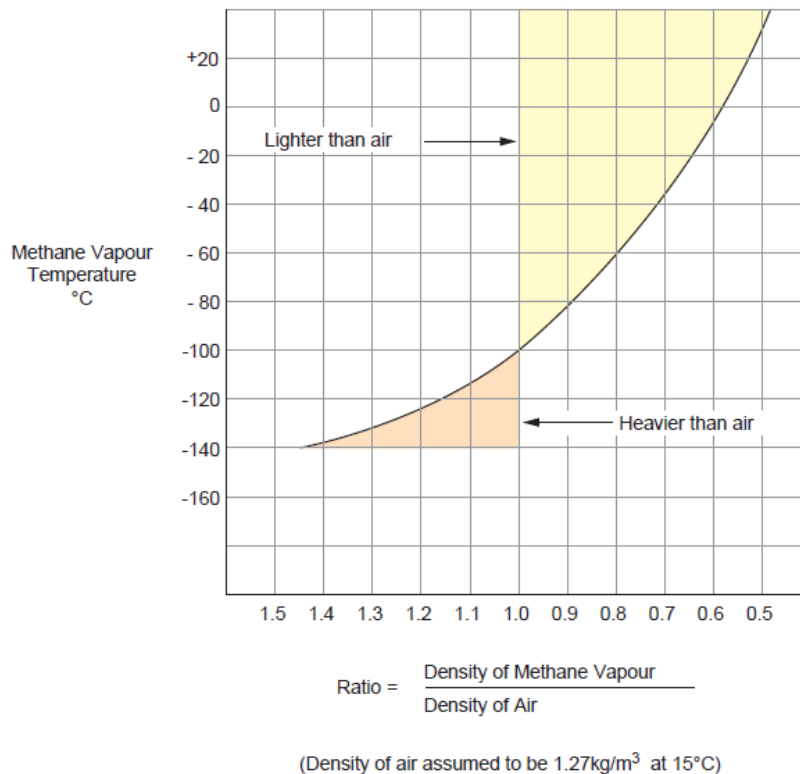
Para la mayoría de los cálculos de ingeniería se pueden asumir las propiedades físicas del metano para representar la totalidad del LNG. Sin embargo, cuando se necesita mayor precisión, por ejemplo, para calcular la densidad o calor que va a producir, es necesario analizar todos los componentes de la mezcla. Durante un viaje normal, el calor se transfiere al LNG a través del aislamiento del que dispone el tanque de cargam produciéndose la vaporización de parte del LNG, lo que llamamos BOG.

La composición del LNG también va a cambiar debido al boil-off generado, porque los componentes más ligeros tienen menor punto de ebullición a presión atmosférica y vaporizarán primero. Por lo tanto, el LNG pasará a tener menos contenido de nitrógeno y metano al ser más volátiles y tendrá mayor porcentaje de etano, propano, butano...

El rango de inflamabilidad del metano en aire (21 % O_2) es aproximadamente entre el 5,3 y el 14 % en volumen. Para reducir el contenido de O_2 a 2 %, se utiliza Gas Inerte antes de cargar el tanque.

En teoría, no se podrá dar una explosión si el contenido de O_2 de la mezcla está por debajo de 13 % sin importar el tanto por ciento de metano, pero por razones de seguridad se baja a más del 2 %.

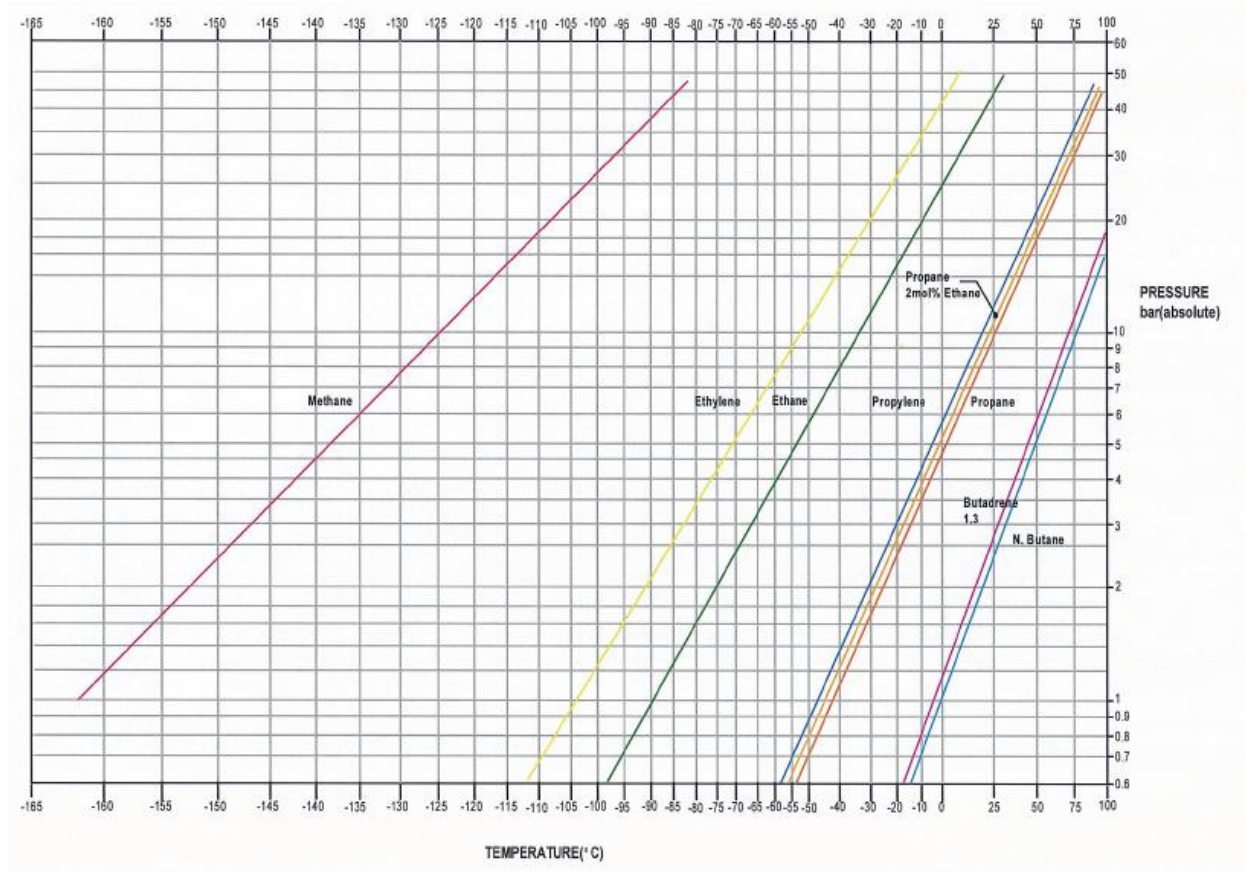
El Boil-off generado es más ligero que el aire cuando se encuentre a una temperatura por encima de aproximadamente -100 °C.



Gráfica 2.8.1.4 - Ratio del LNG respecto a la Tª [29]

La temperatura de autoignición del metano es de 595 °C.

El punto de ebullición del metano aumenta con la presión. La presencia de componentes más pesados que el LNG incrementará su punto de ebullición para una determinada presión. En la siguiente gráfica se muestra el punto de ebullición del metano respecto de la presión.

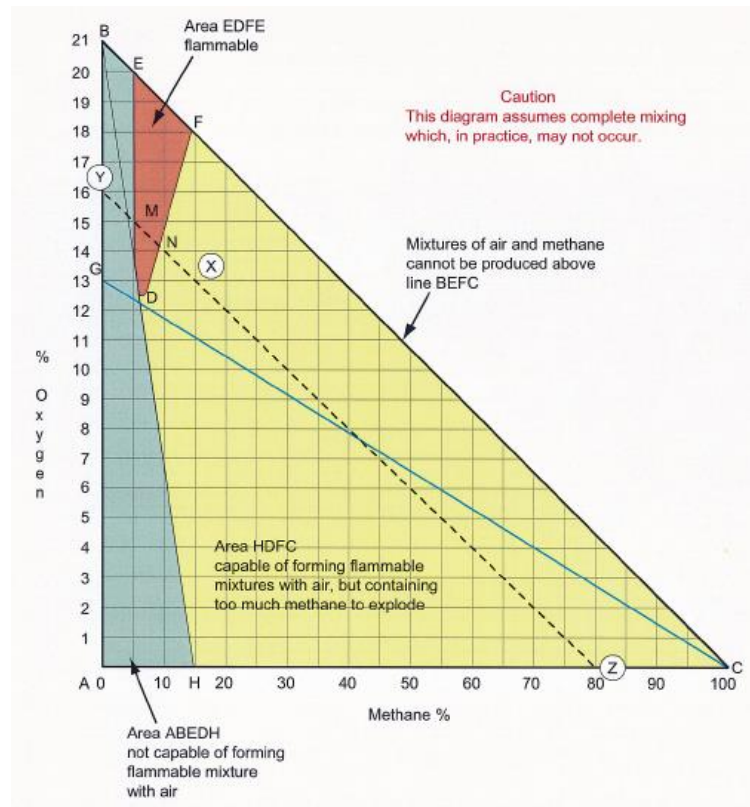


Gráfica 2.8.1.5 – Punto ebullición de componentes del LNG [29]

2.8.2. Características del LNG

2.8.2.1. Inflamabilidad

En todo momento se debe operar para evitar las mezclas de metano y aire. La relación entre la composición gas/aire y la inflamabilidad para todas las posibles mezclas de metano, aire y nitrógeno se muestran en la siguiente gráfica.

Gráfica 2.8.2.1.1 – Inflamabilidad mezclas O_2 , CH_4 y N_2 [29]

El eje vertical A-B representa la mezcla de $O_2 - N_2$ sin tener en cuenta el metano y va desde el 0 % de O_2 (100 % N_2), el punto A, hasta el 21 % O_2 (79 % N_2), punto B. Este último punto representa la composición del aire atmosférico.

El eje horizontal A-C representa las mezclas $CH_4 - N_2$ sin O_2 , que van desde el 0 % de metano (100 % N_2), el punto A; hasta 100 % de CH_4 (0 % N_2), punto C.

Un solo punto en el diagrama dentro del triángulo ABC representa una mezcla de los 3 componentes, metano, oxígeno y nitrógeno, cada uno presente en una proporción del volumen total. Por ejemplo, en el punto D:

- Metano: 6 % (leer sobre el eje C)
- Oxígeno: 12,2 % (leer sobre el eje B)
- Nitrógeno: 81,8 % (el resto)

El diagrama tiene 3 sectores principales:

- La zona inflamable: (Área EDF) Cualquier mezcla cuya composición esté representada por un punto dentro de esta área será inflamable.
- Área HDFC: Cualquier mezcla cuya composición esté representada por un punto dentro de esta área es capaz de formar una mezcla inflamable cuando se mezcla con aire.
- Área ABEDH: Cualquier mezcla cuya composición esté representada por un punto dentro de esta área no formará una mezcla inflamable si se llega a juntar con aire.

Usando el diagrama:

El primer caso que vamos a utilizar partimos del punto Y situado en el eje oxígeno – nitrógeno. Si la mezcla de Oxígeno y nitrógeno de Y se mezclara con la composición del punto Z, la mezcla resultante, representada por X, seguirá en todo momento la línea recta entre estos dos puntos a medida que aumenta la cantidad de Z. En este caso, la recta nos corta la zona inflamable EDF por el punto M de 5,5 % de metano y por el punto N de 9 %.

Aplicando esto en el caso de un inertado del tanque antes del enfriamiento, se asume que el tanque está inicialmente lleno de aire en el punto B. Teóricamente se añade N_2 hasta que el contenido de O_2 se reduce al 13 %, punto G. Al añadir el metano al tanque, la mezcla seguirá la línea que une G con C, tangente al punto D pero sin entrar en la zona inflamable. Si se reduce el contenido de oxígeno a más del 13 % entonces sería seguro el inertado, y por motivos de seguridad, los tanques se inertizan primero hasta un contenido de oxígeno inferior al 2 %.

Si ahora analizamos el caso del que el tanque esté lleno de metano, será inertizado con N_2 antes de su aireación. Como condición en el tanque habrá un 100 % de metano, el punto C. Se introduce nitrógeno al tanque hasta que se reduce el contenido de CH_4 al 14 %, el punto H. Si se añade aire, la composición de la mezcla cambiará a lo largo de la línea HDB, tangencial a D sin atravesar la zona inflamable. Por la misma razón que en el caso anterior, se inertiza más de lo teórico, a menos 5 % de contenido de CH_4 para tener mayor seguridad.

Los procedimientos para evitar la zona inflamable en los tanques y tuberías se resume en lo siguiente:

- Los tanques y tuberías que contienen aire se inertizarán con N_2 antes de ser llenados con metano hasta que todos los puntos de muestra indiquen un 2 % o menos de contenido en O_2 .
- Los tanques y tuberías que contienen metano serán inertizados con N_2 antes de llenar con aire, hasta que todos los puntos de muestra indiquen 5 % o menos de contenido en metano.

2.9. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

En este proyecto se va a optar por una solución del sistema de suministro del combustible al motor de la casa Wärtsillä, denominado LNG Pack.

2.9.1. LNG Pack

El LNG Pack es un sistema completo de suministro de LNG a los buques, con el que se pueden realizar las operaciones de carga, almacenamiento y suministro del gas a los motores. Todo el sistema del LNG Pack constará básicamente de los siguientes equipos:

- Tanques presurizados de almacenamiento del LNG
- Tanque del espacio de conexión
- Vaporizadores del LNG
- Estación de suministro de la carga
- Sistema de control y seguridad

A continuación se muestran varias imágenes de las partes principales del sistema del LNG Pack:

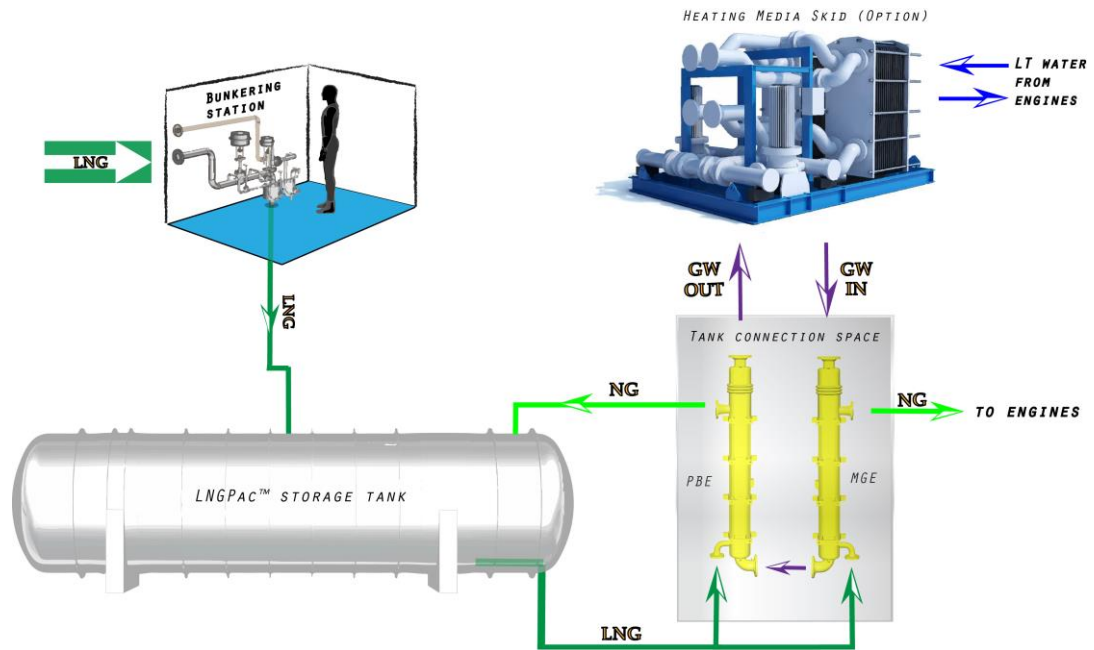


Figura 2.9.1.1 – Esquema del sistema del LNG Pack [33]

A mayores se le pueden añadir mejoras que mencionaremos a continuación:

- **Sistema de aprovechamiento de la baja temperatura del LNG:**

Consiste en un equipo para aprovechar la baja temperatura del LNG para los equipos de aire acondicionado. De esta manera conseguiremos reducir el tiempo de uso de los compresores del sistema de A/C y por lo tanto ahorraremos en el mantenimiento de estos equipos. Además, mediante este sistema se incrementará la temperatura del LNG entre los MGE (Main Gas Evaporator) y la GVU (Gas Valve Unit) mejorando la temperatura de entrada del gas a los motores.

- **Sistema de ventilación**

Este sistema se podrá usar para ventilar el espacio de conexión del sistema del LNG Pack.

- **Air lock:**

Su propósito es asegurarse de proporcionar una estructura segura para la entrada del gas al espacio del tanque de conexión y estará situado bajo la cubierta de la estación de bunker. Añadiendo esto, conseguimos que el espacio comprendido entre la estación de bunker y el tanque del espacio de conexión pueda llegar a

convertirse en una zona peligrosa si existiese una fuga de gas y se mezclase con el aire atmosférico.

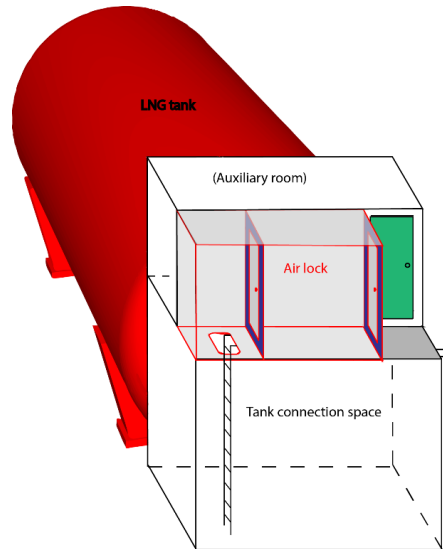


Figura 2.9.1.2 – Disposición del Air Lock [33]

- **Panel del control de la carga**

Este panel se utiliza para monitorizar la operación de carga y se localizará cerca de la estación de bunker. Desde este panel se podrá realizar una parada de emergencia y tiene indicadores de nivel del tanque y presión, para conocer el estado de carga en todo momento. Estos indicadores de nivel y presión del tanque estarán siempre operativos, incluso si este panel se quedara sin suministro de corriente.

- **GVU dentro del tanque del espacio de conexión**

Al situar la Gas Valve Unit dentro del tanque de conexión no se necesita un recinto separado para sus componentes. Cabe destacar que para poder instalarla de esta manera, la distancia entre la GVU y el motor no puede ser más de 10 metros.

- **Línea de retorno de vapor**

Esta línea irá desde el tanque al sistema que suministre el combustible, ya sea una terminal, buque o camión y para poder utilizarla, los suministradores del LNG tienen que tener conexión para este retorno de gas. Mediante este sistema, cuando estamos cargando, el vapor que se genera en los tanques retornará a al

suministrador, reduciendo la resistencia al flujo de entrada y por lo tanto el tiempo de carga.

- **Bomba de LNG**

Esta bomba puede reemplazar al vaporizador de control de presión del tanque de almacén, y reduce la presión de diseño del tanque. Esta bomba puede estar situada dentro del tanque del espacio de conexión o dentro del propio tanque de almacén. En las siguientes imágenes se muestran las 2 alternativas:



Figura 2.9.1.3 - Bomba en Tanque del espacio de conexión [33]

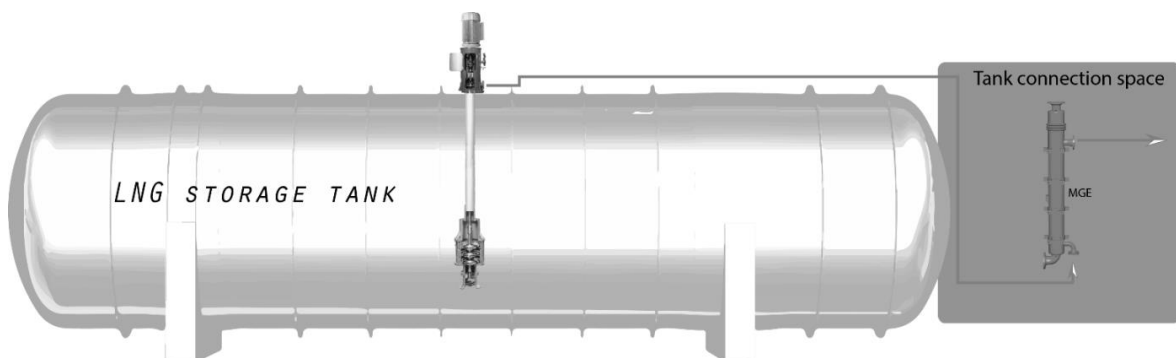


Figura 2.9.1.4 – Bomba en interior del tanque de LNG [33]

- **Medidor del flujo de gas**

Este medidor se puede incorporar al LNG Pack para controlar el consumo de gas del buque. Indicará la medición del flujo másico del gas que va a los motores y su funcionamiento se basa en el efecto de coriolis que se explicará más adelante.

- **RMS (Remote Monitoring and Support)**

El sistema de control remoto permite una asistencia a distancia realizada por profesionales en caso del fallo del equipo. Para poder instalar este sistema, se requiere una conexión a internet en el buque.

2.9.1.1. Sistema de almacenamiento del LNG

El sistema de almacenamiento del LNG Pack incluye el tanque de almacenamiento del LNG y los vaporizadores, así como todas las válvulas necesarias e instrumentación.

Las válvulas automáticas de este sistema se utilizan para regular el flujo de combustible a los vaporizadores. Principalmente tendremos dos vaporizadores en el sistema:

- MGE (Main Gas Evaporator): se encarga de vaporizar el LNG aprovechando la temperatura del circuito de calefacción de agua-glicol, convirtiéndolo el NG para poder quemarlo en el motor principal.
- PBE (Pressure Build-up Evaporator): Su función principal es regular la presión en el interior del tanque de LNG, vaporizando parte del LNG y devolviéndolo al tanque, para así enfriarlo y regularle la presión.

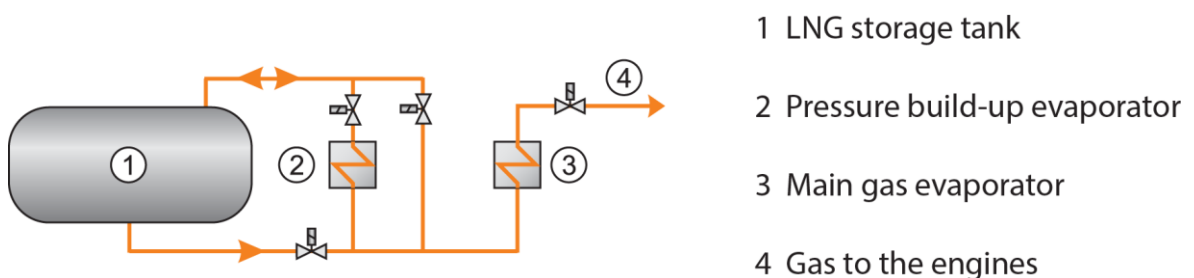


Figura 2.9.1.1.1 – Circuito de los vaporizadores [33]

2.9.1.1.1. Tanque presurizado de LNG

El Código CIG identifica 5 tipos de tanques para el almacenamiento del LNG:

- Tanques independientes: Tipo “A”, “B” y “C”.
- Tanques de membrana
- Tanques de semi-membrana
- Tanques integrales o estructurales
- Tanques de aislamiento interno

Como el tanque que se va a instalar en el proyecto pertenece al tipo independiente, nos pararemos a explicar sus características principales.

2.9.1.1.1. Tipos de tanques independientes

Pertencen a este grupo, los tanques que son autosoportantes y no forman parte del casco del buque ni contribuyen a su resistencia. Existen 3 tipos de tanques independientes, como ya mencionamos anteriormente, y cada tipo se diferenciarán básicamente de la presión de proyecto del mismo.

- Tanque independiente tipo “A”

La forma de estos tanques es de tipo prismática para aprovechar el espacio de carga, tiene las paredes planas y están hechos en acero con aleación de níquel, por su buena resistencia a las bajas temperaturas de la carga.

Estos tanques no están diseñados para soportar altas presiones y normalmente se trabajará con presiones cercanas a la atmosférica, siendo la presión máxima de vapor de diseño 0,7 bar.

Este tipo de tanques está proyectado para gaseros que transporten cargas totalmente refrigeradas, por lo que llevarán aislamiento y una barrera secundaria completa de contención para proteger el casco de las bajas temperaturas. El aislamiento estará formado por paneles de espuma de poliuretano de 120 mm con recubrimiento de 5 mm de chapa de aluminio y un espacio entre paneles de 10 mm que se rellena con tiras de espuma recubierta de cinta adhesiva llamada Teroson.

En el espacio localizado entre la barrera primaria y la secundaria se tiene que mantener una atmósfera inerte en caso de transportar productos inflamables para evitar atmósferas explosivas, o de aire seco en caso de transportar producto no inflamable. Si se diera el caso de una fuga en la barrera primaria, la secundaria tiene que contenerla como mínimo un período de 15 días.

- Tanques independientes tipo “B”

Los tanques tipo “B” o tipo Moss Rosenberg tienen forma esférica, siendo los cálculos de diseño más complejos que los de tipo “A” porque tienen en cuenta los distintos tipos de esfuerzos a los que están sometidos, empleándose modelos a escala y sistemas analíticos.

Como en los anteriores, se emplearán para el transporte de carga totalmente refrigerada y a presión cercana a la atmosférica, siendo la presión de diseño máxima 0,7 bar.

Resultan más económicos porque sólo necesitan una barrera parcial y el espacio inter-barrera deberá llenarse de gas inerte seco o aire seco en función de la inflamabilidad de la carga siempre que el sistema sea capaz de inertizar el espacio en caso de que hubiese una fuga de vapor inflamable.

En cuanto al aislamiento tiene de dos capas, la primera es una espuma de resina de fenol-formaldehído, y la segunda capa está formada por espuma de poliuretano. La estructura del aislamiento está reforzada con una malla de cable y esta a su vez está recubierta con hojas de aluminio

- Tanques independientes tipo “C”

Los tanques independientes tipo “C” son recipientes a presión de forma cilíndrica o esférica diseñadas para soportar presiones de vapor superiores a 2 bar. Estos tanques pueden montarse de forma vertical u horizontal en función del diseño y se podrán instalar sobre cubierta, como es el caso de nuestro proyecto.

Como en los dos casos anteriores, el espacio inter-barrera podrá ser rellenado con gas inerte o con aire seco dependiendo si la carga es o no inflamable.

En estos tanques, el combustible puede transportarse parcialmente presurizado o semi-presurizado/refrigerado. Son los empleados en buques gaseros semi-presurizados y totalmente presurizados, por lo que siguen las normas constructivas que se aplican a los recipientes a presión, lo que implica un estudio de tensiones preciso para evitar futuros daños.

2.9.1.1.1.2. Tanque del LNG Pack

Los tanques que vamos a instalar, será de tipo independiente de IMO tipo C, de doble pared y aislamiento interno mediante vacío y perlita. La cubierta bajo el tanque tendrá que ser de acero que soporte una temperatura de al menos -40 °C.

Consta de un tanque interior con presión interna, en contacto con la carga que actúa como barrera primaria y recubriendo a este, una carcasa exterior que actúa como barrera secundaria.



Figura 2.9.1.1.1.2.1 – Tanque del LNG pack [33]

El espacio inter-barrera contendrá vacío que hará la función de aislante. El sistema consta de una conexión para hacer el vacío y otra para su medición situadas en el espacio del tanque de conexión y tendrá un dispositivo de seguridad que previene la acumulación de presión entre las dos barreras. La siguiente imagen muestra el sistema que lleva instalado.

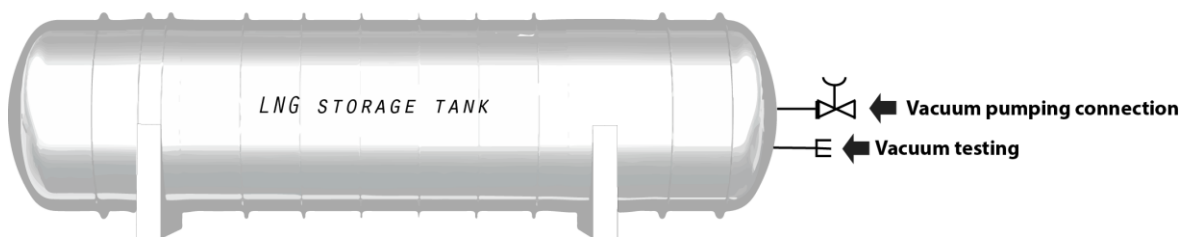


Figura 2.9.1.1.1.2.2 – Sistema de vacío inter-barrera [33]

En el caso de que fallase la barrera primaria del tanque, la secundaria tendría que resistir como mínimo 21 días consecutivos sin tener que abrir la válvula de seguridad, estando el tanque al límite máximo de carga de acuerdo al Código CIG, en la condición teórica de que todo el LNG se encuentre homogéneamente saturado.

Las características principales del tanque de LNG se muestran en la siguiente tabla:

Presión de diseño del tanque (P_0)		$P_0 = 6 - 9$ bar
Test de presión hidrostática del tanque		Por lo menos, $1,5 * P_0$
Presión nominal del tanque		6 bar
Tipo de aislamiento		Vacío + barrera de perlita
Tanque interno	Tª de diseño	-165 °C / +45 °C
	Material	Acero inox AISI 304 o 304L
Carcasa exterior	Tª de diseño	-165 °C / +45 °C
	Material	Acero inox AISI 304 o 304L
Densidad del LNG de diseño		470 kg/m^3

Tabla 2.9.1.1.1.2.3 – Características principales del tanque de LNG [33]

Tamaño del tanque y localización:

Los dos tanques estarán situados a popa del buque, por lo que perderá algo de capacidad de almacenamiento de contenedores. Se va a optar por la solución que se tomó con los portacontenedores de la compañía Tote como se muestra en la siguiente imagen:

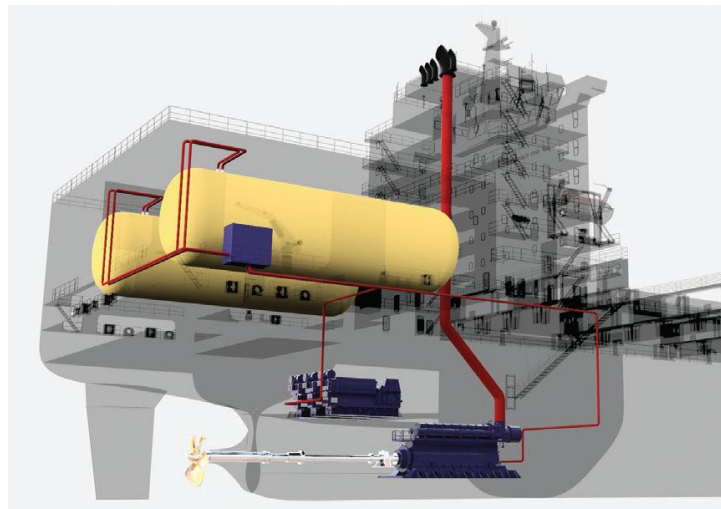


Figura 2.9.1.1.1.2.4 – Disposición del tanque del LNG pack [31]

Tomando medidas sobre el plano 5, vemos que disponemos de aproximadamente 25 m de largo libres en popa y aproximadamente 27 m de ancho. Hay que tener

en cuenta el tamaño del espacio del tanque de conexión, que para este proyecto se utilizará el tamaño grande, pudiendo verse las medidas en el Anexo II. El tanque de conexión tiene 2,8 m de largo, y al tener 25 m en total nos quedarían para los tanques aproximadamente unos 22 m.

Para escoger el tamaño adecuado del tanque de LNG tenemos que ir al Anexo I, en el que disponemos de las tablas correspondientes, teniendo en cuenta los días entre la carga y la potencia del buque. Mirando en la tabla del Anexo I, como el buque tiene una potencia de 13.280 kW, tendremos que ir a la última columna de la tabla. Ahora suponemos que se va a estar entre Bunker unos 10 días, por lo que nos sale un volumen del tanque de unos 1704 m³. Al utilizar 2 tanques para almacenarlo, nos sale un volumen de cada tanque de 852 m³.

Como disponemos de unos 22 metros para el largo del tanque (A), suponemos que el tanque va a ser de 20 metros (A) para dejar 2 metros libres.

Con estos datos calcularemos el valor del diámetro del tanque, explicado más adelante en el Anexo III y será de C = 7,365 m.

Límite de llenado del tanque:

El límite máximo de carga (LL = "Load Limit"), es el volumen máximo de líquido que se puede rellenar al tanque y se calculará en base al límite máximo de llenado (FL = "Filling Limit") a una temperatura de referencia.

Sin embargo, gracias al buen aislamiento de los tanques, la probabilidad de que la carga se caliente debido a una fuente externa de calor es muy baja, y combinado con el sistema de acumulación de presión y el consumo de combustible de los motores hace posible que en algunos casos este límite de carga sea del 95 %.

Para el cálculo máximo de carga se utilizará la siguiente ecuación:

$$LL = FL * \frac{\rho_R}{\rho_L} \quad (2.9.1.1.1.2.)$$

Siendo:

- LL = "Loading limit"
- FL = "Filling Limit"

- ρ_R = Densidad relativa de la carga a una temperatura de referencia
- ρ_L = Densidad relativa de la carga a la temperatura y presión a la que se hace el bunker.

2.9.1.2. Bomba Criogénica HP

La bomba alternativa de alta presión MSP-GU de la marca ACD Cryo está diseñada para suministrar un flujo variable y a alta presión con alta eficiencia para el abastecimiento de combustible a bordo de los motores de barcos LNG. Estas bombas son adecuadas para el suministro del LNG a los motores ME-GI de 2 tiempos porque su rango de presiones va hasta los 350 bar.

En la siguiente gráfica se muestra el modelo que tenemos que emplear dependiendo del motor que tengamos en el buque y del número de cilindros.

S50ME-C8	kW	Kg/h	Max bar	Duty Type	HP Model Type	Cold End Bore Size
5 cyl	8.300	1.204	350	Short run	MSP-SG	50 mm
6 cyl	9.960	1.444	350	Short run	MSP-SG	50 mm
7 cyl	11.620	1.685	350	Médium run	MSP-GU	51 mm
8 cyl	13.280	1.926	350	Médium run	MSP-GU	51 mm
9 cyl	14.940	2.166	350	Médium run	MSP-GU	51 mm

Tabla 2.9.1.2.1 – Elección del modelo de la bomba [58]

En nuestro caso el motor es el MAN B&W S50ME-C8 por lo tanto obtenemos de la gráfica que el modelo adecuado para nuestro proyecto es el MSP-GU y nos suministrará un caudal de 1.926 kg/h.

El MSP-GU cuenta con un diseño mejorado que permite temperaturas más frías durante el funcionamiento y cojinetes de bronce para una mayor vida útil.

Cada parte de la bomba está diseñada para facilidad de operación y mantenimiento en caso de producirse cualquier avería.

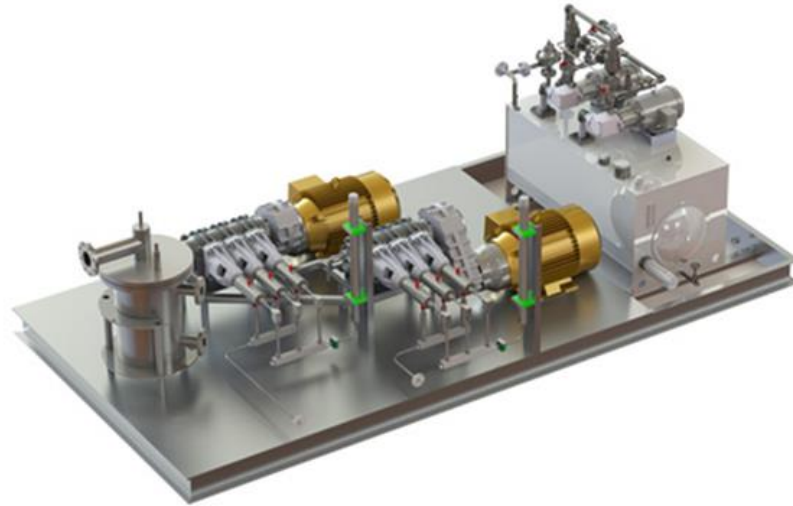


Figura 2.9.1.2.2 - Sistema con 2 bombas MSP-GU [58]

2.9.1.3. Espacio del tanque de conexión

Todo el equipamiento criogénico de operación habitual irá instalado dentro del espacio del tanque de conexión, y se podrá acceder al mismo para operaciones de mantenimiento e inspección a través de un paso de hombre estanco al gas.

Este tanque de conexión irá soldado a la carcasa exterior del tanque del LNG y estará construido en acero austenítico que actuará como barrera secundaria.

Está diseñado de tal manera que se tiene un control absoluto sobre el proceso durante toda la operación sin necesidad de acceder a su interior. Y en caso de que nos quedáramos sin suministro de corriente, este pararía el proceso de forma automática y segura.

Existen 3 tamaños del espacio del tanque de conexión dependiendo de la potencia de los motores del buque y en el anexo II se muestran sus dimensiones principales.

El tanque de conexión tendrá las siguientes aberturas para los siguientes equipos:

- Línea de bunker
- Entrada y salida de la ventilación
- Suspiro del venteo de gas
- Entrada y salida de la calefacción a los evaporadores
- Conexión para la salida de gas a los motores

- Cable eléctrico
- Conexión de nitrógeno
- Caja de válvulas solenoides
- Escotilla de paso de hombre estanca

2.9.1.3.1. MGE (Main Gas Evaporator)

Los vaporizadores principales se encuentran dentro del tanque del espacio de conexión y vaporizan el LNG para suministrar el gas a la GVU (Gas Valve Unit).

Estarán en funcionamiento siempre que el motor esté navegando en modo GAS y en ellos, el LNG se vaporiza y calienta a una temperatura adecuada debido a la entrada de calefacción del circuito de agua-glicol, siendo esta a su vez calentada por el agua de refrigeración del motor principal.

Los vaporizadores reciben el LNG de la parte baja del tanque, pasando este por la bomba de alta presión que aumenta la presión hasta aproximadamente unos 300 bar. El sistema de vaporización incluye también las conexiones para ventilación y suministro de gas inerte, una válvula de seguridad por presión y sensores para controlar la temperatura.

El MGE se pondrá en servicio cuando se actúe la válvula principal de gas (MGV), la cual será actuada neumáticamente. El LNG será forzado a pasar por los vaporizadores, mediante las bombas de alta presión e instantáneamente en LNG se vaporizará y fluirá como gas a la GVU que va a regular el caudal y la presión a la que se suministrará el GN a los motores.

En la siguiente imagen se muestra todo el sistema del vaporizador principal de gas.

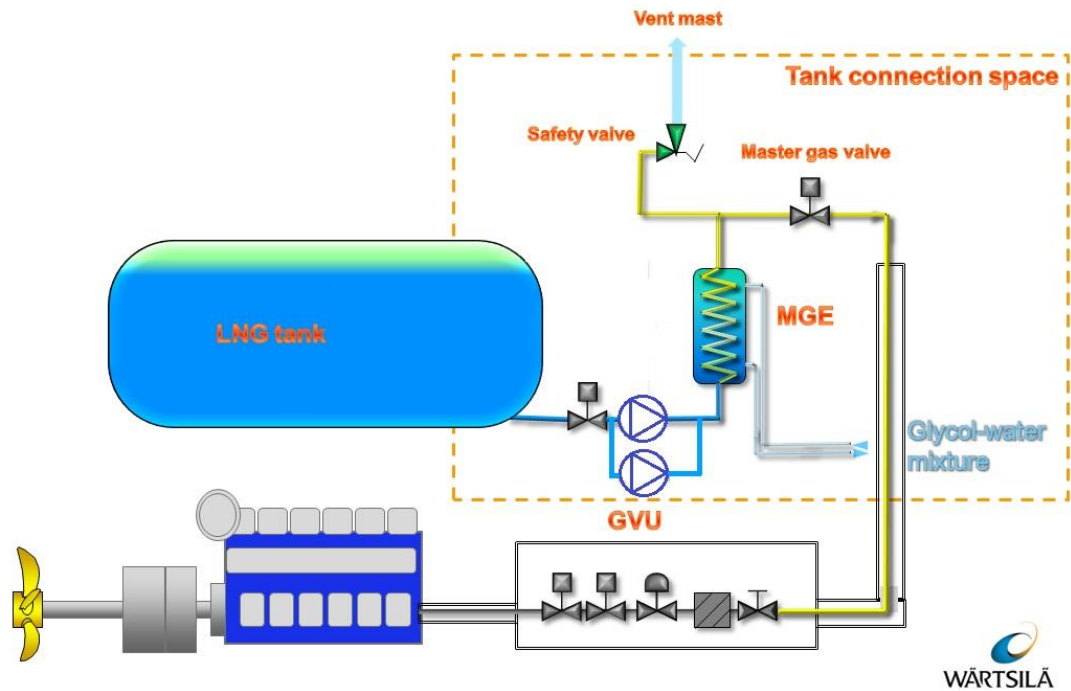


Figura 2.9.1.3.1.1 – Sistema del MGE [33]

En la siguiente tabla se muestran los valores aproximados que se van a alcanzar en el vaporizador principal de gas dependiendo del tamaño del tanque del espacio de conexión:

MGE		Small tank connection space	Medium tank connection space	Large tank connection space
Max. evaporator heating power	kW	280	430	650
Glycol-water flow	m^3/h	98	98	145
Glycol-water inlet temp.	°C	30	30	30
Glycol-water outlet temp.	°C	27	25,3	25,2
Glycol-water pressure drop	kPa	72	94	95
LNG temp. at evaporator inlet	°C	-162	-162	-162
Gas temp. at evaporator outlet	°C	+10	+10	+10
Max. gas flow from evaporator	kg/s	0,33	0,5	0,76
Connections				
LNG inlet flange	ASME	2"	2"	2 1/2"
NG outlet flange	ASME	3"	3"	4"
GW inlet & outlet flange	ASME	4"	4"	5"

Tabla 2.9.1.3.1.2 – Datos técnicos del MGE [33]

2.9.1.3.2. PBE (Pressure Build-up Evaporator)

El Pressure Build-up Evaporator incrementará la presión del tanque de carga al valor de set point después de que se efectúe la carga. También mantiene la presión en el tanque incrementándola intermitentemente a medida que nos baja la presión por el consumo del NG del motor principal. La presión normal de trabajo del tanque será de como máximo unos 6 bar.

El sistema del PBE incluye conexiones para el venteo y alimentación de gas inerte, una válvula de seguridad y sensores de temperatura.

Como se puede apreciar en la imagen que aparece a continuación, el LNG del PBE se calienta mediante el circuito de agua-glicol después de que este pase por el MGE, dando como resultado la vaporización del LNG. Al introducir el LNG vaporizado al tanque, absorberá calor del tanque dando como resultado el enfriamiento de la carga y la subida de la presión del tanque por mayor cantidad de NG en el mismo.

El flujo de LNG al vaporizador y el flujo de gas de retorno al tanque se controlarán mediante válvulas automáticas.

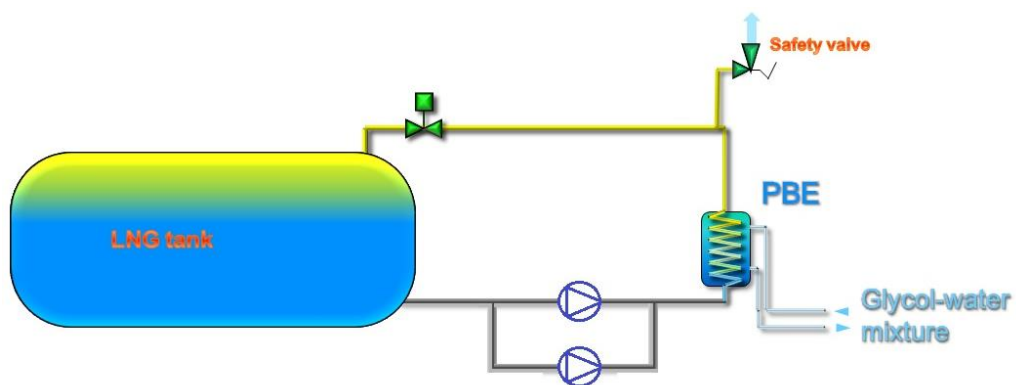


Figura 2.9.1.3.2.1 – Sistema del PBE [33]

En la siguiente tabla se muestran los valores aproximados que se van a alcanzar en el vaporizador que regula la presión del tanque dependiendo del tamaño del tanque del espacio de conexión:

PBE		Small tank connection space	Medium tank connection space	Large tank connection space
Max. evaporator heating power	kW	231	386	701
Glycol-water flow	m^3/h	98	98	145
Glycol-water inlet temp.	°C	27	25,3	25,2
Glycol-water outlet temp.	°C	24,4	21,1	20,1
Glycol-water pressure drop	kPa	72	94	95
LNG temp. at evaporator inlet	°C	-162	-162	-162
Gas temp. at evaporator outlet	°C	-60	-60	-60
Connections				
LNG inlet flange	ASME	1"	2"	2"
NG outlet flange	ASME	3"	3"	4"
GW inlet & outlet flange	ASME	4"	4"	5"

Tabla 2.9.1.3.2.2 – Datos técnicos del PBE [33]

2.9.1.3.3. Válvulas

El flujo de LNG y combustible gaseoso se controla mediante unas válvulas automáticas situadas en el tanque del espacio de conexión. Todas las válvulas de las que dispone el equipo se enumeran a continuación:

- Válvula de aislamiento principal

Según la Sociedad de Clasificación, la válvula de aislamiento principal tiene que estar lo más cerca posible del tanque. Una vez que el tanque del espacio de conexión está soldado al tanque del LNG y todas las tuberías que comunican ambos montadas, la válvula de aislamiento principal se monta directamente a la salida de la parte baja del tanque del LNG y dispone de un sistema neumático de control remoto para cortar el suministro de LNG al sistema.

- Válvulas de aislamiento manuales

Es necesario disponer de válvulas manuales de aislamiento para cuando se hagan trabajos de inspección y mantenimiento dentro del tanque del espacio de conexión, para así trabajar de forma segura en el interior.

- Válvulas actuadas de forma remota.

Todas las válvulas del proceso en el interior del tanque del espacio de conexión serán actuadas neumáticamente a distancia, desde el control, sin tener que entrar al tanque de conexión para accionarlas.

- Válvulas combinadas manuales y neumáticas:

También dispone de válvulas actuadas neumáticamente con actuador manual. Una de ellas estará situada en la tubería de entrada de suministro a la estación de Bunker y otra en el tanque del espacio de conexión antes del evaporador principal "MGE".

Si hubiese que hacerle mantenimiento a estas válvulas, se pueden asegurar de forma manual en la posición de cerrada, y tendrá un bloqueo que no dejará abrirla de forma remota.

- Válvulas de seguridad:

Las válvulas de seguridad serán válvulas de alivio de presión instaladas en la última línea de defensa, para liberar el exceso de presión en el tanque o en el sistema de tuberías si se incrementase bruscamente por motivo de incendio externo u otras causas y estarán conectadas a un mástil de venteo.

Para el tanque del LNG tendremos instaladas 2 válvulas de seguridad de igual medida, capaces de aliviar el exceso de presión. Estas válvulas están equipadas con válvulas de corte a la entrada y salida de la válvula de seguridad, con el fin de poder aislarlas para cambiarlas en caso de mal funcionamiento o para hacerles un test de presión de apertura. Estarán taradas a la presión de diseño de vapor del tanque.

Para cada vaporizador habrá también una válvula de seguridad y el resto de válvulas tendrán distintas presiones de apertura dependiendo del sistema que protejan.

2.9.1.4. GVU (Gas Valve Unit)

Las principales funciones de la GVU son regular la presión de alimentación de gas al motor (300 bar) y asegurar un cierre rápido y fiable del suministro de gas en caso de fallo.

Este último requisito se especifica en las directrices sobre seguridad para las instalaciones de los motores a GN a bordo de buques (código IGF), en las que se establece que cada equipo de gas debe disponer de un conjunto de válvulas de doble bloqueo y purga.

Las válvulas de bloqueo doble y de purga se componen de dos válvulas de cierre rápido y una válvula de ventilación entre las de cierre rápido. Las dos válvulas de bloqueo proporcionan redundancia completa ya que se instalan en serie y además, las válvulas serán accionadas neumáticamente y se cerrarán en caso de pérdida de potencia o de suministro de aire. La válvula de ventilación está siempre abierta cuando las válvulas de bloqueo están cerradas.

Para los motores, la presión de suministro de gas tiene que ajustarse dentro de un rango de presiones, dependiente de la carga mediante una válvula de control. Cuanto menor sea la distancia entre la válvula de control de presión y la GVU más rápido será tiempo de respuesta del sistema durante las condiciones transitorias, tales como las fluctuaciones de la carga del motor.

Antes de iniciar los trabajos de mantenimiento en el motor o en la GVU, se requiere que el gas residual en los mismos se elimine sustituyéndolo por un gas inerte, por ejemplo nitrógeno. El proceso de inertización de la GVU garantiza que el gas natural no pueda filtrarse a las áreas circundantes, eliminando así los riesgos de explosión.

Limitaciones con los diseños existentes de la GVU

Si una tubería de gas de una sola pared pasa a través de una sala bajo la cubierta, esta pasa a ser una zona peligrosa.

Para cumplir con los requisitos de las normativas, tradicionalmente había que situar la GVU en una sala única para la misma, separada de cualquier otra y siendo completamente hermética al gas cumpliendo los siguientes requisitos:

- Todo el equipo eléctrico debe cumplir los requisitos ATEX para áreas peligrosas, Zona 1.
- Debe instalarse un bloqueo de aire en la entrada de la sala GVU, con dos puertas de cierre automático de clase ATEX. El bloqueo de aire tiene que ser lo suficientemente grande como para que una persona pueda pasar, con sólo una puerta abierta al mismo tiempo.
- Se requieren grandes ventiladores de ventilación ATEX redundantes para la sala GVU.
- El ventilador tiene que asegurar suficiente presión para la sala GVU, y debe haber tubería de doble pared a la entrada y salida de la sala.
- La presión máxima que puede llegar a alcanzarse en caso de rotura de una tubería de gas debe estar perfectamente calculada.
- Se debe realizar un análisis de riesgo del sistema (HAZID)

Cumplir con todos estos requisitos resulta complicado, sobre todo para pequeños buques como puede ser el del proyecto.

Sin embargo, debido al número de válvulas diferentes requeridas en una GVU, cuando se fabrican con componentes estándar disponibles en el mercado, el tamaño físico de la unidad resulta muy grande con lo que sería necesario un gran espacio libre disponible para la misma por lo que actualmente no se utiliza este sistema en nuevas construcciones.

Wärtsilä GVU-ED - Enclosed Design

Este diseño es el que se va a utilizar en el proyecto y se distingue de los diseños anteriores por tener una carcasa hermética alrededor de los componentes del proceso como las válvulas, los actuadores y los sensores. Debido al diseño de la carcasa, se pueden aplicar los mismos principios que se utilizan en las tuberías de doble pared. El recinto forma una segunda barrera hermética contra cualquier fuga imprevista de gas. Por lo tanto, la GVU-ED como tal, formará parte del sistema de tubería de doble pared ventilada del buque.

Dado que el equipo relacionado con el gas está contenido dentro de la unidad, la Wärtsilä GVU-ED se puede instalar en la sala de máquinas junto al motor, de manera similar a otros equipos auxiliares.

Como no se requiere salas específicas para la GVU, se ahorra espacio, consiguiendo ahorros en la arquitectura del sistema de control, donde el armario de control y de válvula solenoide está montado directamente en la unidad y se ahorra económicamente. La funcionalidad completa de la GVU-ED es controlada por el sistema de control incorporado que se basa en el hardware Wärtsilä Unic que mediante señales lógicas del sistema de control, las solenoides controlan las válvulas accionadas neumáticamente dentro del recinto.

Además, se monta un panel HMI (Human Machine Interface) en el armario de control, desde donde se pueden controlar los siguientes parámetros:

- Estado actual del GVU-ED
- Posiciones de válvulas y lecturas de los sensores
- Historial de alarmas
- Posibles alarmas activas

El volumen a ventilar y la capacidad de los ventiladores se reduce significativamente, comparado con las grandes salas utilizadas anteriormente, permitiendo una detección más rápida y más temprana incluso de las fugas de gas más pequeñas. Mediante la instalación selectiva de los sensores de detección de gas en las líneas de suministro, se simplifica la identificación de la fuente y la ubicación de posibles fugas.

Resumiendo, los beneficios de este sistema serán:

- Módulo GVU completo
- Se puede instalar en la sala de máquinas junto al motor
- Sistema de control integrado en el módulo
- Comprobación del sistema antes de la entrega
- Instalación más sencilla, sólo serán necesarias conexiones externas y señales
- Óptimo para la llevar a cabo un retrofit ya que no se necesita una sala para situarla.
- Espacio de instalación reducido
- Reducción de las salas peligrosas
- Conductos de ventilación más pequeños, integrados con el sistema de tuberías de doble pared

- Capacidad de ventilador de extracción menor

Alternativas de configuración GUV-ED:

La última generación de GUV-ED tiene un nuevo conjunto de configuraciones alternativas que cambian el diseño para adaptarse a las circunstancias de la instalación de la manera más beneficiosa. La segunda generación de GUV-ED son diseños verticales, en los cuales la mayor dimensión está en posición vertical para ocupar el menor espacio horizontal posible.



Figura 2.9.1.4.1 – Configuración horizontal de la GUV [59]



Figura 2.9.1.4.2– Configuración vertical de la GUV [59]

La GUV-ED consta de cuatro tamaños diferentes, dependiendo del consumo de gas requerido para la instalación del motor. Los tamaños de GUV-ED son DN50, DN80, DN100 y DN125 referidos a las dimensiones internas del tubo de gas.

El diseño básico interno y externo se mantiene igual para los cuatro tamaños. Las diferencias se encuentran en el tamaño de la tubería y los componentes.

Dependiendo de las propiedades del gas natural, cuando el valor de calentamiento (LHV) del GN sea menor, el hardware de la GVU-ED™ está optimizado para que permita un mayor flujo de volumen de gas y compensar esta variación. Y cuando este valor del combustible sea mayor, de la misma manera compensará esta circunstancia reduciendo el flujo de gas al motor.

Versión de acero inoxidable GVU-ED

La versión estándar viene siempre con una buena protección contra la corrosión. Además de lo anterior, ahora hay una versión opcional completamente de acero inoxidable, es decir, todos los componentes en contacto directo con el gas natural están hechos de acero inoxidable. Se recomienda usar esta versión siempre que la GVU-ED funcione con gas húmedo. Este es el caso, por ejemplo, de todas las instalaciones Wärtsilä Gas Reformer pero en nuestro caso no será necesario ya que funciona siempre con GN seco.

GVU-ED con medidor de caudal másico

Como nueva opción estándar, se puede instalar un medidor de caudal másico para medir el gas a través de la válvula GVU-ED. El medidor de caudal másico de Coriolis proporciona una indicación mucho más precisa de la energía suministrada al motor en comparación con mediciones indirectas de caudal volumétrico, incluso cuando se compensan la temperatura y la presión.

En lugar de una velocidad angular constante, el sensor utiliza oscilaciones. En el sensor, dos tubos paralelos que contienen fluido oscilan en fases contrarias.

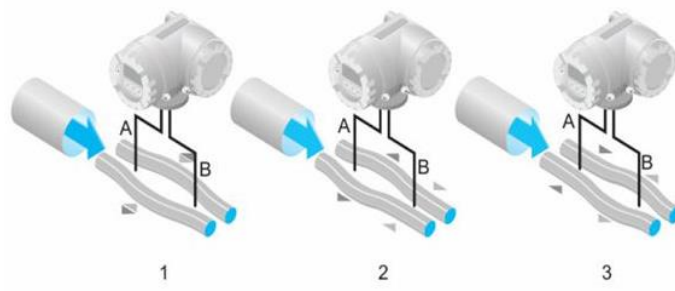


Figura 2.9.1.4.3 – Caudalímetro efecto Coriolis [60]

A caudal cero, cuando el fluido está en reposo, no hay movimiento lineal y por lo tanto, no se observan fuerzas de Coriolis.

Por el contrario, cuando la masa de fluido circula, el movimiento inducido por la oscilación (equivalente a una rotación) del tubo de medición se superpone al movimiento lineal del fluido en circulación, los efectos de la fuerza de Coriolis retuercen los tubos de medición, y los sensores a la entrada y a la salida registran una diferencia de tiempos en este movimiento, es decir, una diferencia de fase. Cuanto mayor sea el caudal másico, mayor será la diferencia de fase.

Cuando el fluido circula, las partículas de masa se mueven a lo largo del tubo de medición y están sometidas a una aceleración lateral sobrepuesta debida a las fuerzas de Coriolis. A la entrada del tubo, las partículas de masa experimentan un desplazamiento que las aleja del centro de rotación, y regresan de nuevo al centro a medida que se aproximan al extremo de salida. Las fuerzas de Coriolis actúan en sentidos opuestos a la entrada y a la salida y el tubo de medición empieza a torcerse. Este cambio de geometría en la oscilación inducida en el tubo de medición se registra en los sensores (A, B) a cada extremo del tubo como una diferencia de fase. Esta diferencia de fase ($\Delta\omega$) es directamente proporcional a la masa del fluido y a la velocidad de circulación (v) del mismo; por lo tanto también al caudal másico.

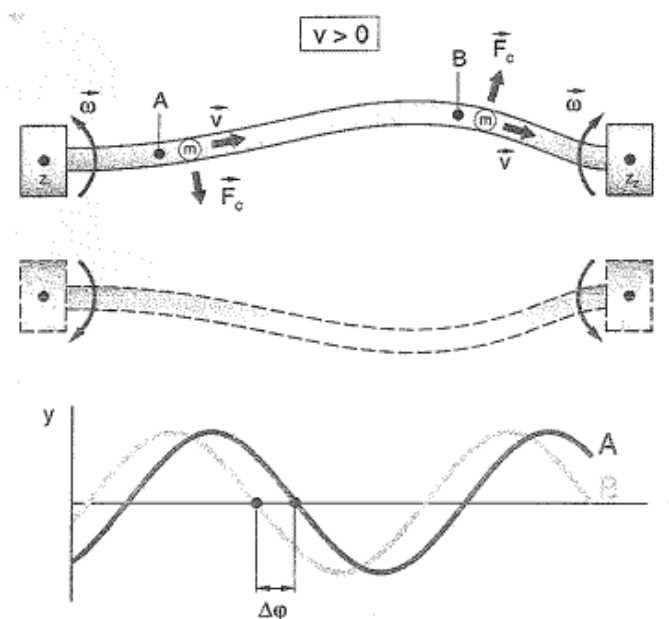


Figura 2.9.1.4.4 –Funcionamiento de caudalímetro tipo Coriolis [60]

Un aspecto importante al aplicar los caudalímetros de efecto Coriolis es la posible presencia de influencias externas, como por ejemplo vibraciones de la tubería. Las vibraciones en los sistemas de tuberías suelen tener frecuencias de vibración entre 50 y 150 Hz.

Por otra parte, las frecuencias de resonancia típicas de los caudalímetros de efecto Coriolis de están entre 600 y 1.000 Hz por lo tanto, son inmunes a las vibraciones inducidas en el sistema de esta naturaleza. Además, por el mismo motivo, estos dispositivos de medición no necesitan ningún tipo de montaje especial inhibidor de vibraciones.

Basándose en las mediciones continuas del flujo de masa de gas, el consumo individual de energía del motor puede calcularse fácilmente y utilizarse como entrada en los programas de optimización de motores.

2.9.1.5. Estación Bunker

La estación Bunker controla el flujo de LNG desde el sistema externo de suministro hasta nuestro tanque de carga. Incluye además una conexión para línea de bunker de LNG y conexión para el nitrógeno para purgar las líneas antes y después de cada carga, con sus respectivas válvulas manuales/neumáticas, válvulas de seguridad y bridas.

Constará además de manómetro de presión local y un transmisor de presión para monitorizar el valor de la presión de carga desde el control de máquinas. Se instalarán también en el sistema válvulas de seguridad térmicas para proteger la estación de bunker de subidas de presión.

También llevará una línea que comunica con la terminal, para cuando se haga el bunker, no eleve mucho la presión del tanque al evaporarse parte de la carga. Mediante esta conexión se retornarán a la terminal los gases producidos por la carga al llenar el tanque.

En los lugares donde sean más probables pérdidas o goteos, llevará instaladas unas bandejas de acero inoxidable, sobre todo en las conexiones de las tuberías. Además, durante el bunker será necesaria una cortina de agua para evitar dañar

el casco del buque en caso de que se produzca una pérdida de LNG por su baja temperatura.

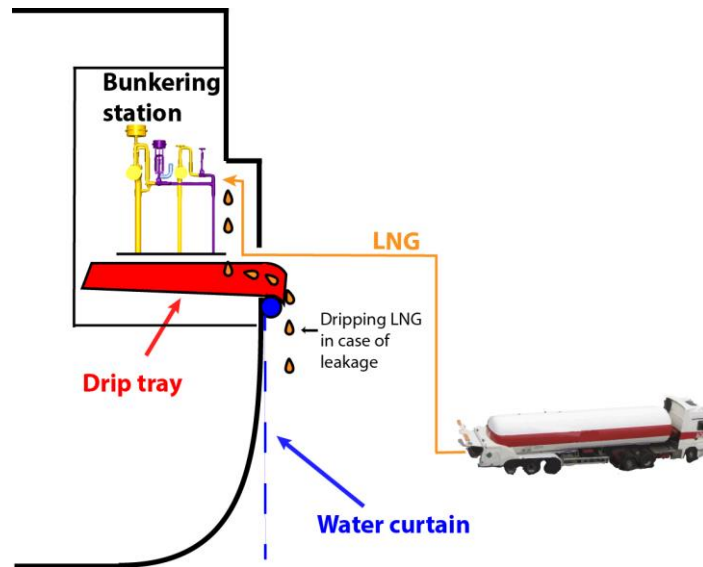


Figura 2.9.1.5.1 – Esquema de la cortina de agua [33]



Figura 2.9.1.5.2 – Bunker mediante camión [33]

Cuando no se esté haciendo bunker, hay que cerrar la tubería siempre con bridas ciegas para evitar la entrada de agua salada u otras impurezas a las tuberías.

La estación bunker será montada en cubierta y en el costado de estribor y se podrá hacer suministro de LNG de barco a barco, bunker mediante camión o en una terminal.

Las dimensiones aproximadas de la estación de Bunker se muestran en la imagen que sigue, y serán aproximadamente 1,5 metros de ancho, 3 de largo y unos 2 metros de alto.

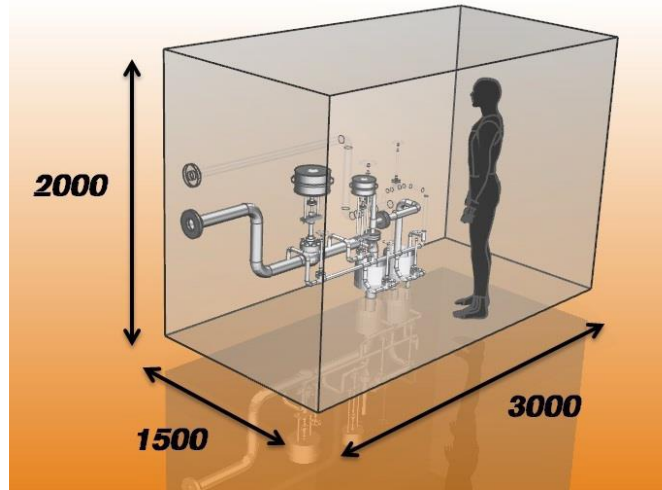


Figura 2.9.1.5.3 – Estación del Bunker [33]

El proceso de bunker tiene que ser lo suficientemente rápido para afectar lo mínimo a la operatividad del buque, pero sin comprometer nunca la seguridad del mismo.

La estación de bunker durante el suministro de LNG está clasificada como una zona peligrosa, mientras que cuando no está en funcionamiento, se considera una zona segura, siempre que se hubiera inertado de forma correcta siguiendo los procedimientos.

Procedimiento para hacer bunker:

El suministro de combustible para almacenamiento en el tanque, se realiza a través de la estación de bunker por en interior de tuberías aisladas para evitar la subida de la temperatura de la carga.

El relleno de LNG se puede hacer a la parte baja del tanque o esprayando en LNG a través de las boquillas en lo alto del tanque. Esta tubería de esprayado se utiliza para controlar la presión del tanque durante el bunker, y cuando sea necesario, para enfriar los tanques antes de comenzar el mismo. Después de finalizar el bunker, la línea deberá ser inertada con nitrógeno y cerrada con una brida ciega.

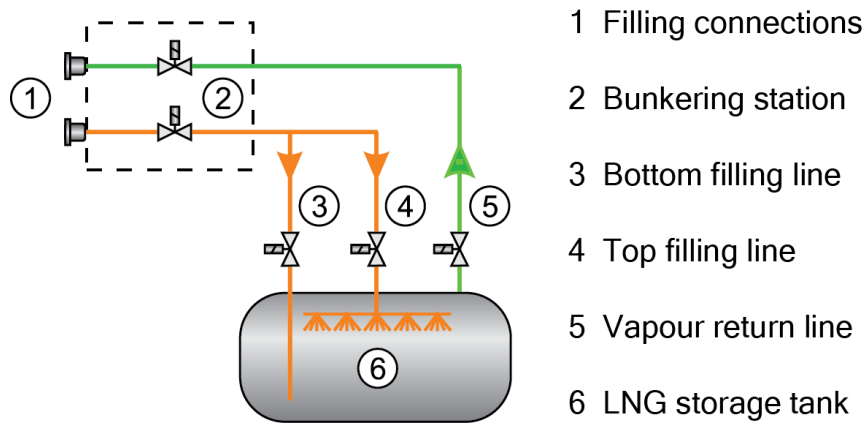


Figura 2.9.1.5.4 – Diagrama del proceso de suministro de LNG [33]

2.9.1.6. Sistema de calentamiento a los evaporadores

Por el circuito que produce la calefacción a los vaporizadores para vaporizar el LNG circula una mezcla de 60 % de glicol y 40 % de agua. Su densidad será de 1.076 kg/m^3 y su punto de congelación $-45 \text{ }^\circ\text{C}$.

El sistema constará principalmente de 2 bombas para mover la mezcla, un tanque de expansión por los cambios de temperatura, los intercambiadores para calentar la mezcla aprovechando el agua de refrigeración LT de los motores principales y finalmente y los vaporizadores, donde se entrega el calor para vaporizar el LNG.

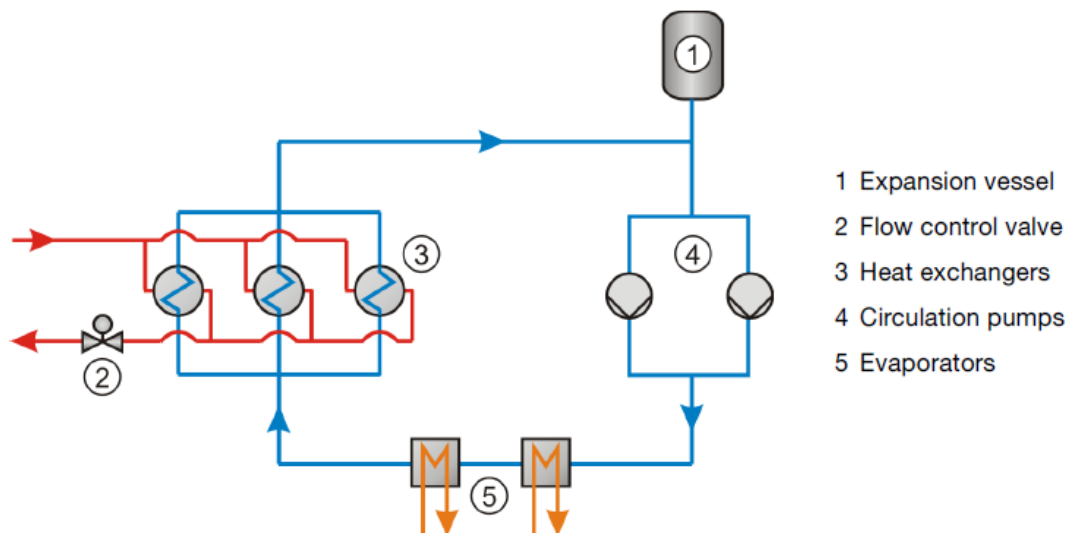


Figura 2.9.1.6.1 – Circuito de calefacción [33]

Los vaporizadores son calentados por una fuente de calor procedente del agua LT de refrigeración del motor principal, utilizando un circuito intermedio de agua-glicol que los mantiene a la temperatura adecuada.

2.9.1.7. Tuberías del sistema

Todas las tuberías que lleven LNG o NG estarán hechas de acero inoxidable. Las que estén bajo cubierta que lleven este combustible serán de doble pared excepto las que están dentro del tanque del espacio de conexión, ya que éste actúa como barrera secundaria. Sin embargo, las líneas sobre cubierta no es necesario que sean de doble pared, aunque la línea de bunker normalmente es de doble pared o va aislada de forma adecuada.

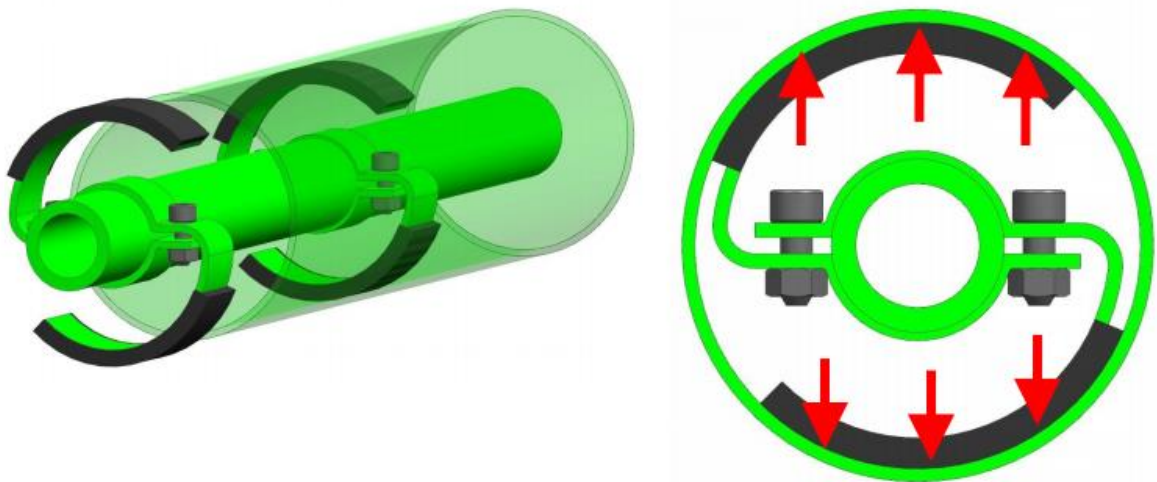


Figura 2.9.1.7.1 – Tuberías de doble pared [33]

Las dimensiones de las tuberías del equipo se muestran en la tabla siguiente:

Pipe size	Inner pipe			Outer pipe		
DN	DN	NPS	Outer diameter (mm)	DN	NPS	Outer diameter (mm)
50	50	2	60,33	80	3	88,90
80	80	3	88,90	125	5	141,30
100	100	4	114,30	150	6	168,28
125	125	5	141,30	200	8	219,08

Tabla 2.9.1.7.2 – Dimensiones de las tuberías [33]

2.9.1.8. Sistemas de seguridad y protección

2.9.1.8.1. Sistema de detección de gas

El LNG Pack estará conectado al sistema de detección de gas del buque, y se instalarán detectores de gas en el tanque del espacio de conexión, los cuales si detectasen una pérdida de gas, automáticamente se pararía el equipo.

Los detectores de gas estarán conectados a la unidad central, la cual procesa las entradas y envía información sobre los niveles de gas de las áreas protegidas e información sobre el estado de los detectores.

Desde la unidad central, el LNG Pack recibe señal cuando un detector tiene una medición del 40 % de LEL (Lower Explosion Limit) en el área protegida. Esta señal de detección de gas causaría una parada del sistema llevada a cabo por el sistema de control.



Figura 2.9.1.8.1.1 – Detectores de HC [61]

2.9.1.8.2. Sistema de nitrógeno

Para evitar mezclas explosivas de gas y aire en el sistema, deberá ser rellenado con gas inerte mediante una conexión al inicio y parada para de procesos durante el mantenimiento o para la entrada a astillero.

Las tuberías en el tanque del espacio de conexión distribuyen el nitrógeno a varias zonas de la estación de bunker y a los evaporadores.

La admisión de N_2 a las tuberías se controla mediante válvulas de corte y el sistema de gas inerte siempre estará presurizado para estar siempre operativo por si se diese algún fallo del equipo, y tendrá un transmisor de presión para controlarla desde en control.

2.9.1.8.3. Válvulas de alivio de presión

Como ya comentamos en apartados anteriores, el sistema dispone de válvulas de seguridad que protegen a los equipos de las sobrepresiones que pudieran producirse.

Si en algún momento la presión se elevase por encima del límite establecido para cada válvula, se abrirá y aliviará líquido o gas hacia el palo de venteo para prevenir que siga aumentando la presión.

2.9.1.8.4. Ventilación

El equipamiento de ventilación se instala en el tanque del espacio de conexión y en la sala auxiliar. La ventilación del tanque del espacio de conexión tiene que asegurar 30 renovaciones de aire por hora.

La tubería de doble pared que va desde el tanque del LNG hasta la GUV estará también ventilada

Cada sistema de ventilación se compone de una línea de entrada y otra de salida en la que va instalado el ventilador eléctrico. La ventilación del tanque del espacio de conexión será de presión negativa, por eso estará el ventilador en la tubería de salida, porque de esta manera se mantendrá cualquier escape de gas sin que salga al exterior, incluso si hay una pérdida en las paredes del tanque del espacio de conexión.



Figura 2.9.1.8.4.1 – Ventiladores del sistema [33]

2.9.1.9. Sistema de control

La operación del LNG Pack está en gran medida automatizada y controlada por un PLC. La unidad central del sistema de control está en el cuadro del PLC, situado en un espacio ventilado y a una temperatura de aproximadamente 25 °C.

Una estación operadora se utiliza para monitorizar la operación del sistema, teniendo el control y ajustando los valores de los set point. Estas estaciones estará una en el puente y otra en el control de la máquina, teniendo un control remoto sobre todos los equipos.

La estación de operación, el cuadro del PLC, el motor, la unidad de la válvula de gas y la interface del operador están conectados a través de una red en anillo con conexión Modbus TCP. Esto significa que, aunque el anillo se cortase en algún punto, la conexión entre los componentes permanece siempre. Esta red en anillo está conectada al sistema del IAS (Integrated Automation System) del buque.

La conexión del ESD (Emergency Shut Down) está siempre establecida entre la estación Bunker del barco y la estación de suministro del LNG, y si durante la carga se produjese cualquier problema, llevaría a cabo una parada de emergencia.

Además de la conexión con tierra del ESD, también se puede poner otra conexión para comunicarse con la estación de suministro y monitorizar tanto en tierra como en el buque los niveles y presión del tanque durante la carga.

En la siguiente imagen se muestra el sistema de control con su conexión de anillo.

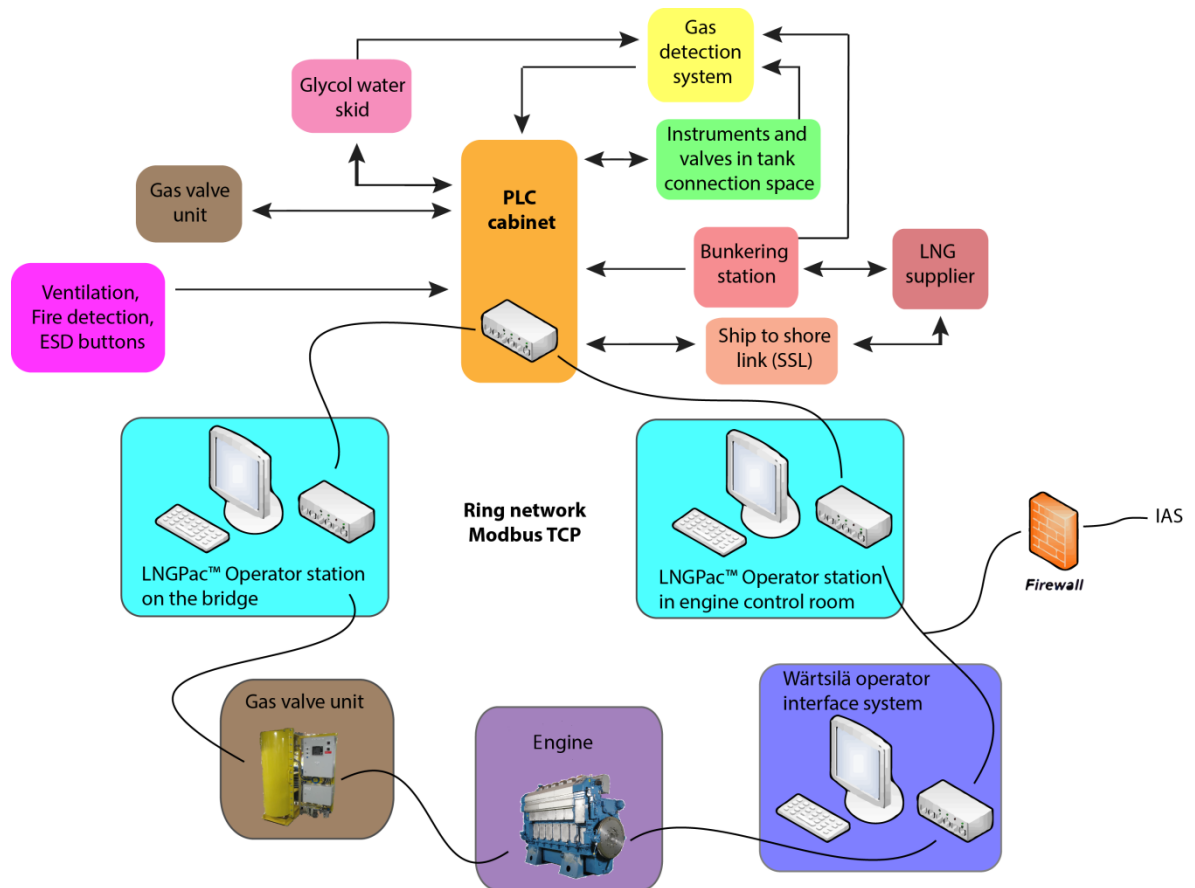


Figura 2.9.1.9.1 – Conexiones del Sistema de Control. [33]

2.9.1.9.1. Cuadros de control

2.9.1.9.1.1. Cuadro del PLC

El cuadro del PLC es el núcleo del sistema de control, maneja todos los controles automáticos de las funciones del LNG Pack y contiene 3 unidades de PLC independientes en los cuales están programadas las funciones de control de los procesos. Además lleva 2 unidades de PLC de seguridad a mayores, que en caso de shutdown, cada una puede realizar todas las funciones con seguridad.

El PLC incluye una CPU (Central Processing Unit) que está conectada a un número de módulos de entrada y salida para la recogida y transmisión de las señales del proceso, estando las entradas relacionadas con seguridad conectadas a la unidad de seguridad.

2.9.1.9.1.2. Cuadros neumáticos

Este cuadro llevará todas las válvulas solenoides controladas por el PLC y distribuirá el aire para el control de las válvulas neumáticas del sistema.

En la línea de aire habrá que instalar secadores de aire para mejorar la calidad del mismo y tanques de almacenamiento, para asegurar aire a las válvulas en caso de que fallasen los compresores de aire.

En el caso de que se produjese un corte eléctrico, todas las válvulas neumáticas pasarán a la posición de seguridad por fallo.

2.9.1.9.1.3. Panel del bunker

Este panel se puede instalar opcionalmente en el LNG Pack e irá montado a pie de la estación de bunker para proporcionar una interfaz adicional de operación además de las ya mencionadas del puente y el control de máquinas.

Llevará instalado un botón para realizar la parada de emergencia en caso de que hubiese algún problema durante la carga, y se podrá ver el nivel del tanque y su presión.

2.9.1.10. Estación de operación

El LNG Pack está supervisado y controlado desde una estación operadora, compuesta por un teclado, pantalla y el software necesario y proporciona una interfaz de usuario para el sistema del PLC.

Existen 2 estaciones operadoras, una en el control de máquinas y otra en el puente, proporcionando así la redundancia necesaria para el control.

Tendremos una de ellas seleccionada como la principal y en ella podremos controlar cada una de las secciones distintas del sistema. La estación secundaria puede pedir el control, pero no puede llevarlo a cabo hasta que la sección principal le conceda el permiso.

Desde estas estaciones, el operador puede supervisar el sistema, enviar comandos para el control del proceso del PLC, visualizar gráficas y diagramas de todas las señales de medición...

La estación operadora está también preparada para el RMS cuando en el buque se disponga de conexión a internet y se podrá recibir servicio técnico remoto a cargo de profesionales especializados de Wärtsillä.

2.9.1.10.1. Instrumentación

Estará equipado con toda la instrumentación necesaria para el seguimiento y control de los procesos. Este sistema incluirá indicadores para supervisión local de presión y temperatura, sensores y transmisores para el seguimiento remoto de los mismos.

El sistema de control recopila valores de mediciones e información del estado de los equipos de medición para el control central y supervisión.

Además de los equipos de medición, la instrumentación también comprende a los dispositivos de control, como pueden ser las válvulas neumáticas.

2.9.1.10.2. Modos de automatización

Existen 2 modos para controlar el sistema del LNG Pack, automático o manual.

El sistema está normalmente establecido para el control automático de los procesos y controlará automáticamente todas las válvulas neumáticas.

Si se pone en modo Manual, será el operador el que controle las posiciones de las válvulas neumáticas para cada proceso.

Independientemente del modo en el que estemos trabajando, el sistema de seguridad estará siempre activado para garantizar la seguridad y evitar sobrepresiones o fallos.

2.9.1.10.3. Funciones de control

Todas las funciones básicas de control y procedimientos son manejados por el sistema de automatización, para asegurar que todas las operaciones se realizan de forma segura.

Los dispositivos del proceso son controlados basándose en señales del equipo de instrumentación, manteniendo los parámetros del proceso a los valores adecuados. Para que se realice un control automático, todos los dispositivos del proceso tienen que estar establecidos para su operación en automático.

2.9.2. Retrofit del motor

El motor del buque es un MAN B&W 8S50ME-C9. Solo con el nombre del motor tenemos mucha información sobre el mismo como se muestra en la siguiente figura:

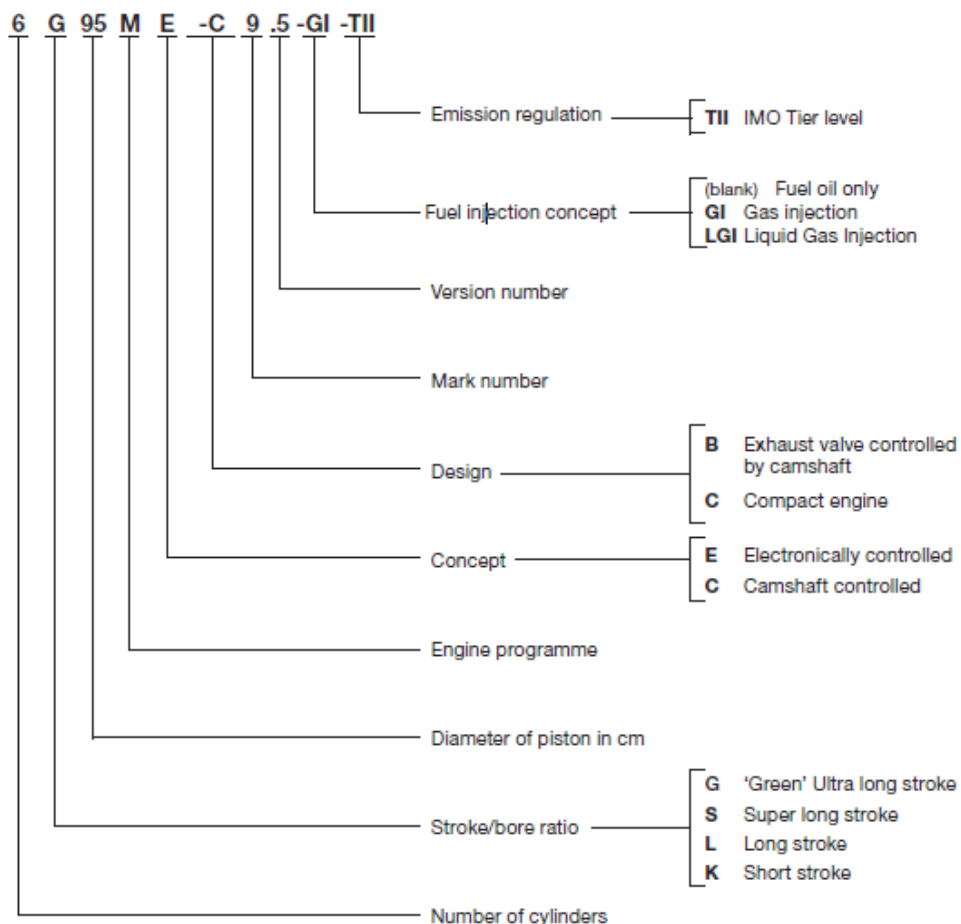


Figura 2.9.2.1 – Tipo de motor por sus siglas [30]

Por lo tanto sabremos de nuestro motor:

- N° cilindros → 8
- Carrera del motor (S) → Super long stroke
- Diámetro del cilindro (cm) → 50
- Programa del motor → M
- Concepto del motor (E) → Controlado electrónicamente
- Diseño (C) → Motor compacto
- Concepto de la inyección de combustible → Sólo F.O.

La evolución de los precios del gas y el combustible en combinación con las regulaciones de control de emisiones, ha creado una necesidad de motores duales.

El motor ME-GI está diseñado como un complemento adicional a la tecnología de motor ME de dos tiempos B&W de MAN y permite que el motor funcione con HFO o GN.

Aunque pocas diferencias técnicas separan los motores que queman fuel de los que queman gas, el motor ME-GI proporciona la flexibilidad óptima de combustible. El concepto del motor ME consiste en un sistema hidráulico-mecánico para el accionamiento de la inyección de fuel y las válvulas de escape. Los actuadores son controlados electrónicamente por un número de unidades de control que forman parte del Engine Control System.

Para aumentar la presión del fuel se utiliza un émbolo simple accionado por un pistón hidráulico, a su vez activado por la presión del aceite. El sistema de suministro de fuel al motor se puede ver más adelante en el Plano 7. La presión del aceite es controlada por una válvula proporcional controlada electrónicamente.

La válvula de escape se abre hidráulicamente por medio de un actuador de dos etapas activado por el aceite de control de una válvula proporcional controlada electrónicamente. Las válvulas de escape son cerradas por el "resorte neumático".

La flexibilidad del sistema se obtiene por medio de diferentes "modos de funcionamiento del motor", que se seleccionan automáticamente, dependiendo de

las condiciones de funcionamiento, o manualmente por el operador para cumplir objetivos específicos. El modo de funcionamiento básico es "Modo de ahorro de fuel" para cumplir con la limitación de emisiones de NOx de la OMI.

Para los motores designados por MAN B&W ME-B-TII como el que tiene el buque, los parámetros de diseño y rendimiento cumplen con las normas de emisiones de la IMO Tier II. En la siguiente imagen se puede ver el motor del buque MAN B&W 8S50ME-C9

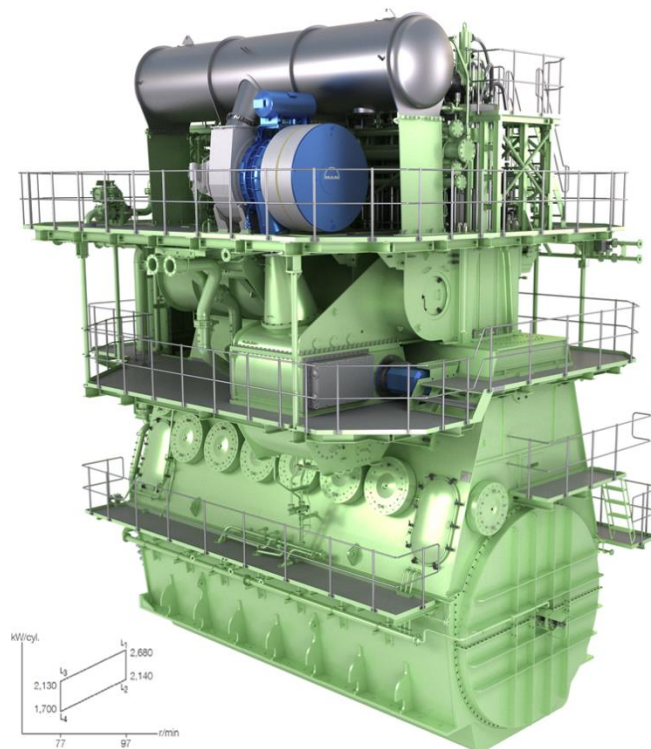


Figura 2.9.2.2 – Motor MAN B&W 8S50 ME-C9-GI [30]

2.9.2.1. Elementos del sistema

En la siguiente figura se muestra los componentes que son modificados y agregados al motor para poder funcionar a gas:

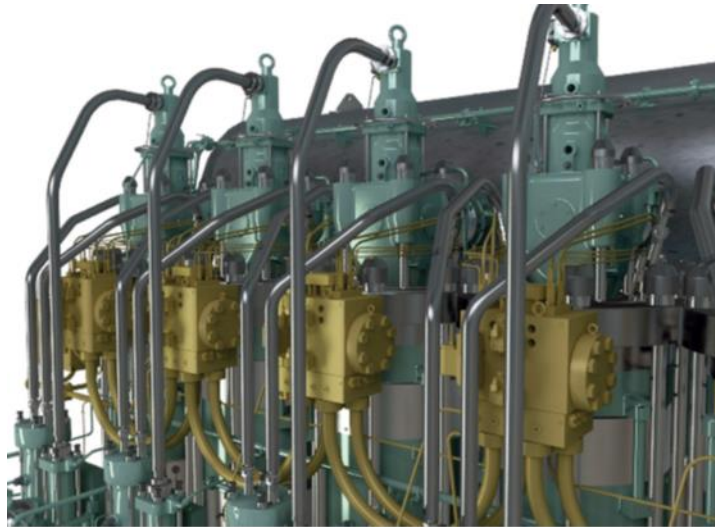


Figura 2.9.2.1.1 - Módulo de gas con el bloque de control y tuberías de doble pared [21]

Al llevar a cabo el retrofit del motor es necesario añadir o cambiar algunos equipos al motor, para que de esta forma se pueda utilizar gas como combustible. Estos cambios se enumeran a continuación:

- Receptor de escape
- Tuberías de gas de doble pared
- Culata del motor
- Bloque de válvulas
- Válvula ELGI
- Válvula FIVA

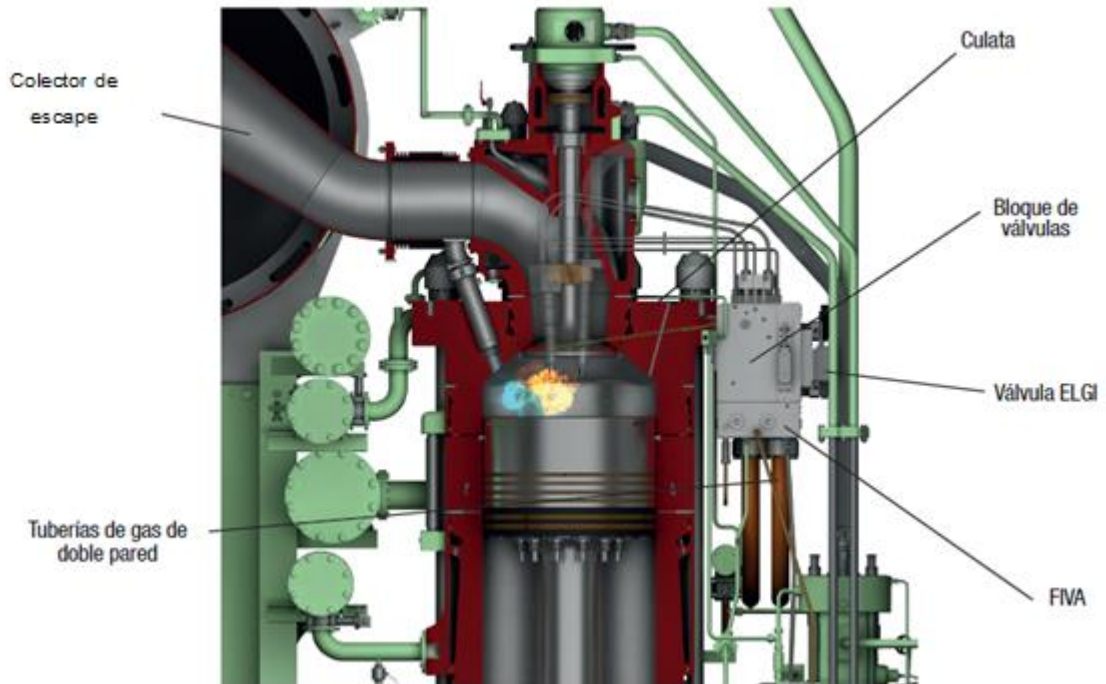


Figura 2.9.2.1.2 – Zonas afectadas en caso de reconversión [21]

Las nuevas unidades para añadir al motor son:

- Tuberías del sistema de suministro del GN a alta presión al bloque de control de gas de cada cilindro. (Ver plano 6)
- Sistema de detección de fugas y de ventilación para ventilar el espacio entre el tubo interior y exterior de la tubería de doble pared y detectar fugas. El aire de entrada se toma de una zona no peligrosa y se expulsa fuera de la sala de máquinas. (Ver plano 8)
- Sistema de sellado de aceite, suministra aceite de sellado a las válvulas de gas que separan el aceite de control del gas. (Ver plano 9)
- Sistema de gas inerte que permite purgar con nitrógeno el sistema de gas del motor. (Ver plano 10)
- Sistema de control y seguridad, formado por un analizador de hidrocarburos para analizar el aire en las tuberías de gas de doble pared.

2.9.2.1.1. Culata

La culata es de acero forjado, hecho en una única pieza, y tiene orificios para el agua de enfriamiento. Tiene un orificio central para la válvula de escape, y agujeros para las válvulas de fuel, gas, válvula de arranque y una válvula indicadora.

Además, la culata está provista de un conjunto de orificios para suministrar gas desde el bloque de control de gas a cada válvula de inyección de gas.

2.9.2.1.2. Tuberías de gas de doble pared

Lleva instalado un sistema de tuberías para distribuir el gas a alta presión en cada bloque. Las tuberías están conectadas al bloque de control de gas a través del bloque adaptador.

Las tuberías de gas están diseñadas con doble pared, con el tubo de protección exterior diseñado para evitar el escape de gas a los espacios de máquinas en caso de fuga o rotura del tubo de gas interno.

El espacio intermedio de la tubería de gas, incluyendo también el espacio alrededor de las válvulas, bridas, etc., se ventila mecánicamente a un caudal de 30 renovaciones de aire por hora. Cualquier fuga de gas será conducida a la parte ventilada del sistema de la tubería de doble pared y se detectará por sensores de hidrocarburos. Se puede ver el esquema del sistema en el plano número 8.

La presión en el espacio intermedio se mantiene por debajo de la de la sala de máquinas y el aire de entrada de ventilación debe tomarse de un área segura de gas y será expulsado al exterior.

Las tuberías de gas del motor están diseñadas y sometidas a prueba de presión 50% superior a la presión de trabajo normal, están sujetas para evitar vibraciones mecánicas y además, deben protegerse contra caídas de objetos pesados.

Las tuberías deben de ser suficientemente flexibles para hacer frente a la tensión mecánica de la expansión térmica del motor que se produce al estar frío o caliente. Están diseñadas para evitar fluctuaciones excesivas de presión de gas durante el funcionamiento y tienen que estar conectadas al sistema de purga de gas inerte.

2.9.2.1.3. Bloque de control de gas

El bloque de control de gas consiste en un bloque cuadrangular de acero, atornillado al lado de la HCU de la culata. El bloque de control de gas incorpora un acumulador de gran volumen y está provisto de una válvula de ventanilla/parada, una válvula de purga y otra de ventilación. El gas del suministro de combustible gaseoso circula por la tubería principal a través de unas tuberías en cadena hasta llegar al sistema de bloqueo de válvula y acumulador de cada cilindro. El depósito intermedio alberga gas de inyección en una cantidad 20 veces superior a la utilizada en cada recorrido del pistón a rendimiento máximo continuo, es decir, a una carga del 100 %.

Este depósito tiene dos funciones importantes:

- Suministra la cantidad de gas necesaria para la inyección a una presión predeterminada, ligeramente inferior.
- Es una parte importante del sistema de seguridad.

Todos los sellos de alta presión de gas están unidos al sistema de tuberías de doble pared, para detectar posibles fugas.

Los orificios internos conectan el aceite hidráulico, el aceite sellador y el gas con las diversas válvulas. Una válvula anti retorno está situada en la entrada de gas al acumulador, para asegurar que el gas no pueda fluir hacia atrás en el sistema.

Como puede apreciarse en el plano 6, el sistema de inyección ME-GI consta de válvulas de fueloil, válvulas de combustible gaseoso, ELGI que suministra aceite de control a alta presión a la válvula de inyección de gas, regulando así la frecuencia de actuación y la apertura de la válvula de gas, un FIVA (Fuel Injection Valve Actuator), o actuador de válvula de inyección de combustible para controlar, a través de la válvula de combustible líquido (fuel oil), el perfil de inyección del fuel piloto y, finalmente, la válvula ELWI (ELectrical Window and gas shutdown), que controla la posición de la válvula de ventanilla "Window Valve" como medida adicional de seguridad para prevenir fugas de gas y garantizar una doble barrera de cierre de la válvula a la cámara de combustión.

También forma parte del sistema de inyección el amplificador de presión de combustible líquido convencional, que suministra combustible piloto en el modo

de funcionamiento de combustible dual. El amplificador de presión de fueloil incorpora un sensor de presión para medir la presión del combustible piloto en la parte de alta presión. Como ya se ha mencionado, este sensor supervisa el funcionamiento de la válvula de combustible líquido. Si se detecta que la inyección se desvía de los valores normales, el sistema de seguridad de IG bloqueará la apertura de la válvula ELGI para evitar que el combustible de control pase a través de ella. En este momento no se produce ninguna inyección de gas.

Se mide la presión del gas en el canal entre la válvula de inyección de gas y la válvula de ventana para supervisar el funcionamiento y detectar pérdidas en la válvula de ventanilla, válvula de inyección de gas o la válvula de purga.

Cualquier gran aumento de presión indicaría una fuga en la válvula de ventanilla/cierre y una disminución de presión indicaría una fuga en los asientos de válvula de inyección de gas o en la válvula de purga. El sistema de seguridad detectará estos problemas y detendrá la inyección de gas.

Desde el acumulador, el gas pasa a través de un agujero en el bloque de control de gas a la válvula de ventanilla, que en el modo gas se es abierta y cerrada en cada ciclo por aceite hidráulico. Desde la válvula de cierre/ventanilla, el gas es conducido a la válvula de inyección de gas a través de los agujeros en el bloque de control de gas y en la culata. Una válvula de purga colocada en el bloque de control de gas está diseñada para vaciar las tuberías de gas durante la espera o parada del gas. Otra válvula de purga, también colocada en el bloque de control de gas, está diseñada para vaciar el acumulador cuando el motor ya no funciona a modo de gas.

También se utilizan válvulas de purga y de ventilación accionadas hidráulicamente durante la purga con gas inerte, todas controladas por el sistema de control del motor de inyección de gas (ME-GI-ECS).

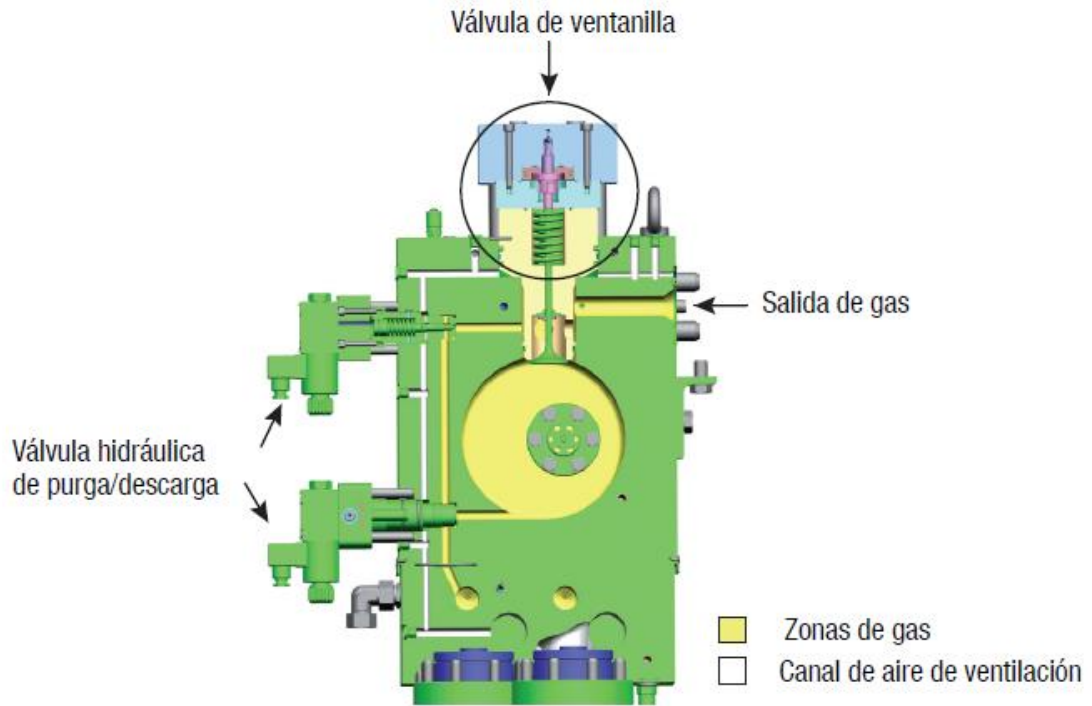


Figura 2.9.2.1.3.1 – Bloque de control de gas [21]

2.9.2.1.4. Válvulas de combustible líquido, gas y arranque

La culata está equipada con dos válvulas de fuel, dos válvulas de gas y una válvula de aire de arranque. La apertura de las válvulas de fuel es controlada por la alta presión del fuel creado por el elevador de presión de fuel, y las válvulas permanecen cerradas por un resorte hasta que no se produzca la inyección.

La apertura de las válvulas de gas está controlada por la válvula ELGI, que funciona con aceite de control.

La válvula de inyección de gas se ajusta a los principios tradicionales del diseño compacto. La admisión del combustible gaseoso hacia la válvula de inyección se efectúa a través de orificios en la culata del cilindro. Con el fin de evitar fugas de gas entre la culata del cilindro, la válvula de inyección de gas y la carcasa de la válvula/guía de la punta del eje, se han instalado anillos de estanqueidad a prueba de gases y temperaturas elevadas. Las fugas de gas que pudieran producirse a través de los anillos de estanqueidad se canalizarían mediante los orificios de la válvula de inyección de gas al espacio entre las tuberías interior y

exterior de protección del sistema de tubería de doble pared y los sensores de HC la detectarían.

El gas actúa de manera continua sobre el vástago de la válvula a una presión máxima de 300 bar. Con el fin de impedir la entrada del gas en el sistema de actuación del aceite de control a través del espacio libre alrededor del vástago, este está sellado con aceite a una presión superior de 25 a 50 bar a la del gas.

En la siguiente figura se muestra una válvula de inyección de gas:

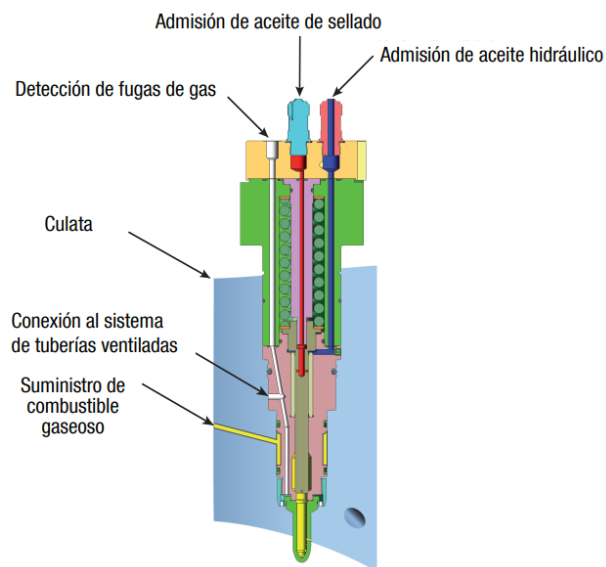


Figura 2.9.2.1.4.1 – Válvula de inyección de gas [21]

La válvula del combustible piloto es idéntica a una válvula estándar ME de fueloil excepto en la boquilla. Como combustible piloto se puede utilizar fueloil, MGO, MDO, crudo y biocarburante crudo.

El sistema de seguridad de IG supervisa continuamente la presión del fueloil para detectar cualquier anomalía en el funcionamiento de la válvula de fueloil.

El diseño de la válvula de fueloil permite que funcione a un rendimiento máximo continuo utilizando solo fueloil y una sobrecarga del 10 % cada 12 horas consecutivas.

El motor de gas puede funcionar con fueloil a plena carga y pasar de gas a combustible en cualquier momento sin interrumpir su funcionamiento.

El suministro de aire de arranque es proporcionado por una válvula solenoide por cilindro, controlada por las CCU del Sistema de Control del Motor. La válvula de arranque se abre mediante aire de control, programada por el sistema de control del motor y cerrada por un resorte. El giro lento antes de arrancar es un programa incorporado en el Sistema de Control del Motor (ECS).

2.9.2.1.5. Válvula de escape

La válvula de escape se compone del plato y el vástago. El plato de la válvula está hecho de hierro fundido y el asiento en la culata está refrigerado por agua.

La apertura de las mismas se lleva a cabo mediante un sistema hidráulico de control electrónico y el cierre es neumático. El funcionamiento de la válvula de escape está controlado por la válvula FIVA, que también activa la inyección de combustible.

Cuando el motor está en marcha, el vástago gira lentamente, impulsado por los gases de escape que actúan sobre unos pequeños álabes fijados al vástago.

El sellado del vástago de la válvula de escape se hace mediante un nivel de aceite controlado (COL) "Controlled Oil Level". Además de hacer el sellado, este baño de aceite situado en la parte inferior del cilindro neumático, lubrica el vástago de la válvula de escape y el retén de la guía de la válvula.

2.9.2.2. Concepto de inyección de gas

Si miramos el aspecto técnico de los motores con combustible convencional y los de combustión de gas, la diferencia entre ambos es mínima ajustándose el proceso de combustión al ciclo diésel.

En los de combustible convencional, se produce la ignición porque la temperatura del combustible comprimido en el cilindro sobrepasa su temperatura de ignición espontánea, que para los combustibles líquidos será a una temperatura entre 210 y 230 °C.

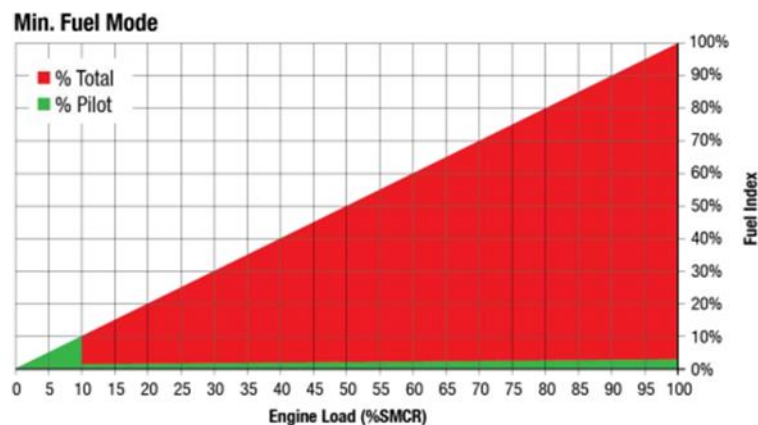
Para que se produzca la ignición del metano, esta temperatura de ignición espontánea (temperatura de autoencendido) será de entre 470 y 540 °C. Por este motivo en los motores GI es necesario inyectar una pequeña cantidad de fuel piloto antes del gas, porque si no, no se alcanzaría esta temperatura en el cilindro.

2.9.2.2.1. Modos de funcionamiento del motor

Una de las principales ventajas del motor ME-GI es su flexibilidad con el combustible, pudiendo funcionar de 3 modos distintos:

- Operación a Gas con mínima cantidad de fuel piloto.

Sólo se puede ser activado el modo GAS por un operador en el panel de control principal (MOP) en la sala de control. La cantidad mínima preestablecida de fuel piloto es del 3 % con respecto a la cantidad total del combustible.

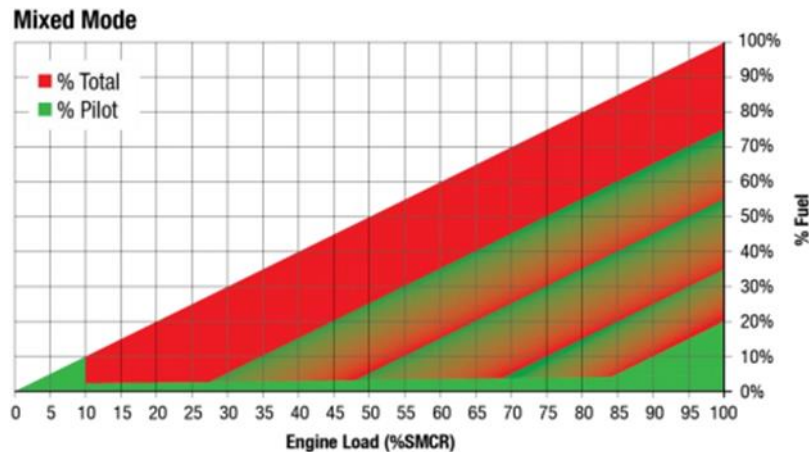


Gráfica 2.9.2.2.1.1– Porcentaje de consumos a modo GAS [21]

- Operación Dual (SDF) con inyección de una cantidad fija de gas

En este modo hay flexibilidad para el operador de fijar una cantidad fija de gas y el sistema de control inyectará la cantidad necesaria de fuel para mantener la carga del motor requerida.

El FGSS regula un límite máximo de flujo de gas al motor y, cuando el flujo de gas no es suficiente para mantener la carga del motor, el sistema incrementa automáticamente el flujo de fuel de acuerdo a la demanda.



Gráfica 2.9.2.2.1.2– Porcentaje de consumos a modo DUAL [21]

El objetivo principal del FGSS es suministrar al motor el gas necesario a la presión adecuada dependiendo de la carga. La bomba de alta presión aspirará el LNG del tanque de almacén y elevará su presión a 300 bar, este LNG se vaporizará en el evaporador principal (MGE) y finalmente será inyectado en el motor.

El IAS controla la planta del FGSS y se controla todo el proceso desde la estación operadora del control de máquinas, aunque en determinados momentos también se puede pasar el control a la estación sitiada en el puente.

- Operación con sólo Fuel

En este modo sólo se está quemando Fuel. Si se produjese en cualquier momento un fallo en el sistema de gas, se cortaría el suministro de gas al motor y se pondría el modo sólo Fuel automáticamente.

2.9.2.2.2. Seguridad

El sistema de control y seguridad ME-GI está diseñado de manera que si hay cualquier fallo en el sistema, automáticamente pase a condiciones de seguridad. Cuando está funcionando a gas, si se detecta cualquier fallo, se corta el suministro de gas y se pasa a consumir fuel sin pérdida de potencia del motor. Esta condición se aplica también a los fallos del propio sistema de control. Después del cambio a fuel, las tuberías de gas de alta presión y el sistema de suministro de gas se purga automáticamente con gas inerte.

El gas inerte para la purga del sistema de gas (FGS) puede suministrarse a partir de un sistema de gas inerte común o de un sistema autónomo separado que entrega el nitrógeno a una presión entre 7 y 9 bar.

Para estimar las dimensiones de las tuberías en función de la potencia del motor tenemos que fijarnos en la siguiente gráfica:

Dimension guidelines based on standard pipe sizes for EN 1.4462										
Power range	Max flow	Pipe OD	Thick-ness, t	SCH	NPS	DN	Test pressure	Pressure loss		
								50m	100m	200m
MW	Kg/h	mm	mm		inch		bar	bar		
0-15	2,100	33.40	3.88	40	1	25	480	1.5	2.5	4.7
15-30	4,000	42.16	4.85	80	1¼	32	480	1.4	2.6	5.0
30-45	6,000	48.26	5.08	80	1½	40	480	1.4	2.5	4.9

Tabla 2.9.2.2.2.1 – Dimensión de tubería de IG [30]

En nuestro caso cogemos el valor que va entre 0 y 15 MW, tuberías de DN 25. El volumen de almacenamiento de gas inerte se diseña para que se puedan efectuar 6 arranques consecutivos a gas y la secuencia para el purgado del sistema será el siguiente:

1. Purgar los acumuladores

- Unidad de gas inerte
- Tubería- acumulador
- Válvula de purga
- Silenciador

2. Purga de válvula de ventanillas y válvulas de inyección

- Unidad de gas inerte
- Tubería
- Válvula de ventanilla
- Válvula de inyección de gas
- Válvula de purga
- Silenciador

El silenciador de ventilación es necesario porque se puede alcanzar un nivel de ruido en las válvulas de ventilación entre 130 y 170 dB.

2.10. Soluciones propuestas

Existen múltiples configuraciones para los tanques de almacenamiento pero la que nosotros proponemos es la que Wärtsillä incorpora en el LNG Pack, un tanque cilíndrico independiente IMO tipo C, de doble pared y aislamiento interno. Se instalarán 2 tanques a popa del buque, con un volumen de 852 m^3 cada uno de ellos.

Las bombas de alta presión del LNG serán el modelo MSP-GU óptimo para nuestro tipo de motor, de la marca ACD Cryo que entrega un caudal de 1926 kg/h a una presión máxima de 350 bar.

El espacio del tanque de conexión será el tamaño grande ($4,8 \times 2,8 \times 4,145$) debido a la potencia de nuestro motor y dentro del mismo irán los gasificadores. El MGE adecuado para nuestro proyecto entregará una potencia de calefacción de 650 kW y tendrá un flujo de agua-glicol de $145 \text{ m}^3/\text{h}$ y el PBE que vamos a utilizar tiene una potencia de calefacción de 701 kW y el mismo flujo de agua-glicol.

Para el sistema de calefacción agua-glicol se instalarán 2 bombas en paralelo, un intercambiador de calor para aprovechar la temperatura del agua de refrigeración del motor y un tanque de expansión para contrarrestar los cambios de volumen de la mezcla debido a cambios de temperatura.

La GVU que vamos a instalar es la GVU-ED (Enclosed Design) de Wärtsillä por lo que puede situarse fuera del espacio del tanque de conexión porque dispone de una barrera secundaria propia. Será el modelo horizontal y se instalará en la misma un medidor de flujo másico por efecto Coriolis.

Llevará también una estación Bunker con su panel de control para la carga del LNG.

Las tuberías situadas bajo cubierta por las que va a circular el gas serán de doble pared mientras que las que estén en cubierta se instalarán de pared simple.

En tema de seguridad se instalarán detectores de gas a lo largo de todo el sistema de tuberías, un generador de gas inerte capaz de suministrar nitrógeno a una presión entre 7 y 9 bar almacenar la cantidad necesaria para efectuar 6

arranques consecutivos a gas, válvulas de alivio necesarias y 2 ventiladores en paralelo para ventilar en espacio entre las dos paredes de las tuberías.

Se instalará el sistema de control del LNG Pack de Wärtsillä compuesto por un cuadro de PLC para el control automático del sistema, cuadros neumáticos para el control de las válvulas solenoides, panel del Bunker para el control del suministro del LNG y 2 estaciones operadoras, una en el control de la máquina y otra en el puente.

En lo referente al motor, se hará el retrofit del mismo, cambiando las culatas del motor, instalando el bloque de control del gas con sus válvulas FIVA, ELGI y ELWI y se instalarán 2 inyectores de gas, 2 de fuel piloto y 1 válvula de escape por culata.

“INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL”

3. ANEXOS



GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

ENERGÍA Y PROPULSIÓN

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: SEPTIEMBRE 2017

AUTOR: Santiago Baña Pérez

Fdo.: Santiago Baña Pérez

Índice de los Anexos

3.1.	Anexo I: Tamaño del tanque de LNG.....	91
3.2.	Anexo II: Tamaño del espacio del tanque de conexión.....	91
3.3.	Anexo III: Cálculo del tamaño del tanque de LNG	91

3.1. Anexo I: Tamaño del tanque de LNG

Required LNG tank size [m ³] at 90 % tank volume utilization									
11 days between bunkering	203	406	625	811	858	965	1249	1405	1874
10 days between bunkering	184	369	568	738	780	877	1136	1278	1704
9 days between bunkering	166	332	511	664	702	789	1022	1150	1533
8 days between bunkering	148	295	454	590	624	702	909	1022	1363
7 days between bunkering	129	258	398	516	546	614	795	894	1192
6 days between bunkering	111	221	341	443	468	526	681	767	1022
5 days between bunkering	92	184	284	369	390	439	568	639	852
4 days between bunkering	74	147	227	295	312	351	454	511	681
3 days between bunkering	55	111	170	221	234	263	341	383	511
2 days between bunkering	37	74	114	148	156	175	227	256	341
1 day between bunkering	18	37	57	74	78	88	114	128	170
Engine power [kW]	1584	3168	5400	6336	7800	8775	10800	12150	16200

Tabla 3.1.1 – Tamaños del tanque de LNG [33]

3.2. Anexo II: Tamaño del espacio del tanque de conexión

Size of tank connection space	Max. engine power* [kW]
Small	6300
Medium	8800
Large	16200

Tabla 3.2.1 – Tamaño del espacio del tanque de conexión [33]

3.3. Anexo III: Cálculo del tamaño del tanque de LNG

Para calcular el tamaño del tanque de LNG tenemos que tener en cuenta el espacio libre que tenemos en la popa del barco y adaptarlo al mismo. Tomando medidas en el plano 5: “Plano del buque”, vemos que disponemos de unos 25 m libres de largo por unos 28 m de ancho. Hay que tener también en cuenta que el espacio del tanque de conexión de los tanques es el de tamaño grande, que si miramos en el plano 3: “Espacio del tanque de conexión”, vemos que de largo tendrá unos 2,8 m. Restando esta medida, tendremos disponibles 22 m de largo para los tanques, por lo que cogemos una medida de $A = 20$ m para dejar 2 metros de margen.

El volumen total de los tanques de almacenamiento tiene que ser de 1704 m^3 y como se instalarán dos, nos sale un volumen por tanque de 852 m^3 .

Ahora suponiendo que el tanque se trate de un cilindro perfecto, calcularemos el diámetro del tanque para almacenar el volumen especificado.

$$V_{tanque} = \pi * \frac{C^2}{4} * A \quad (3.3.1)$$

Siendo:

$$V_{tanque} = 852 \text{ m}^3$$

$$A = 20 \text{ m}$$

C = Diámetro del tanque

Calculando mediante el EES, nos da un diámetro del tanque C = 7,365 m.

“INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL”

4.PLANOS



GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

ENERGÍA Y PROPULSIÓN

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: SEPTIEMBRE 2017

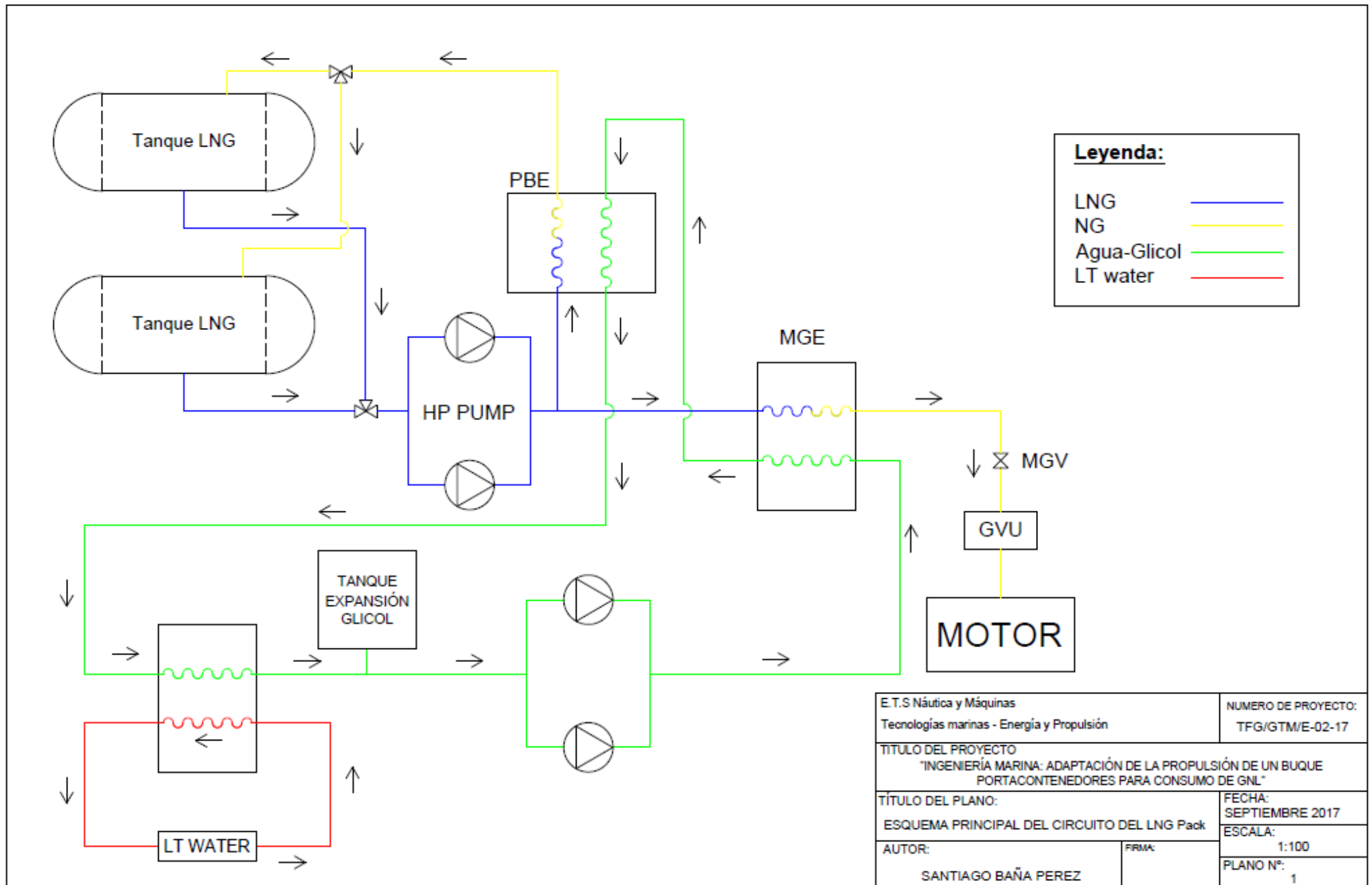
AUTOR: Santiago Baña Pérez

Fdo.: Santiago Baña Pérez

Índice de Planos

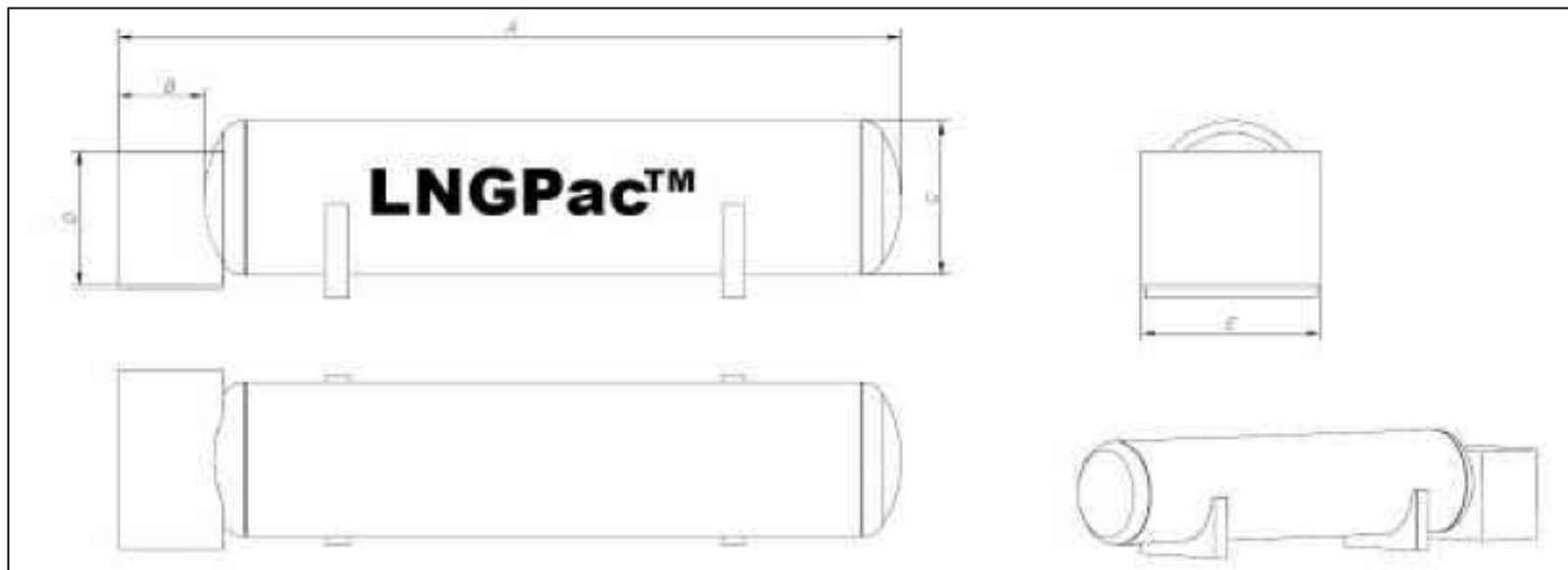
4.1.	Plano nº1: “Esquema principal del circuito del LNG Pack”	95
4.2.	Plano nº 2: “Plano y medidas del tanque de LNG”	96
4.3.	Plano nº 3: “Espacio del tanque de conexión”	97
4.4.	Plano nº 4: “Estación Bunker”	98
4.5.	Plano nº 5: “Plano del buque”	99
4.6.	Plano nº 6: “Sistema de inyección modo gas”	100
4.7.	Plano nº 7: “Sistema de suministro de F.O”	101
4.8.	Plano nº 8: “Sistema de detección de fugas y ventilación”	102
4.9.	Plano nº 9: “Sistema de sellado de aceite”	103
4.10.	Plano nº 10: “Sistema de purga de gas inerte”	104

4.1.Plano nº1: “Esquema principal del circuito del LNG Pack”



E.T.S Náutica y Máquinas Tecnologías marinas - Energía y Propulsión		NUMERO DE PROYECTO: TFG/GTM/E-02-17
TÍTULO DEL PROYECTO "INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL"		
TÍTULO DEL PLANO: ESQUEMA PRINCIPAL DEL CIRCUITO DEL LNG Pack		FECHA: SEPTIEMBRE 2017
AUTOR: SANTIAGO BAÑA PEREZ		ESCALA: 1:100
FIRMA:		PLANO Nº: 1

4.2. Plano nº 2: “Plano y medidas del tanque de LNG”



	A [m]	B [m]	C [m]	D [m]	E [m]	Inner tank geometric volume* [m ³]	Empty weight* [ton**]	Operational weight* [ton**]
LNGPac™ 105	10,0	2,3	3,6	3,2	3,0	105	65	112
LNGPac™ 145	19,2	2,3	4,1	3,2	3,0	145	75	140
LNGPac™ 194	21,4	2,3	4,4	3,2	3,0	194	100	187
LNGPac™ 239	25,4	2,3	4,4	3,5	4,6	239	120	228
LNGPac™ 280	23,6	2,3	4,9	3,5	4,6	280	130	256
LNGPac™ 284	29,4	2,3	4,4	3,5	4,6	284	130	256
LNGPac™ 308	25,7	2,3	4,9	3,5	4,6	308	145	284
LNGPac™ 339	25,8	2,3	5,1	3,5	4,6	339	160	313
LNGPac™ 402	30,3	2,8	5,1	4,2	4,8	402	180	361
LNGPac™ 440	26,6	2,8	5,7	4,2	4,8	440	195	393
LNGPac™ 465	34,3	2,8	5,1	4,2	4,8	465	200	409
LNGPac™ 520	30,6	2,8	5,7	4,2	4,8	520	210	444
LNGPac™ 527	38,3	2,8	5,1	4,2	4,8	527	210	447

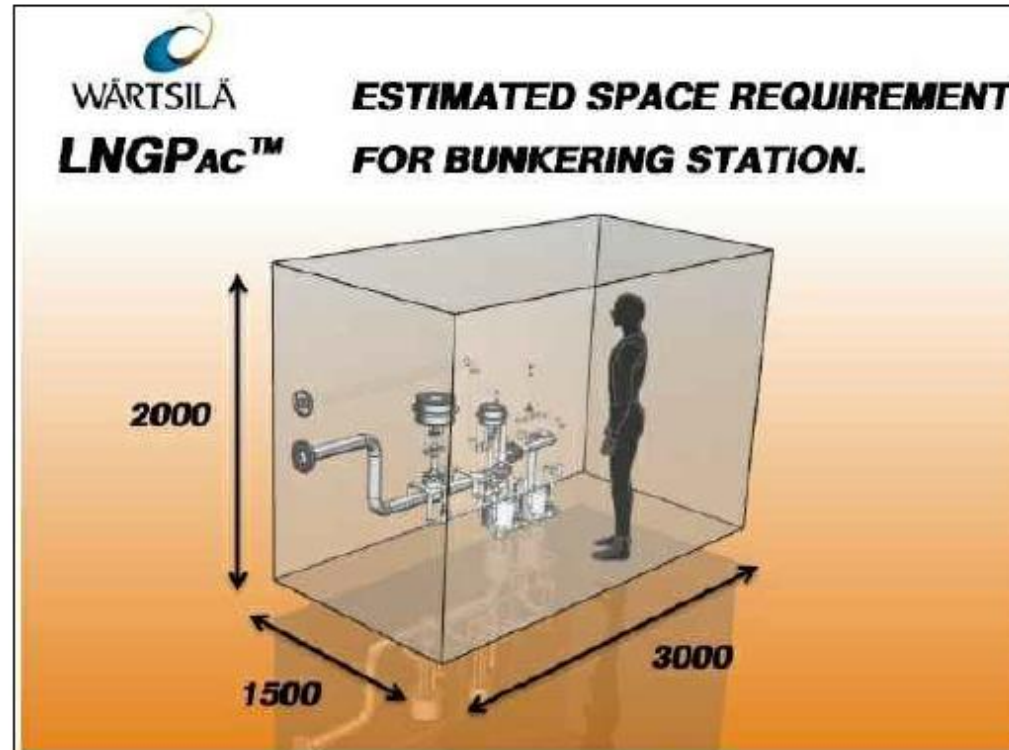
E.T.S Nautica y Máquinas Tecnologías marinas - Energía y Propulsión		NUMERO DE PROYECTO: TFG/GTM/E-02-17
TITULO DEL PROYECTO "INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL"		
TÍTULO DEL PLANO: PLANO Y MEDIDAS DEL TANQUE DE LNG		FECHA: SEPTIEMBRE 2017
AUTOR: SANTIAGO BAÑA PEREZ		ESCALA: 1:100
FIRMA:		PLANO Nº: 2

4.3. Plano nº 3: “Espacio del tanque de conexión”



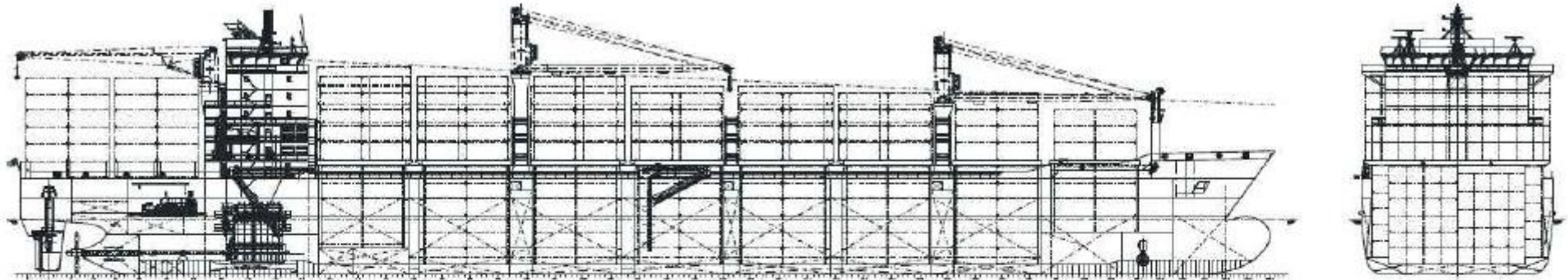
E.T.S Nautica y Máquinas Tecnologías marinas - Energía y Propulsión		NUMERO DE PROYECTO: TFG/GTM/E-02-17
TITULO DEL PROYECTO "INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL"		
TITULO DEL PLANO: ESPACIO DEL TANQUE DE CONEXIÓN		FECHA: SEPTIEMBRE 2017
AUTOR: SANTIAGO BAÑA PEREZ		ESCALA: 1:100
FRIMA:		PLANO Nº: 3

4.4. Plano nº 4: “Estación Bunker”



E.T.S Náutica y Máquinas Tecnologías marinas - Energía y Propulsión		NUMERO DE PROYECTO: TFG/GTM/E-02-17
TITULO DEL PROYECTO "INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL"		
TITULO DEL PLANO: ESTACIÓN BUNKER		FECHA: SEPTIEMBRE 2017
AUTOR: SANTIAGO BAÑA PEREZ	FIRMA:	ESCALA: 1:100
		PLANO Nº: 4

4.5. Plano nº 5: "Plano del buque"

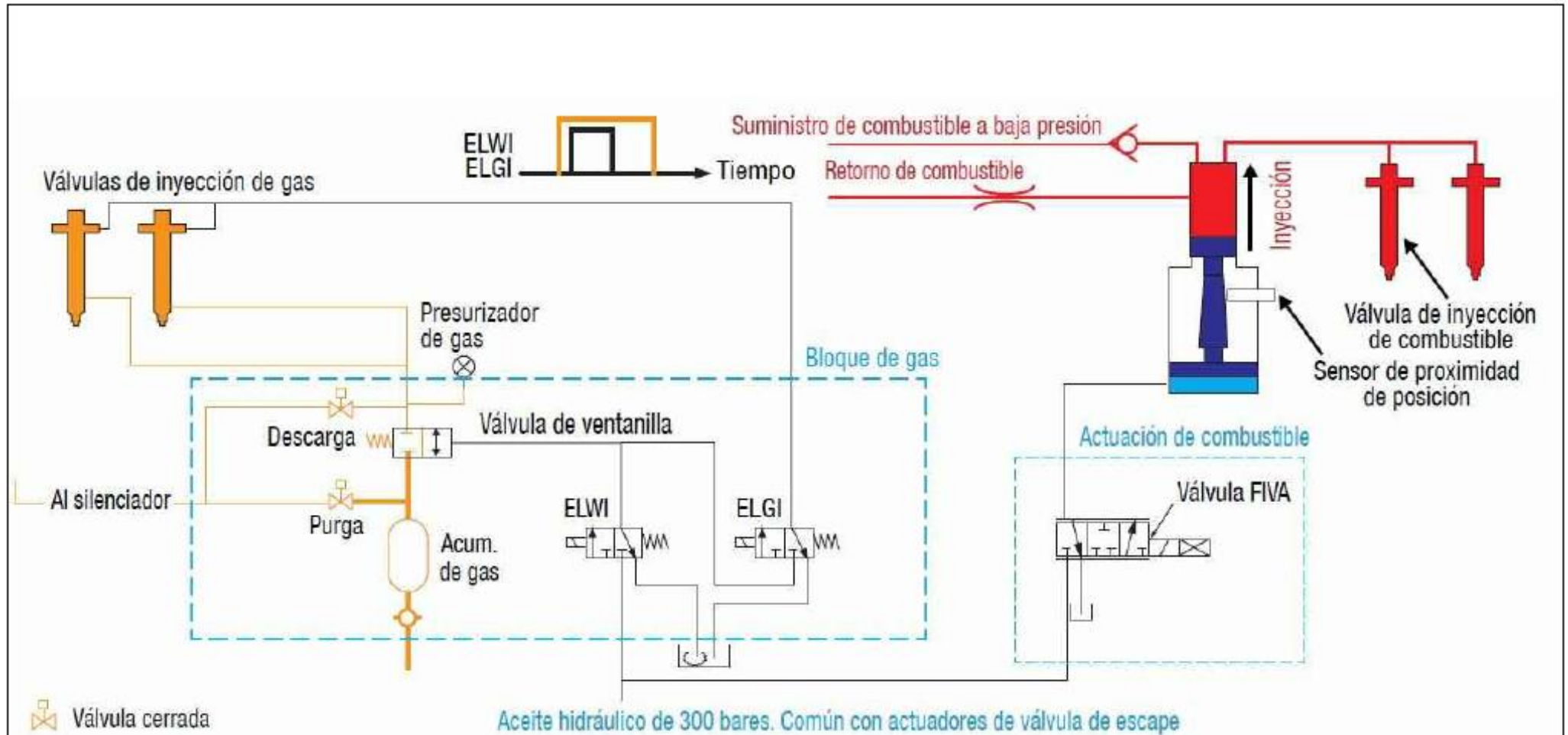


OUTLINE SPECIFICATION FOR 1750 TEU CONTAINER VESSEL

Main Dimensions		Class		Machinery
Length overall	184.43 m	Classification:	GL + 100 A5 Containership	Main Propulsion Engine
Length b.p.	172.88 m		BWM IW DG EP + MC AUT	MAN B&W 6S50 ME-C9
Breadth mid	28.20 m	alternatively	GL + 100 A5 Containership	MCR 13.280 kW at 117 rpm
Depth to Main Deck	15.20 m		E3 BWM IW DG EP + MC E3 AUT	SMCR 13.000kW
Design/scantling draft	8.50/ 9.90 m	Equipment for Cargo		with HFO up to 700 cst/50° C
Deadweight (design/ scantling)	18,500/ 24,500 ts	Stack loads		Diesel Generator:
Gross tonnage	21,720	Cargo holds	130.4/180 t for TEU/FEU	Electric Generator: 4 sets
Container capacity		On hatch covers	64/105/100 t for TEU/FEU/45'	3x 1670kW + 1x 1450kW
in holds	788 TEU	20' with lashing gap	80 t TEU	Accommodation
on deck	965 TEU	Behind deckhouse	58/90 t TEU/FEU	23+6 persons
total	1753 TEU	Container cell guides in holds for FEU		
45' on hatch	264	Tank Top strength in holds 1-4 for breakbulk cargo 146m ²		
Reeler Sockets on deck/in holds (FEU)	242 / 188 FEU	Stoppers on cell guides in hold 2,3,4		
Capacity 142' TEU acc. to IMO T=8.90m	abt. 1.370 TEU	Crane (optional, geared or gearless)		Ship's Equipment
Capacity 146' TEU acc. to IMO T=9.50m	abt. 1.285 TEU	2 x 40 ts wire luffing type - 31m outreach		prepared for scrubber system for exhaust gas cleaning
Capacity 146' TEU acc. to IMO T=8.50m	abt. 1.130 TEU	1x 40 ts hydraulic type - 28 m outreach		Bowthruster 1000kW
Speed/ Consumption		Tank capacity		PPP Propeller
speed at T=8.50m (85% MCR 10% sea margin)	19,10 kn	HFO	2,600 m ³	Steel pontoon, non-sequential hatch covers
speed at T=9.50m (85% MCR 10% sea margin)	18,70 kn	MGO	190 m ³	2x combi windlass/mooring winches on f.deck
speed at T=9.90m (85% MCR 10% sea margin)	18,40 kn	ballast water	9,300 m ³	1x mooring double winch on forecastle deck
Consumption (7+4 ton, 85% MCR 10% sea margin)	abt 43 mt/day	fresh water	240 m ³	4x mooring winches on aft main deck
Consumption (7+4 ton, 77% MCR 10% sea margin)	abt 39 mt/day			
Consumption (7+4 ton, 65% MCR 10% sea margin)	abt 32 mt/day			

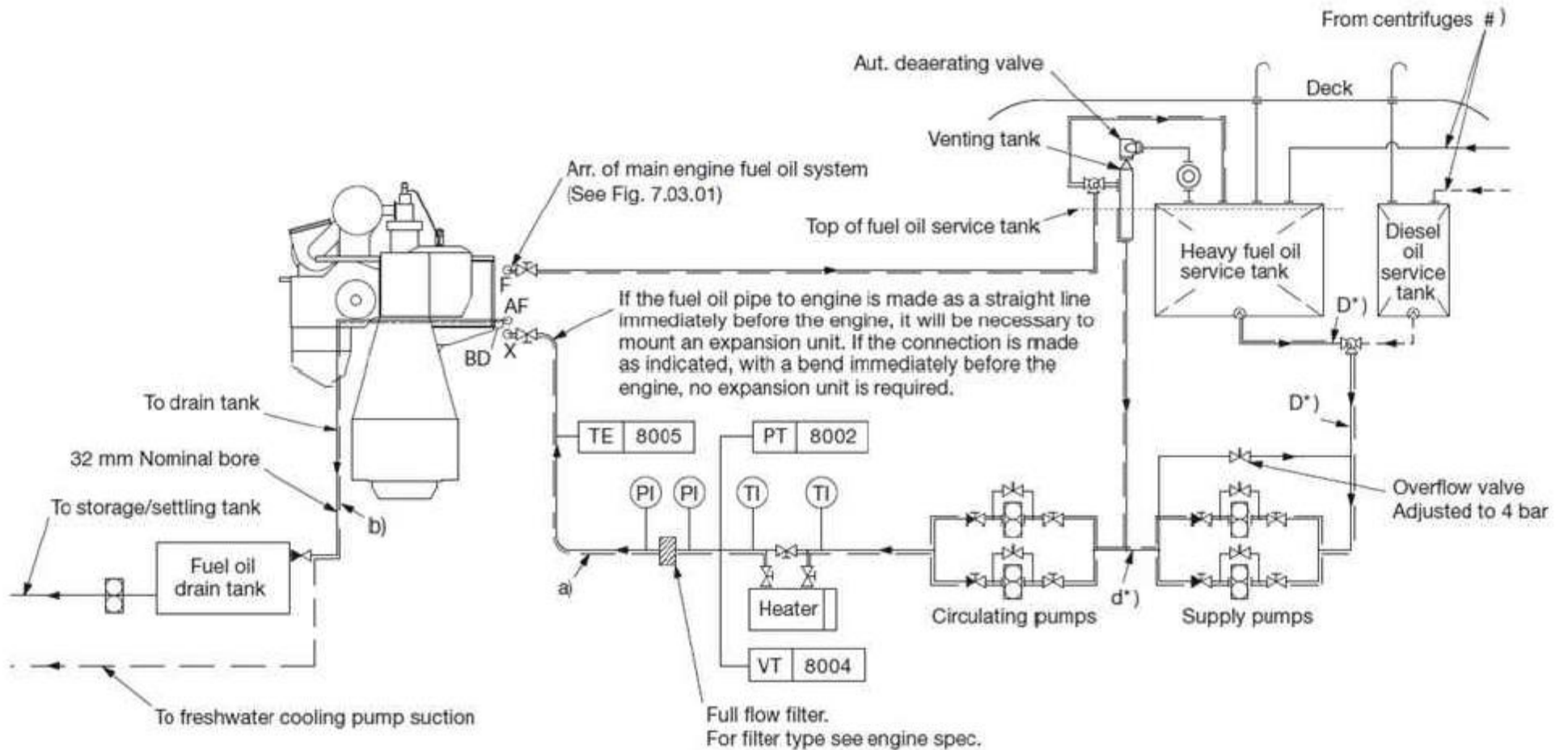
E.T.S Náutica y Máquinas Tecnologías marinas - Energía y Propulsión		NUMERO DE PROYECTO: TFG/GTM/E-02-17
TÍTULO DEL PROYECTO "INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL"		
TÍTULO DEL PLANO: PLANO DEL BUQUE		FECHA: SEPTIEMBRE 2017
AUTOR: SANTIAGO BAÑA PEREZ		ESCALA: 1:1000
FRMA:		PLANO Nº: 5

4.6. Plano nº 6: "Sistema de inyección modo gas"



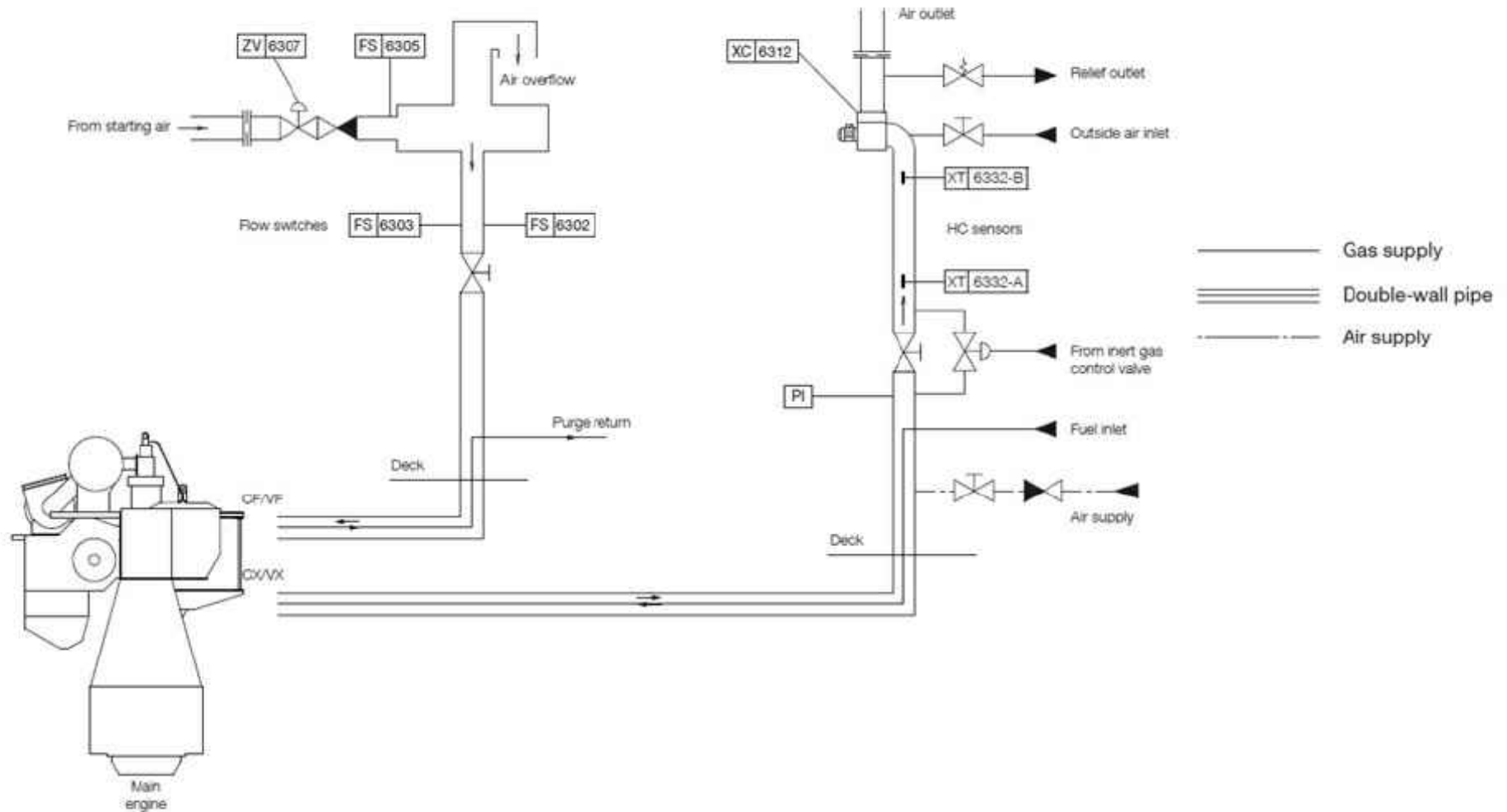
E.T.S Náutica y Máquinas Tecnologías marinas - Energía y Propulsión		NUMERO DE PROYECTO: TFG/GTME-02-17
TITULO DEL PROYECTO "INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL"		
TITULO DEL PLANO: SISTEMA DE INYECCIÓN MODO GAS		FECHA: SEPTIEMBRE 2017
AUTOR: SANTIAGO BAÑA PEREZ	FIRMA:	ESCALA: 1:100
		PLANO Nº: 6

4.7. Plano nº 7: "Sistema de suministro de F.O"



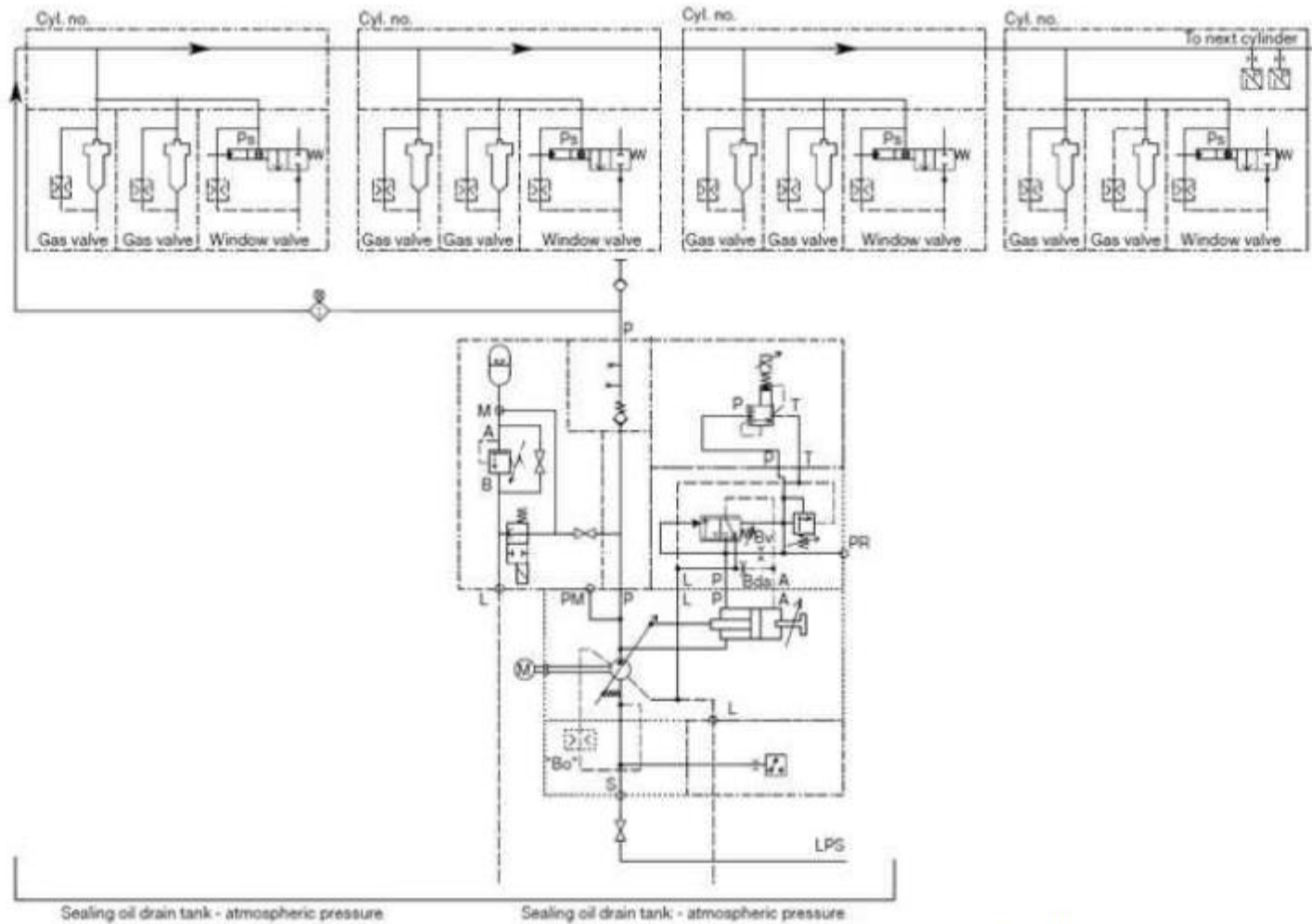
E.T.S Náutica y Máquinas Tecnologías marinas - Energía y Propulsión		NUMERO DE PROYECTO: TFG/GTM/E-02-17
TITULO DEL PROYECTO "INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL"		
TÍTULO DEL PLANO: SISTEMA DE SUMINISTRO DE F.O		FECHA: SEPTIEMBRE 2017
AUTOR: SANTIAGO BAÑA PEREZ		ESCALA: 1:100
FRMA:		PLANO Nº: 7

4.8. Plano nº 8: "Sistema de detección de fugas y ventilación"



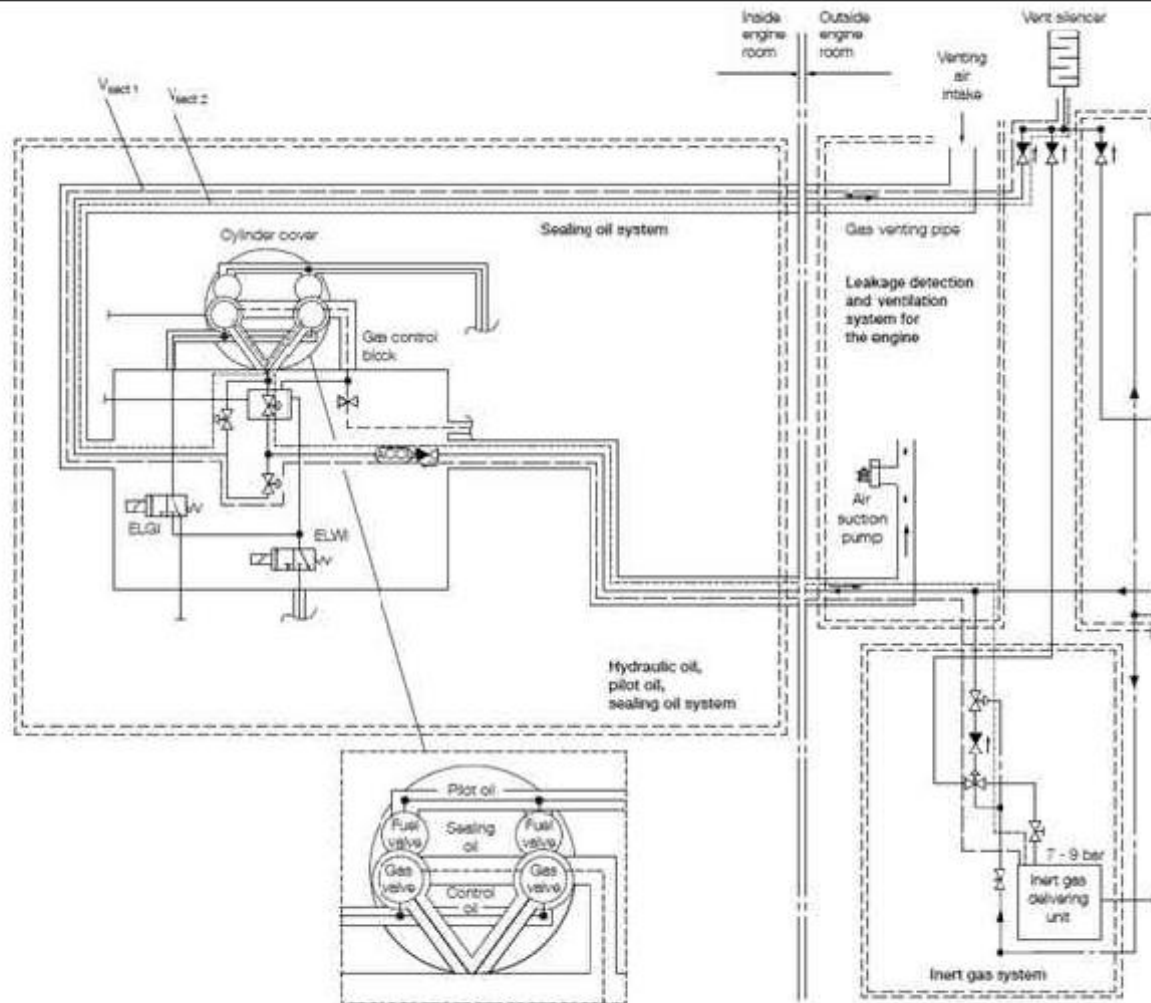
E.T.S Náutica y Máquinas Tecnologías marinas - Energía y Propulsión		NUMERO DE PROYECTO: TFG/GTM/E-02-17
TÍTULO DEL PROYECTO "INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL"		
TÍTULO DEL PLANO: SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS Y VENTILACIÓN		FECHA: SEPTIEMBRE 2017
AUTOR: SANTIAGO BAÑA PEREZ		ESCALA: 1:100
FRMA:		PLANO Nº: 8

4.9.Plano nº 9: “Sistema de sellado de aceite”



E.T.S Nautica y Máquinas		NUMERO DE PROYECTO:
Tecnologías marinas - Energía y Propulsión		TFG/GTM/E-02-17
TITULO DEL PROYECTO		
"INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL"		
TÍTULO DEL PLANO:		FECHA:
SISTEMA DE SELLADO DE ACEITE		SEPTIEMBRE 2017
AUTOR:	FIRMA:	ESCALA:
SANTIAGO BAÑA PEREZ		1:100
		PLANO Nº:
		9

4.10. Plano nº 10: “Sistema de purga de gas inerte”



E.T.S Náutica y Máquinas Tecnologías marinas - Energía y Propulsión		NUMERO DE PROYECTO: TFG/GTM/E-02-17
TITULO DEL PROYECTO "INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL"		
TÍTULO DEL PLANO: SISTEMA DE PURGA DE GAS INERTE		FECHA: SEPTIEMBRE 2017
AUTOR: SANTIAGO BAÑA PEREZ	FIRMA:	ESCALA: 1:100
		PLANO Nº: 10

“INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL”

5. PLIEGO DE CONDICIONES



GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

ENERGÍA Y PROPULSIÓN

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: SEPTIEMBRE 2017

AUTOR: Santiago Baña Pérez

Fdo.: Santiago Baña Pérez

Indice del pliego de condiciones

5.1.	Pliego de condiciones generales	108
5.1.1.	Condiciones generales	108
5.1.2.	Reglamentos y normas.....	109
5.1.3.	Materiales	109
5.1.4.	Recepción del material	110
5.1.5.	Organización	111
5.1.6.	Ejecución de las obras	111
5.1.7.	Interpretación y desarrollo del proyecto.....	112
5.1.8.	Variaciones del proyecto	113
5.1.9.	Obras complementarias	113
5.1.10.	Modificaciones.....	113
5.1.11.	Obra defectuosa	113
5.1.12.	Medios auxiliares.....	114
5.1.13.	Conservación de las obras	114
5.1.14.	Subcontratación de obras.....	114
5.1.15.	Recepción de las obras	114
5.1.16.	Contratación de astillero.....	114
5.1.17.	Contrato.....	115
5.1.18.	Responsabilidades	115
5.1.19.	Rescisión de contrato	115
5.2.	Pliego de condiciones económicas	116
5.2.1.	Mediciones y valoraciones de las obras	116
5.2.2.	Abono de las ofertas.....	116
5.2.3.	Precios	116

5.2.4.	Revisión de precios.	117
5.2.5.	Precios contradictorios.	117
5.2.6.	Penalizaciones por retrasos	117
5.2.7.	Liquidación en caso de rescisión del contrato	117
5.2.8.	Fianza.....	118
5.2.9.	Gastos diversos por cuenta del astillero.....	118
5.2.10.	Conservación de las obras durante el plazo de garantía.....	118
5.2.11.	Medidas de seguridad	118
5.2.12.	Responsabilidad por daños	119
5.2.13.	Demoras.....	119
5.3.	Pliego de condiciones facultativas	120
5.3.1.	Normas a seguir	120
5.3.2.	Personal	120
5.3.3.	Condiciones de los materiales empleados	121
5.3.4.	Admisión y retirada de materiales	121
5.3.5.	Reconocimientos y ensayos previos	121
5.4.	Pliego de condiciones técnicas.....	121
5.4.1.	Aceptación y rechazo de los materiales e instalación	121
5.4.2.	Diseño e instalación de las tuberías	122
5.4.3.	Vigilancia, pruebas y ensayos	123

5.1. Pliego de condiciones generales

El presente pliego de condiciones tiene por objeto definir al astillero, el alcance de trabajo y la ejecución cualitativa del mismo. Determina los requisitos a los que se debe ajustar el diseño y la ejecución de la instalación de todos los sistemas necesarios para llevar a cabo el retrofit del motor del buque referido en la memoria.

5.1.1. Condiciones generales

En particular deberá cumplir lo dispuesto en la norma UNE 24042 “Contratación de Obras. Condiciones Generales”, siempre que no lo modifique el presente pliego. 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 dicte. En particular deberá cumplir lo dispuesto en la Norma UNE 24042 “Contratación de obras. Condiciones generales” siempre que no lo modifique el siguiente pliego. Además, toda equipación y elementos que se instalen deberán cumplir con la normativa vigente que les afecte. A continuación se detallan los requisitos de los 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 proyecto, 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:** El contratista mantendrá en todo momento el recinto de la obra libre de la acumulación de materiales de desecho, desperdicios o escombros debiendo retirarlos a medida que estos se produzcan.

El contratista estará obligado a eliminar adecuadamente y por su cuenta en un vertedero autorizado los desechos que se produzcan durante los trabajos a ejecutar.

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

Al finalizar la obra, esta se entregará completamente limpia, libre de herramientas andamiajes y materiales sobrantes.

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 objetos de su oferta.

- **Subcontratación:** El contratista podrá subcontratar parcialmente las obras contratadas, en todo caso el contratista responderá ante la Dirección Facultativa de la 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.

Durante la ejecución de las obras, la Propiedad podrá recusar a cualquiera de los subcontratistas que no realice las obras adecuadamente, tanto en calidad como en plazo, lo que notificara por escrito al Contratista. Este deberá sustituir al subcontratista sin que dicho cambio pueda originar derecho a compensación alguna en cuanto a precio o plazo de obra.

5.1.2. 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 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 complementaran las indicaciones por los reglamentos y normas citadas.

5.1.3. 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 las relativas a la conservación de los mismos atendiendo a las particularidades de un medio hostil como es el marino.

Toda especificación o característica de materiales que figuren en cualquier documento del proyecto, aun sin figurar en los restantes es igualmente obligatoria. En caso de existir contradicción u omisión en los documentos del proyecto, aun sin figurar en los restantes es igualmente obligatoria.

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.

5.1.4. 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.

Control de calidad:

Correrá por cuenta del contratista el control de Calidad de la obra de acuerdo a la legislación vigente. El control de la 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).

Una vez adjudicada la oferta el contratista enviara a la dirección facultativa el Programa Garantía de Calidad de la obra. Todos los materiales deberán ser, como mínimo, de la calidad y características exigidas en los documentos del proyecto.

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

Muestras:

El contratista deberá presentar para su aprobación, muestras de los materiales a utilizar 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 para 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 la obra. Cualquier retraso que se origine por el rechazo de los materiales será considerado como imputable al Contratista.

5.1.5. 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.

Para los contratos de trabajo, compra de material o alquiler de elementos auxiliares que el astillero considere oportuno llevar a cabo y que no estén reflejados en el presente, solicitará la aprobación previa del director de obra, corriendo a cuenta propia del astillero.

5.1.6. Ejecución de las obras

En el plazo máximo de 15 días hábiles a partir de la adjudicación definitiva al Astillero, se comprobarán en presencia del Director de Obra, de un representante del Astillero y del armador del barco, el replanteo de las obras efectuadas antes de la licitación, extendiéndose la correspondiente Acta de Comprobación del Reglamento.

Dicho Acta, reflejará la conformidad del replanteo a los documentos contractuales, refiriéndose a cualquier punto, que en caso de disconformidad, pueda afectar al cumplimiento del contrato. Cuando el Acta refleje alguna variación respecto a los documentos contractuales del proyecto, deberá ser acompañada de un nuevo presupuesto valorado a los precios del contrato.

El astillero presentará el programa de trabajo de la obra, ajustándose a lo que sobre el particular especifique el director de obra, siguiendo el orden de obra que

considere oportuno para la correcta realización de la misma, previa notificación por escrito a lo mencionado anteriormente.

Cuando en el programa de trabajo se deduzca la necesidad de modificar cualquier condición contractual, dicho programa deberá ser redactado contradictoriamente por el astillero y el director de obra, acompañándose la correspondiente modificación para su tramitación.

El director de proyecto está obligado a confirmar a los superiores del astillero el comienzo de los trabajos.

La obra se ejecutará en el plazo que se estipule en el presente proyecto y así se comunicará a la dirección del astillero. Cuando el ritmo de trabajo establecido por el presente proyecto, no sea el normal, se podrán exigir responsabilidades al director de la obra.

5.1.7. 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 este 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 dar la 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 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.

De las últimas unidades de obra que deban quedar ocultas, se tomarán antes de ello, los datos precisos para su medición, a los efectos de liquidación y que sean suscritos por el técnico director de obra de hallarlos correctos. Si no se diese el

caso, la liquidación se realizará en base a los datos o criterios de medición aportados por este.

5.1.8. Variaciones del proyecto

No se consideran como mejoras o variaciones del proyecto más que aquellas que hayan sido ordenadas expresamente por el director de obra sin verificación del importe contratado.

5.1.9. Obras complementarias

El astillero tiene 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.

5.1.10. 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 en variación.

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.

El astillero no podrá, en ninguna circunstancia, hacer alteración alguna de las partes del proyecto sin autorización expresa del director de la obra. Tendrá obligación de deshacer toda clase de obra que no se ajuste a las condiciones expresadas en este documento.

5.1.11. 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 deberá tomar las decisiones que le correspondan para repararlo.

5.1.12. 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 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.

5.1.13. Conservación de las obras

Es obligación del astillero la conservación en perfecto estado de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de la recepción definitiva por la propiedad y corren a su cargo los gastos derivados de ello.

5.1.14. 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.

5.1.15. Recepción de las obras

Una vez terminadas las obras, tendrá lugar la recepción provisional y para ello se practicará en ellas un detenido reconocimiento por el Director de Obra y la propiedad en presencia del Astillero, levantando acta y empezando a correr desde ese día el plazo de garantía si se hallan en estado de ser admitidas.

De no ser admitidas, se hará constar en el acta y se darán instrucciones al Astillero para subsanar los defectos observados, fijándose un plazo para ello, expirando el cual se procederá a un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional, sin que esto suponga gasto alguno para la propiedad.

El plazo de garantía será como mínimo de un año, contando de la fecha de la recepción provisional, o bien el que establezca el contrato también contado desde la misma fecha. Durante este periodo, queda a cargo del astillero la conservación de las obras y arreglos de desperfectos derivados de una mala construcción o ejecución de la instalación.

5.1.16. Contratación de astillero

El conjunto de las instalaciones que realizará el astillero se decidirá una vez estudiado el proyecto y comprobada su viabilidad.

5.1.17. 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 director de obra deberán firmarlos en testimonio de que los conocen y aceptan.

5.1.18. Responsabilidades

El astillero será el responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el 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 los 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.

5.1.19. Rescisión de contrato

Se consideran causas suficientes para la rescisión del contrato las siguientes:

1. Quiebra del Astillero
2. Modificación del Proyecto con una alteración de más de un 25% del mismo.
3. Modificación de las unidades de obra sin autorización previa.

4. Suspensión de las obras ya iniciadas.
5. Incumplimiento de las condiciones del contrato cuando fue de mala fe.
6. Terminación del plazo de ejecución de la obra sin haberse llegado a completar esta.
7. Actuación de mala fe en la ejecución de los trabajos.
8. Destajar o subcontratar la totalidad o parte de la obra a terceros sin autorización del Director de Obra y del Propietario.

5.2. Pliego de condiciones económicas

5.2.1. 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.

El astillero se pondrá de acuerdo con el director de obra, 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.

5.2.2. Abono de las ofertas

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.

Terminadas las obras se procederá a la liquidación final que se efectuará de acuerdo con los criterios establecidos en el contrato.

5.2.3. Precios

El astillero presentará, la relación de los precios de las unidades de obra que integran el proyecto, los cuales de ser aceptados tendrán valor contractual y se aplicarán las posibles variaciones que pueda haber.

Estos precios unitarios, se entiende que comprenden la ejecución total de la unidad de obra, incluyendo todos los trabajos aun los complementarios y los materiales, así como la parte proporcional de imposición fiscal, las cargas laborales y otros gastos repercutibles.

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.

5.2.4. 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.

5.2.5. Precios contradictorios.

Si por cualquier circunstancia se hiciese necesaria la determinación de algún precio contradictorio, el director de obra lo formulará basándose en los que han servido para la formación del presupuesto de este proyecto.

5.2.6. Penalizaciones por retrasos

Por retrasos en los plazos de entrega de las obras, se podrán establecer tablas de señalización cuyas cuantías y demoras se fijarán en el contrato. Estas cuantías podrán, bien ser cobradas a la finalización de las obras, bien ser descontadas de la liquidación final.

5.2.7. 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.

5.2.8. 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.

La fianza retenida se abonará al Astillero en un plazo no superior a treinta días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra.

5.2.9. Gastos diversos por cuenta del astillero

El astillero tiene la obligación de montar y conservar por su cuenta el adecuado suministro de elementos básicos como agua, energía eléctrica y cuanto uso personal para las propias obras sea preciso.

Son gastos por cuenta del astillero, los correspondientes a los materiales, mano de obra y medios auxiliares que se requieren para la correcta ejecución de la obra.

5.2.10. Conservación de las obras durante el plazo de garantía

Correrán por cuenta del astillero los gastos derivados de la conservación de las 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.

5.2.11. Medidas de seguridad

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

5.2.12. Responsabilidad por daños

La propiedad tiene concertada una póliza de responsabilidad civil por daños causados a terceros, en el que figura el astillero como asegurado. Este seguro asegura la responsabilidad civil de los daños causados accidentalmente a terceros con motivo de las obras.

En dicha póliza queda garantizada la responsabilidad civil que pueda serle exigida al astillero por daños físicos y materiales causados a terceros por los empleados del mismo.

Queda no obstante excluida toda prestación que deba ser objeto de seguro obligatorio de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales de la seguridad social, a los cuales, en ningún caso, esta póliza podrá sustituir y complementar.

Igualmente quedan excluidas las sanciones de cualquier tipo tanto las multas, como los recargos en las indemnizaciones exigidas por la legislación laboral.

5.2.13. 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:

- 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.

5.3. Pliego de condiciones facultativas

5.3.1. Normas a seguir

Las obras a realizar estarán de acuerdo y se regirán 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 por Orden del 9/3/71 del Ministerio de Trabajo.
- Normas UNE
- Normas de la compañía suministradora de los materiales.
- Lo indicado en este Pliego de Condiciones con preferencia a todos los códigos

5.3.2. 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. El astillero, estará obligado a separar de la obra a aquel personal que a juicio del director no cumpla con sus obligaciones o realice

el trabajo defectuosamente, bien por falta de conocimientos o por obras de mala fe.

5.3.3. Condiciones de los materiales empleados

Describiremos de la forma más completa posible, las condiciones que deben de cumplir los materiales que se emplearán en la construcción del proyecto, siendo los más adecuados para su correcto resultado final.

5.3.4. 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 y pruebas con los materiales e instrumentos de obra que ordene el director de obra.

5.3.5. Reconocimientos y ensayos previos

Cuando lo estime oportuno el director de obra, podrá encargar y ordenar la comprobación de los materiales, elementos o instalaciones, bien sea en fábrica de origen o en la misma obra, según crea 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.

5.4. Pliego de condiciones técnicas

5.4.1. Aceptación y rechazo de los materiales e instalación

Todos los materiales cumplirán en pruebas, con la norma UNE e ISO que les correspondan y en su defecto, aquellas normas aplicables a cada tipo de material.

El incumplimiento de cada una de las normas será motivo de rechazo del material correspondiente.

5.4.2. Diseño e instalación de las tuberías

Después de la construcción e instalación de las tuberías, debe ser posible inspeccionar el interior de los tramos críticos de cada circuito.

La tubería del circuito externo deberá trazarse de forma que se tenga un buen acceso a los equipos, tanto para su operación local como para futuros mantenimientos. Por tanto, deberá garantizarse un espacio suficiente que permita el desmontaje de los diferentes elementos que componen el sistema.

Los tubos que transporten fluidos inflamables no deberán disponer en la cercanía de los filtros de las tomas de aire. Asimismo, todas las tuberías que transporten fluidos a altas temperaturas deberán estar provistas de un aislamiento adecuado.

El trazado de los circuitos debe diseñarse de forma que se evita la formación de bolsas de aire o líquidos atrapados. A menos que se indique lo contrario, en general todos los puntos más bajos y altos de cada circuito deben equiparse con tomas para purgas y venteos, respectivamente. Los drenajes de las purgas se diseñaran siempre con caída descendente.

Las conexiones de tubería de hasta 42,5 mm de diámetro del circuito de combustible serán con bridas o soldadas. Las conexiones de tubería mayores de 42,5 mm serán siempre con bridas.

Para evitar una baja caída de presión en la aspiración de las bombas y evitar su cavitación, las aspiraciones deberán estar diseñadas lo más cortas y rectas posible.

Las tuberías de los circuitos externos deberán amarrarse correctamente para evitar que se generen vibraciones. Deberán estar libres de esfuerzos por flexiones o tensiones en sus puntos de conexión con el motor. Para ello, será necesario instalar amarres, soportes y abrazaderas en las tuberías.

Para evitar que las tensiones y fuerzas generadas en las conexiones de tubería actúen sobre elementos vulnerables como las bombas acopladas, estas tuberías deberán soportarse lo más cerca posible de estas conexiones.

Tanto las tuberías como sus amarres deberán dimensionarse de forma que puedan soportar cargas localizadas y circunstanciales muy por encima de la carga

de trabajo soportada normalmente, como por ejemplo, un operario de pie sobre la misma.

En las conexiones de tubería donde se disponga de dilatadores o mangueras flexibles, estos, deberán sujetarse en los dos extremos. La distancia entre soportes y la conexión flexible no deberá ser más de cuatro veces el diámetro de la tubería.

5.4.3. Vigilancia, pruebas y ensayos

Durante la obra, se inspeccionará la construcción y el montaje de los circuitos de los fluidos, bombas, tuberías y accesorios para comprobar que las instalaciones cumplen con las prescripciones y que se está construyendo conforme a los planos aprobados por la Administración.

Pruebas hidráulicas antes de montura a bordo:

Antes de montar las bridas y otros elementos de unión, las tuberías susceptibles de estar sometidas en servicio a presiones superiores a 10 Kg/cm³, se someterá a una prueba hidráulica con una presión por lo menos igual o dos veces a la presión de servicio.

Pruebas hidráulicas después de montura a bordo:

Después de efectuada la montura, una vez en su lugar los accesorios y realizadas las juntas, se procederá a efectuar una prueba hidráulica donde la presión de prueba será por lo menos igual a 1,5 veces la presión de servicio.

Las válvulas en los tanques de combustible:

Todas las tuberías de combustible que salgan del tanque y que si sufriesen daños, fuesen susceptibles de dejar escapar combustible del tanque, deben contar con una válvula de retención instalada directamente en el tanque. La válvula no debe de ser de fundición, aunque se permite el uso de fundición nodular. La válvula de retención debe disponer de sistemas de cierre tanto in situ como desde un lugar fácilmente accesible y seguro, fuera de la sala de máquinas. Para tanques cuya capacidad esté por debajo de los 500 litros, se puede prescindir del sistema de cierre remoto.

Llenado y rebose:

En general, las líneas de llenado entran por, o se encuentran situadas cerca de la parte superior del tanque, pero si no fuera posible, deberá estar provista de una válvula antiretorno situada en el tanque. Por otra parte, la línea de llenado deberá estar provista de una válvula operable de forma remota.

“INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL”

6. ESTADO DE MEDICIONES



GRADO EN TECNOLOGÍA MARINA ENERGÍA Y PROPULSIÓN

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: SEPTIEMBRE 2017

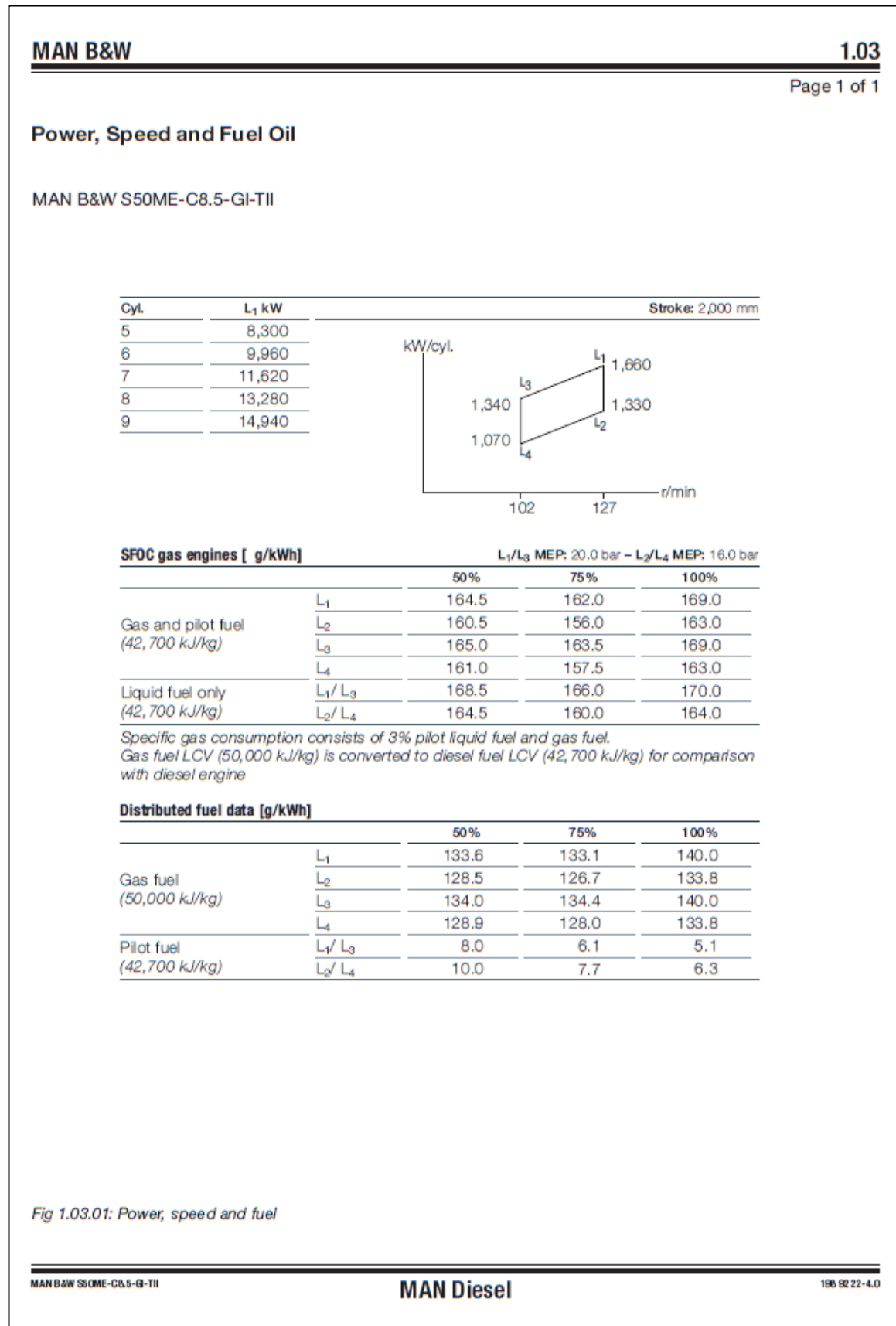
AUTOR: Santiago Baña Pérez

Fdo.: Santiago Baña Pérez

Indice del estado de mediciones

6.1.	Motor MAN M&W S50ME-C8.5-GI-TII	127
6.2.	Bomba criogénica MSP-GU	130

6.1. Motor MAN M&W S50ME-C8.5-GI-TII



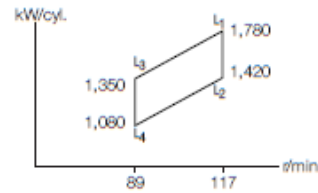
MAN B&W**1.03**

Page 1 of 1

Power, Speed and Fuel Oil

MAN B&W S50ME-C9.5-GI-TII

Cyl.	L ₁ kW	Stroke: 2,214 mm
5	8,900	
6	10,680	
7	12,460	
8	14,240	
9	16,020	

**Fuel Oil**L₁ MEP: 21.0 bar**MAN B&W S50ME-C9****L₁ SFOC [g/kWh]**

SFOC-optimised load range	Tuning	50%	75%	100%
High load	-	167.5	165.0	169.0
Part load	EGB	164.5	163.5	170.5
Low load	EGB	162.5	164.5	170.5

Dual Fuel Mode for GI (Methane)L₁ MEP: 21.0 bar**MAN B&W S50ME-C9-GI****L₁ SFOC equivalent gas + pilot fuel (42,700 kJ/kg) [g/kWh]***

SFOC-optimised load range	Tuning	50%	75%	100%
High load	-	163.5	161.0	168.0
Part load	EGB	164.5	163.5	170.5
Low load	EGB	162.5	164.5	170.5

L₁ SGC 50,000 kJ/kg (SPOC pilot fuel 42,700 kJ/kg) [g/kWh]

SFOC-optimised load range	Tuning	50%	75%	100%
High load	-	132.8 (8.0)	132.4 (6.1)	139.2 (5.0)
Part load	EGB	133.5 (8.1)	134.4 (6.2)	141.2 (5.1)
Low load	EGB	131.8 (8.1)	135.3 (6.2)	141.2 (5.1)

* Gas fuel LCV (50,000 kJ/kg) is converted to fuel oil LCV (42,700 kJ/kg) for comparison with fuel oil operated engine.

SFOC for derated engines can be calculated in the CEAS application at www.marine.man.eu → 'Two-Stroke' → 'CEAS Engine Calculations'.

Fig 1.03.01: Power, speed and fuel oil

MAN B&W S50ME-C9.5-GI-TII

MAN Diesel

199 06 83-91

MAN B&W

1.07

Page 1 of 1

Engine Cross Section of S50ME-C7/8/-GI

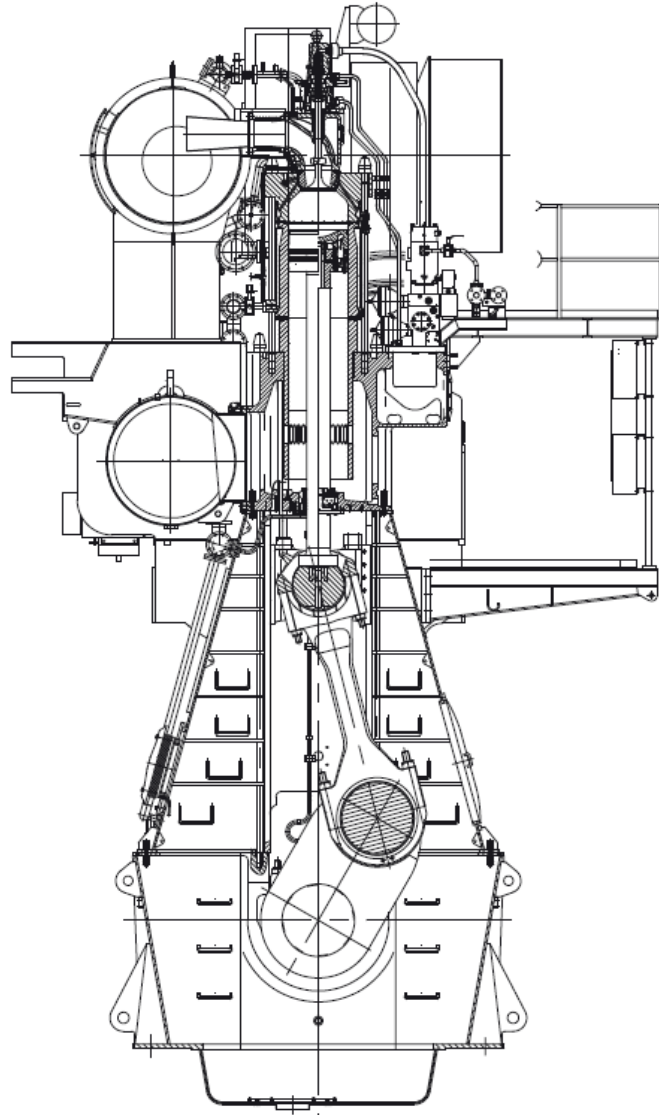


Fig.: 1.07.01: Engine cross section

3177204-4.2.0

MAN B&W S50ME-C7/8/-GI

MAN Diesel

19882 14-7.0

6.2. Bomba criogénica MSP-GU

High Pressure FSP Skids						
ME-GI Engine						
S50ME-C8	Kw	Kg/H	Max Bar	Duty Type*	HP Model Type	Cold End Bore Size
5 cyl	8,300	1,204	350	short run	MSP-SG	50 mm
6 cyl	9,960	1,444	350	short run	MSP-SG	50 mm
7 cyl	11,620	1,685	350	medium run	MSP-GU	51 mm
8 cyl	13,280	1,926	350	medium run	MSP-GU	51 mm
9 cyl	14,940	2,166	350	medium run	MSP-GU	51 mm
S60ME-C8	Kw	Kg/H	Max Bar	Duty Type	HP Model Type	Cold End Bore Size
5 cyl	11,900	1,726	350	medium run	MSP-GU	51 mm
6 cyl	14,280	2,071	350	long run	MSP-SL	64 mm
7 cyl	16,660	2,416	350	long run	MSP-SL	64 mm
8 cyl	19,040	2,761	350	long run	MSP-SL	64 mm
S70ME-C8	Kw	Kg/H	Max Bar	Duty Type	HP Model Type	Cold End Bore Size
5 cyl	16,350	2,371	350	medium run	MSP-GU	51 mm
6 cyl	19,620	2,845	350	long run	MSP-SL	64 mm
7 cyl	22,890	3,319	350	long run	MSP-SL	64 mm
8 cyl	26,160	3,793	350	long run	MSP-SL	64 mm
S80ME-C8	Kw	Kg/H	Max Bar	Duty Type	HP Model Type	Cold End Bore Size
6 cyl	27,060	4,330	350	medium run	MSP-GU	51 mm
7 cyl	31,570	5,051	350	long run	MSP-SL	64 mm
8 cyl	36,080	5,773	350	long run	MSP-SL	64 mm
9 cyl	40,590	6,494	350	long run	MSP-SL	64 mm
S90ME-C8	Kw	Kg/H	Max Bar	Duty Type	HP Model Type	Cold End Bore Size
6 cyl	31,620	4,901	350	long run	MSP-SL	64 mm
7 cyl	36,890	5,718	350	long run	MSP-SL	73 mm
8 cyl	42,160	6,535	350	long run	MSP-SL	73 mm
9 cyl	47,430	7,352	350	long run	MSP-SL	73 mm



Figura 6.2.1 – Bomba MSP – GU [58]

“INGENIERÍA MARINA: ADAPTACIÓN DE LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES PARA CONSUMO DE GNL”

7.PRESUPUESTO



GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

ENERGÍA Y PROPULSIÓN

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: **SEPTIEMBRE 2017**

AUTOR: Santiago Baña Pérez

Fdo.: Santiago Baña Pérez

Índice del presupuesto

7.1.	Precios descompuestos.....	133
7.1.1.	Capítulo 1: Tanques de almacenamiento	133
7.1.2.	Capítulo 2: Bombas Criogénicas	133
7.1.3.	Capítulo 3: Espacio del tanque de conexión	133
7.1.4.	Capítulo 4: GVU	134
7.1.5.	Capítulo 5: Estación Bunker	134
7.1.6.	Capítulo 6: Sistema de calentamiento con glicol	134
7.1.7.	Capítulo 7: Tuberías	135
7.1.8.	Capítulo 8: Sistema de seguridad.....	135
7.1.9.	Capítulo 9: Sistema de control	135
7.1.10.	Capítulo 10: Estaciones de operación	136
7.1.11.	Capítulo 11: Retrofit del motor.....	136
7.1.12.	Capítulo 12: Obras realizadas en astillero.....	136
7.2.	Resumen de capítulos	137

7.1. Precios descompuestos

7.1.1. Capítulo 1: Tanques de almacenamiento

		Pág.: 1
	PRESUPUESTO	Ref.: propre1
	Tanques de almacenamiento	Fec.:

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

01 Tanques de almacenamiento

01.01 1.1	Tanque de almacenamiento del LNG, con todas las conexiones y válvulas necesarias.	2,00	120.000,00 €	240.000,00 €
--------------	---	------	--------------	--------------

Total Capítulo 01 240.000,00 €

7.1.2. Capítulo 2: Bombas Criogénicas

		Pág.: 2
	PRESUPUESTO	Ref.: propre1
	Bombas Criogénicas	Fec.:

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

02 Bombas Criogénicas

02.01 2.1	Bombas criogénicas MSP-GU de la marca ACD Cryo que entrega un caudal de 1926 kg/h a una presión máxima de 350 bar. Incluidos todas las conexiones y motor eléctrico.	2,00	155.000,00 €	310.000,00 €
--------------	--	------	--------------	--------------

Total Capítulo 02 310.000,00 €

7.1.3. Capítulo 3: Espacio del tanque de conexión

		Pág.: 3
	PRESUPUESTO	Ref.: propre1
	Espacio del tanque de conexión	Fec.:

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

03 Espacio del tanque de conexión

03.01 3.1	Vaporizador principal de gas. Potencia de calefacción = 650 kW. Flujo de agua-glicol = 145 m3/h.	1,00	55.000,00 €	55.000,00 €
03.02 3.2	Vaporizador de regulación de la presión del tanque. Potencia de calefacción = 701 kW. Flujo de agua-glicol = 145 m3/h.	1,00	45.000,00 €	45.000,00 €
03.03 3.3	Conjunto de todas las válvulas necesarias del tanque de conexión.	1,00	26.000,00 €	26.000,00 €
03.04 3.4	Tanque aislado tamaño grande medidas (4,8 x 2,8 x 4,145) con todas las conexiones.	1,00	67.000,00 €	67.000,00 €

Total Capítulo 03 193.000,00 €

7.1.4. Capítulo 4: GVU

		Pág.: 4
	PRESUPUESTO	Ref.: propre1
	GVU	Fec.:

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

04 GVU

04.01 4.1	Válvula Gas ValveUnit de Wärtsillä Enclosed Design	1,00	62.000,00 €	62.000,00 €
04.02 4.2	Medidor del flujo másico por efecto Coriolis	1,00	7.500,00 €	7.500,00 €

Total Capítulo 04 69.500,00 €

7.1.5. Capítulo 5: Estación Bunker

		Pág.: 5
	PRESUPUESTO	Ref.: propre1
	Estación bunker	Fec.:

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

05 Estación bunker

05.01 5.1	Estación Bunker para el suministro de LNG al tanque de almacén con todas las válvulas y conexiones.	1,00	37.000,00 €	37.000,00 €
--------------	---	------	-------------	-------------

Total Capítulo 05 37.000,00 €

7.1.6. Capítulo 6: Sistema de calentamiento con glicol

		Pág.: 6
	PRESUPUESTO	Ref.: propre1
	Sistema de calentamiento con glicol	Fec.:

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

06 Sistema de calentamiento con glicol

06.01 6.1	Bombas del sistema de agua-glicol con motor eléctrico y todas las conexiones necesarias.	2,00	16.000,00 €	32.000,00 €
06.02 6.2	Intercambiador de calor para calefacción del sistema agua-glicol con el agua de refrigeración del motor.	1,00	12.000,00 €	12.000,00 €
06.03 6.3	Tanque de expansión para los cambios de volumen del agua-glicol debido a cambios de temperatura.	1,00	9.000,00 €	9.000,00 €

Total Capítulo 06 53.000,00 €

7.1.7. Capítulo 7: Tuberías

		PRESUPUESTO		Pág.: 7
		Tuberías		Ref.: propre1
				Fec.:
N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
07	Tuberías			
07.01 7.1	Tubería de doble pared del circuito del LNG	1,00	54.000,00 €	54.000,00 €
07.02 7.2	Tuberías del sistema de calefacción de agua-glicol	1,00	9.000,00 €	9.000,00 €
07.03 7.3	Tuberías del sistema de bunker	1,00	18.000,00 €	18.000,00 €
Total Capítulo 07				81.000,00 €

7.1.8. Capítulo 8: Sistema de seguridad

		PRESUPUESTO		Pág.: 8
		Sistema de seguridad		Ref.: propre1
				Fec.:
N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
08	Sistema de seguridad			
08.01 8.1	Conjunto de los detectores de hidrocarburos	1,00	45.000,00 €	45.000,00 €
08.02 8.2	Generadores de nitrógeno para el inertado del sistema.	1,00	65.000,00 €	65.000,00 €
08.03 8.3	Conjunto de todas las válvulas de seguridad de alivio de presión.	1,00	10.000,00 €	10.000,00 €
08.04 8.4	Ventiladores del sistema de detección de fugas del interior de las tuberías.	2,00	7.000,00 €	14.000,00 €
Total Capítulo 08				134.000,00 €

7.1.9. Capítulo 9: Sistema de control

		PRESUPUESTO		Pág.: 9
		Sistema de control		Ref.: propre1
				Fec.:
N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
09	Sistema de control			
09.01 9.1	Cuadro del PLC, con todos los elementos necesarios para el control automático del sistema.	1,00	134.000,00 €	134.000,00 €
09.02 9.2	Cuadros neumáticos para el control de las válvulas solenoides con todos los elementos.	1,00	42.000,00 €	42.000,00 €
09.03 9.3	Panel para controlar el proceso del bunker	1,00	62.000,00 €	62.000,00 €
Total Capítulo 09				238.000,00 €

7.1.10. Capítulo 10: Estaciones de operación

		Pág.: 10
	PRESUPUESTO	Ref.: propre1
	Estaciones de operación	Fec.:

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

10 Estaciones de operación

10.01 10.1	Estaciones de operación del sistema del LNG Pack. Una para el control de máquinas y otra para el puente.	2,00	98.000,00 €	196.000,00 €
---------------	--	------	-------------	--------------

Total Capítulo 10 196.000,00 €

7.1.11. Capítulo 11: Retrofit del motor

		Pág.: 11
	PRESUPUESTO	Ref.: propre1
	Retrofit del motor	Fec.:

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

11 Retrofit del motor

11.01 11.1	Culatas del motor con todos sus accesorios.	8,00	19.000,00 €	152.000,00 €
11.02 11.2	Bloque de control de gas con la válvula FVA, ELGI y ELWI.	1,00	79.000,00 €	79.000,00 €
11.03 11.3	Inyectores de gas al motor. Hay 2 por cada culata.	16,00	9.000,00 €	144.000,00 €
11.04 11.4	Inyectores del Fuel Piloto. Hay 2 por cada culata.	16,00	5.000,00 €	80.000,00 €
11.05 11.5	Válvula de los gases de escape. Hay 1 por cada culata.	8,00	4.500,00 €	36.000,00 €

Total Capítulo 11 491.000,00 €

7.1.12. Capítulo 12: Obras realizadas en astillero

		Pág.: 12
	PRESUPUESTO	Ref.: propre1
	Obras realizadas en astillero	Fec.:

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

12 Obras realizadas en astillero

12.01 12.1	Entrada del buque en dique seco, realización de las obras, gastos, certificaciones, inspecciones, y demás.	1,00	550.000,00 €	550.000,00 €
---------------	--	------	--------------	--------------

Total Capítulo 12 550.000,00 €

Total Presupuesto 2.592.500,00 €

7.2. Resumen de capítulos

		Pág.: 1
	RESUMEN DE CAPÍTULOS	Ref.: proes1
		Fec.:

Nº Orden	Descripción de los capítulos	Importe	%
01	Tanques de almacenamiento	240.000,00	9,26 %
02	Bombas Criogénicas	310.000,00	11,96 %
03	Espacio del tanque de conexión	193.000,00	7,44 %
04	GVU	69.500,00	2,68 %
05	Estación bunker	37.000,00	1,43 %
06	Sistema de calentamiento con glicol	53.000,00	2,04 %
07	Tuberías	81.000,00	3,12 %
08	Sistema de seguridad	134.000,00	5,17 %
09	Sistema de control	238.000,00	9,18 %
10	Estaciones de operación	196.000,00	7,56 %
11	Retrofit del motor	491.000,00	18,94 %
12	Obras realizadas en astillero	550.000,00	21,22 %

TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	2.592.500,00 €
13 % Gastos Generales	337.025,00 €
6 % Beneficio Industrial	155.550,00 €
TOTAL EJECUCIÓN POR CONTRATA	3.085.075,00 €
21 % I.V.A.	647.865,75 €
TOTAL PRESUPUESTO C/IVA	3.732.940,75 €

Asciende el presupuesto proyectado, a la expresada cantidad de:

TRES MILLONES SETECIENTOS TREINTA Y DOS MIL NOVECIENTOS CUARENTA EUROS CON SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS

18 de Agosto de 2017

LA PROPIEDAD

LA DIRECCIÓN TÉCNICA

LA CONSTRUCTORA

Fdo.:

Fdo.:

Fdo.:

