

GRADO EN NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO
TRABAJO FIN DE GRADO

***ESTUDIO TÉCNICO DE MANIOBRAS DE
SUMINISTRO CON GAS NATURAL LICUADO***

Alumno/Alumna: IZAGUIRRE NOGUEIRA, JOKIN

Director/Directora (1): ALCEDO MOMOITIO, IÑAKI

Curso: 2019-2020

Fecha: <BILBAO, 01, febrero, 2020>

HOJA DE CORTESÍA

RESUMEN

EL propósito de este trabajo es estudiar la viabilidad del GNL teniendo en cuenta la reducción de emisiones de la normativa MARPOL en 2020 y estudiar las maniobras utilizadas para trasegar el combustible GNL de forma segura.

A lo largo de este trabajo se estudiarán los compuestos de emisión entre el GNL y combustibles diésel como el HFO y otras alternativas con bajo porcentaje de azufre como el VLSO, así como los efectos provocados por la emisión de NO_x, SO_x y CO_x en el medio ambiente. Se estudiará el precio del GNL en el mercado y sus posibilidades para ser en el futuro un combustible eficiente y con precios razonables. Se estudiará varios de los sistemas implantados en los puertos para trasladar y suministrar el GNL como por ejemplo el TTS y STS. Además, de una descripción detallada de cómo organizar una maniobra de suministro teniendo en cuenta el sistema utilizado dividiendo la maniobra en tres periodos de actuación. Se estudiará en qué consiste un estudio de compatibilidad entre el emisor y el receptor teniendo en cuenta condiciones del clima, de comunicación y las interconexiones de las mangueras. Se explicará los riesgos de fuga durante una maniobra de suministro y en que otros peligros podría derivar de no ser controlada. Finalmente, se realizará una colección de normativas que regulan diferentes aspectos del *bunkering* desde infraestructuras portuarias hasta regulaciones para la formación y certificación de operarios a bordo.

Como resultado, después de haber realizado el trabajo he llegado a la conclusión de que el GNL es un compuesto que tiene una gran capacidad de desarrollo en el sector marítimo pudiendo crear nuevas rutas alternativas, pudiéndose mejorar la eficiencia y velocidad en sus servicios y teniendo posibilidades de ser la nueva opción energética del sector marítimo.

ABSTRACT

The purpose of this assignment is to study the feasibility of the LNG taking into account the reduction of emissions of the MARPOL regulation in 2020 and to study the maneuvers used for transporting LNG in a safely manner.

Throughout this study, the LNG and diesel fuels, such as the HFO, components will be studied along with other low sulfur alternatives like the VLSO. Furthermore, the effects provoked by NO_x, SO_x and CO_x emissions in the environment will be studied. The price of the GNL in the market and its possibilities to be an efficient fuel in the future will be covered along with several systems implanted in the ports for moving and supplying the LNG, like the TTS and the STS.

Moreover, a detailed description of how to organize a maneuver in the supply taking into consideration the system employed will be studied, dividing the maneuver in 3 courses of action. A study that consists of the compatibility between the transmitter and the receptor taking into account climate conditions, communications and the interconnection of the hoses. The leakage risks during a supply maneuver will be studied and the risks of not controlling them. Finally, a regulatory compilation will be provided of the different aspects covering the bunkering, from the port infrastructures to the regulations for the formation and certifications of the on-board operators.

As a result, the capacity of the LNG for being a component with a great capacity of development in the maritime sector is reached as a conclusion and it is possible for the LNG to be able to create new alternative routes, improving both the efficiency and the speed in its services and having the possibility to be a new energetic option for the maritime sector.

LABURPENA

Lan honen helburua, gas natural likidotuaren bideragarritasuna, 2020an MARPOL araudiak ezarritako emisio-murrizketa kontuan hartuta, eta gas natural likidotua modu seguruan garraiatzeko erabilitako maniobrak aztertzea da.

Lan honetan zehar, gas natural likidotuaren eta diesel erregaien (HFO) eta sufre-ehuneko txikia duten beste aukera batzuen (VLSO) arteko emisio-konposatuak aztertuko dira, bai eta NO_x, SO_x eta CO_x isurtzeak ingurumenean eragindako ondorioak ere. Gas natural likidotuak merkatuan duen prezioa eta etorkizunean erregai eraginkorra eta arrazoizko prezioekin izateko dituen aukerak ikertuko dira. Portuetan gas natural likidotua lekualdatzeko eta hornitzeko ezarritako hainbat sistema analizatuko dira, hala nola LPSa eta STS. Gainera, hornidura-maniobra bat antolatzeko moduaren deskribapen xehatua, erabilitako sistema kontuan hartuta, maniobra hiru jarduketa-alditan zatituz. Igorlearen eta hartzailearen arteko bateragarritasun-azterketa zertan datzan aztertuko da, klimaren baldintzak, komunikaziokoak eta mahuken interkonexioak kontuan hartuta. Hornidura-maniobra batean ihes egiteko arriskuak azalduko dira, bai eta beste arrisku batzuk ere, kontrolatu ezean. Azkenik, bunkeringaren hainbat alderdi arautzen dituzten araudien bilduma bat egingo da, portu-azpiegiturretatik hasi eta ontzietako langileen prestakuntzarako eta ziurtaginerako erregulazioetaraino.

Ondorioz, lana egin ondoren, gas natural likidotua itsas sektorean garatzeko gaitasun handia duen konposatua dela, eta bide alternatibo berriak sor ditzakeela, zerbitzuen eraginkortasuna eta abiadura hobetu daitezkeela eta itsas sektorearen energia-aukera berria izateko aukerak dituela, ondorioztatu dut.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	ii
Lista de referencias.....	vii
Lista de figuras	vii
Glosario	vii
Introducción.....	1

CAPÍTULO 1. PROPIEDADES DEL GAS NATURAL LICUADO 4

1.1. Comparativa del gas natural con el fueloil.....	4
1.2. Características de las emisiones del GNL y el medio ambiente	5
1.2.1. Emisiones de Dióxido y Monóxido de Carbono	5
1.2.2. Emisiones de óxido de Nitrógeno.....	5
1.2.3. Emisiones de óxido de azufre.....	5
1.3. Zonas ECA	6
1.4. Comparación de precios del GNL con otras alternativas	9
1.5. Iniciativas de bunkering GNL en Europa	11
1.5.1. Puerto de Rotterdam	12
1.5.2. Puerto de Stockholm.....	12
1.5.3. Puerto de Zeebrugge.....	13
1.5.4. Puerto de Huelva	13
1.5.5. Puerto de Bilbao	14

CAPÍTULO 2. BUNKERING GNL 15

2.1. Tipos de bunkering.....	15
2.1.1. TTS	16
2.1.2. STS	18
2.1.3. PTS	20
2.1.4. CTS.....	22

2.2. Estudio de compatibilidad	23
2.2.1. Check List.....	25
2.3. Operaciones del bunkering	26
2.3.1. Operaciones previas.....	26
2.3.2. Operaciones durante	29
2.3.3. Operaciones después.....	29
2.4. Seguridad.....	30
2.4.1. Peligros del LNG	30
2.4.2. Zonas de prevención.....	33
<u>CAPÍTULO 3. REGULACIÓN DEL BUNKERING</u>	36
<u>CAPÍTULO 4. FORMACIÓN DEL PERSONAL A BORDO</u>	42
<u>CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN</u>	45
<u>ANEXO I. CERTIFICADOS DE FORMACIÓN</u>	47
<u>LISTA DE REFERENCIAS</u>	49
6.1. Referencias bibliográficas.....	49
6.2. Artículos científicos	49
6.3. Referencias web	50

Lista de referencias

Tabla nº1: Emisiones contaminantes.	4
Tabla nº2: Tipos de combustibles.	9

Lista de figuras

Imagen nº1: Porcentaje de emisiones SO _x y NO _x .	7
Imagen nº2: Europe LNG Price.	10
Imagen nº3: Precios de VLSO y ULSO en Europa.	10
Imagen nº4: Estructuras de bunkering Europa.	12
Imagen nº5: Multi truck to ship.	14
Imagen nº6: Tipos de bunkering.	15
Imagen nº7: Sistema TTS.	16
Imagen nº8: Sistema de bunkering STS.	19
Imagen nº9: Procedimiento PTS.	22
Imagen nº10: Brittany Ferries CTS.	23
Imagen nº11: Mooring Plan D.	24
Imagen nº12: Bunkering terminal de Pakistán.	25
Imagen nº13: Planificación de la comunicación.	27
Imagen nº14: Peligros del LNG.	31
Imagen nº15: Piscina de fuego.	33
Imagen nº16: Contornos de seguridad.	35
Imagen nº17: Roles durante el bunkering.	43
Imagen nº18: Certificado de formación básica.	47
Imagen nº19: Certificado de formación avanzado.	48

Glosario

BTU: Unidad Térmica Británica.

ECA: Emission Control Area.

FERC: Federal Energy Regulatory Commission.

IFO380 e IFO180: Intermediate Fuel Oil, perteneciente al grupo residual utilizado por buque-tanques en el mercado internacional.

IGF: International viiiios hip Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels.

ISO: International Organization and Standardization.

LNG: Liquid Natural Gas.

LS380 y LS180: Low Sulfure Oil.

LSMGO: Low Sulfure Marine Gas Oil.

MGO: Marine Gasoil.

MMBTU: Un millón de BTU.

MTMSA: Marine Terminal Management and Self Assessment.

OMI: Organización Marítima Internacional.

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PHMSA: Piperline and Hazardous Materials Safety Administration.

Stripping: Bomba alternativa que se utiliza para retirar remanentes de tanques y líneas de carga/descarga.

ULSFO: Ultra Low Sulfure Fuel Oil.

VLSFO: Very Low Sulfure Fuel

Estructura



Introducción

El sector marítimo está ligado a un gran porcentaje de emisiones NO_x, SO_x y CO₂ emitiendo respectivamente el 20%, 15% y 3% de las emisiones globales contribuyendo a un aumento del efecto invernadero, de los contaminantes atmosféricos, del ruido y de contaminantes del agua. La Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) en 2018 publicó un informe afirmando que el sector marítimo representaba uno de los sectores de mayor aumento siendo directamente proporcional al aumento emisiones generadas estimando un aumento del 14 % de CO₂ para el año 2050.

La OMI es un organismo dependiente de la ONU encargado de promover la seguridad marítima en los buques y de preservar el estado del medio marino contando con 174 países miembros. La

OMI ha estado actuando con publicaciones como el convenio MARPOL ANEXO V para el cuidado del medio ambiente, siendo la reducción de emisiones de SO_x una de sus principales preocupaciones. Esta normativa ha ido endureciéndose a lo largo de los años hasta la última de sus actualizaciones en 2020 donde reducía los niveles de emisión del azufre por debajo del 0.5% en zonas globales.

Muchas alternativas como biocombustibles basados en algas, instalaciones suplementarias en los buques, investigaciones de propulsión con amoníaco, combustibles diésel con bajo nivel de azufre y el gas natural licuado han recibido apoyo económico para su investigación siendo las principales opciones del futuro.

El transporte marítimo ya tiene experiencia en propulsión con algunas de ellas, por ejemplo, los buques que transportan GNL tienen experiencia usándolo como combustible con un método llamado boil-off; este método consiste en redirigir los gases evaporados de los tanques hasta la máquina en donde se consumen como fuente secundaria de energía propulsora.

Por otro lado, la propulsión GNL es un medio con demanda en líneas regulares y en buques RO-RO, ferris y con proyectos en el sector de buques crucero. En el mar Báltico se está registrando un suministro de 2600 m^3 al día, movimiento que con las nuevas regulaciones tenderá a optimizarse y extenderse normalizando así un mercado de referencia para el bunkering. Conociéndose las técnicas se permitirá ofrecer un servicio que implique un menor riesgo.

El servicio de bunkering GNL es una operación que consisten en suministrar un combustible gas en estado líquido con temperaturas de aproximadamente -162°C desde un terminal a los buques. El GNL es considerado como mercancía peligrosa siendo necesario evitar que se derramen vertidos o de produzcan fugas, actuando correctamente cuidando de la seguridad del operario y del bien estar de las instalaciones y del medioambiente.

Los objetivos principales de este estudio son: la viabilidad de este combustible (GNL) respecto los más utilizados y el modo en el que se realizan las operaciones.

Primero, establecer qué tipos de combustibles se utilizaban y se utilizan en sector marítimo y cuales era sus emisiones. Tras, las nuevas normas de emisiones como se han comportado los suministradores de estos productos para seguir compitiendo y que nuevas tendencias han ido surgiendo creando un nuevo sistema. Todo esto impulsado por las rutas comerciales que se ven afectadas por las zonas de navegación restringidas con la norma ECA.

En segundo lugar, estudiar que sistemas de suministro se están utilizando con este combustible, mostrando paso por paso de qué manera se opera. Mostrando capacidades de cada servicio y que tipo de necesidades pueden cubrir, siempre con el objetivo de reducir los tiempos de estancia en los puertos, pero sin descuidar las inversiones necesarias para ofrecerlo. Además de los sistemas de operaciones establecidos por empresas gaseras como GASNAM y operaciones para delimitar el riesgo que supondría la pérdida de combustible basándonos en proyectos realizados por organizaciones como “DNV-GL¹”.

En tercer lugar, se estudiará el número de Check lists necesarios para realizar la operación de bunkering teniendo en cuenta que en alguno de ellos se especificarán datos sobre el combustible y en otros, datos sobre la estructura del buque para elaborar un estudio de compatibilidad.

En último lugar, dar a conocer que es un movimiento estudiado cuya regulación está en proceso de formación con las participaciones de organizaciones públicas y privadas, publicando ponencias de estudio en el BOE.

CAPÍTULO 1. PROPIEDADES DEL GAS NATURAL LICUADO

En este capítulo se estudiará las propiedades de las emisiones provocada por la combustión de combustibles GNL y los efectos de la contaminación en el medio ambiente. Además de las zonas ECA y algunos aspectos económicos como los precios del combustible y puertos que han invertido a favor de esta nueva energía.

1.1. Comparativa de las emisiones del gas natural con el fueloil

El gas natural es uno de los combustibles fósiles con menos perjuicios para el medio ambiente compuesto químicamente por metano (CH_4) e impurezas como partículas sólidas que son retiradas en las plantas de gasificación.

A diferencia de otras alternativas como son los derivados del petróleo obtenidos por la destilación fraccionada del petróleo que poseen gran variedad de compuestos moleculares. Uno de ellos es el fueloil, un combustible pesado utilizado por su bajo coste que al combustionar emite grandes cantidades de óxido de nitrógeno (NO_x), óxido de azufre (SO_x), óxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), y otros hidrocarburos. Además, de emitir partículas sólidas que no son eliminadas durante la ignición.

El gas natural en cambio, expulsa una cantidad pequeña de NO_x y SO_x , prácticamente ninguna partícula sólida, y CO_x . En la “Tabla nº1” se puede ver la proporción de estas emisiones en libras partido billones de BTU (energía) para el gas natural y para el fueloil.

EMISIONES DE COMBUSTIBLES FÓSILES (LIBRAS / BILL BTU)		
COMBUSTIBLE	GAS NATURAL	FUELOIL
DIOXIDO DE CARBONO	177	164
MONÓXIDO DE CARBONO	40	33
ÓXIDO DE NITROGENO	92	448
OXIDO DE AZUFRE (SO_x)	1	1,122
PARTICULAS	7	84
MERCURIO	0	0,0007

Tabla nº1: “Emisiones contaminantes”. Fuente: “Fundamental of Natural Gas”.

1.2. Características de las emisiones del GNL y el medio ambiente

1.2.1. Emisiones de Dióxido y Monóxido de carbono:

Es uno de los gases atmosféricos provocadores del efecto invernadero, actuando como una pared invisible en la que permite el traspaso de la luz y absorbe parte de la radiación solar emitida, atrapando el calor contribuyendo a el aumento de la temperatura.

Ambos son productos derivados de la combustión formándose “el CO₂ cuando la combustión se hace en presencia de un exceso de oxígeno; cuando el oxígeno está en cantidades restringidas se forman CO y CO₂” (Chang,1999)² siendo el CO₂ un gas no tóxico pero asfixiante y el CO un compuesto venenoso.

1.2.2. Emisiones de óxido de nitrógeno:

Las emisiones de NO_x se generan tras la combustión del fueloil y son dependientes de la temperatura de combustión, siendo mayores cuando la temperatura de combustión es mayor y menores cuando la temperatura es menor. La temperatura de operación de la cámara de combustión debe ser de unos 1500° C para mantener niveles aceptables de emisión, calcinando un mayor número de partículas.

Por otro lado, el método de propulsión por turbina de gas reduce las emisiones de NO_x en un 79,47% disminuyendo su reacción con las partículas atmosféricas como el Ozono (O₃) y NO₂.

1.2.3. Emisiones de óxido de Azufre:

La mayor parte de las emisiones de SO₂ viene de la quema de combustible fósiles. Los óxidos ácidos, como el SO₂, reaccionan con el agua de la lluvia formando un compuesto corrosivo llamado

² Chang, Raymond (1999). *Química. La química de la atmósfera*. Mexico DF, Mexico: MGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

H₂SO₄ que es responsable de la corrosión de estructuras, la pérdida de tierras de cultivos e incluso ocasionar muertes a organismos acuáticos, el evento es conocido como lluvia ácida.

Para reducir el efecto de este compuesto se puede retirar antes de la combustión, pero tiene complicaciones tecnológicas. También se puede reducir reaccionándolo con cal viva en un proceso llamado Alcalizado.

Por otro lado, el GNL está compuesto por metano y partículas sólidas descartando la difusión de partículas de azufre a la atmósfera durante la combustión.³

1.3. Zonas ECA

Las zonas ECA son áreas con control de emisiones de compuestos CO_x, SO_x, NO_x y partículas sólidas propuesta por la Comisión Europea para la disminución de los efectos contaminantes en regiones donde la polución ha llegado a límites inaceptables para la salud.

Estas zonas de control fueron creadas a consecuencia de los problemas de la lluvia ácida. Debido a la contribución a esta contaminación de los buques, la OMI reguló este tipo de zonas con el Anexo VI del convenio MARPOL que se implantaron en zonas marítimas como el mar Báltico, el canal inglés, mar del Norte, costa de América del Norte y en el mar del Caribe.⁴

En la “Imagen nº1” se puede ver dos gráficos que representan las emisiones de NO_x y SO_x. En el primero muestra el porcentaje en contenido de azufre y en la segunda el nitrógeno en gramos por kilovatio-hora. En ambos casos el resultado ha ido decreciendo a lo largo de los años.

³ Lista de referencias: Chang, Raymond (1999). *Química. La química de la atmósfera*. Mexico DF, Mexico: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

⁴ Alberto Camarero, Alfonso Camarero, M.^a Nicoleta González y Eduardo Dominguez (2012). *Transporte marítimo: de la SECA a la ECA*.

En la primera tabla se representan dos actualizaciones en los años 2010 y 2015 del porcentaje en las zonas ECA que supusieron una reducción total de emisiones de SO_x de un 93,4% siendo el 0,1% el nivel actual permitido por OMI.

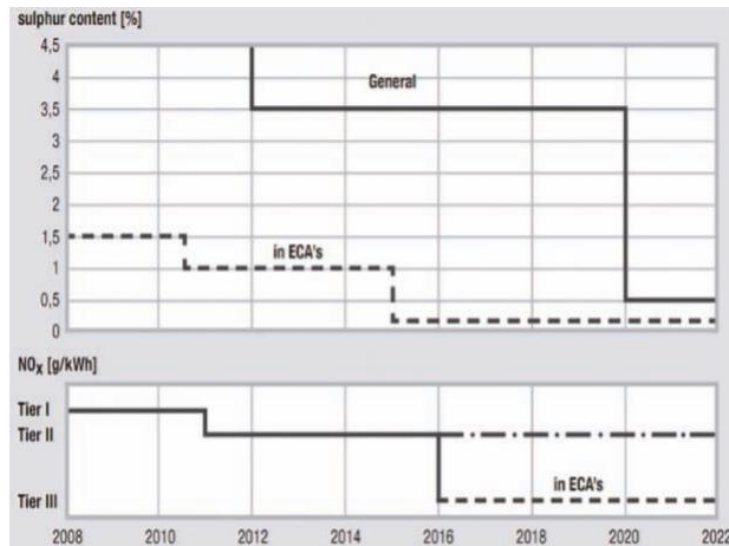


Imagen n°1: Porcentaje de emisiones SO_x. Fuente: "Marpol".

Por otro lado, las restricciones de NO_x se basan en tres niveles de reducción progresiva: TIER I, TIER II y TIER III. Siendo TIER I para motores diésel instalados entre el 1 de enero de 1990 y el uno de enero de 2000 siendo obligados a cumplirlo, el TIER II para motores diésel instalados a partir del 1 de enero del 2011 y el TIER III para motores instalados después del 1 de enero de 2016 que operan en zonas ECA.⁵

Entrar en estas zonas de emisiones controlada supone un gasto suplementario para las navieras que explotan los buques, por lo que ingresar en estas zonas para comerciar requiere cambios en las fuentes de energía del buque durante la travesía teniendo en cuenta la inversión necesaria para adaptar la propulsión del buque y el incremento del precio del combustible utilizado pasando de

⁵ Lista de referencias: [3] Alberto Camarero, Alfonso Camarero, M.^a Nicoleta González y Eduardo Dominguez (2012). *Transporte marítimo: de la SECA a la ECA*.

IFO a otros derivados el petróleo como ULSFO y LSMGO o LNG. Esta inserción de las zonas ECA se puede llevar de tres formas distintas:

- 1- Cambio a combustibles de bajo contenido a azufre (VLSO o SLSO).
- 2- Cambio del combustible a uno más ecológico como el LNG.
- 3- Sistemas de postratamiento de gases de escape como podrían ser el uso de las Scrubbers⁶.

La OMI también se encarga de implantar nuevas zonas ECA a partir de solicitudes en donde se debe demostrar la necesidad de prevenir, reducir y controlar las emisiones, por ejemplo: los países industrializados del norte de Europa realizaron una solicitud demostrando varios episodios de daños provocados por desastres derivados de la polución como la lluvia ácida presentando un estudio sobre la contaminación regional.

Al igual que los países de mar Báltico, se han reunido los países del mar Mediterráneo en el Convenio de Barcelona donde han acordado enviar la solicitud a la OMI para establecer una nueva zona de regulación ECA. Esta propuesta a favor de del medio ambiente y de la salud podría suponer una minimización de contraer enfermedades cardiovasculares y respiratorias por emisiones marítimas.

La “Tabla n°2” hace referencia a distintos tipos de combustibles utilizados en el transporte marítimo en donde muchas de estas opciones han quedado inhabilitadas o a la espera de instalaciones que depuren su composición.

⁶ Es una planta de tratamiento que se encarga entre otras cosas de retirar las sustancias sólidas y reducir en lo máximo el contenido de dióxido y trióxido de azufre.

COMBUSTIBLES MARÍTIMOS	
TIPO	% MAX.SUFUR
IFO380 Y IFO180	3,5
MGO	1,5
MDO	1,5
LS380 Y LS180	1
VSFO	0,5
ULSFO	0,1
LSMGO	0,1

Tabla n°2: Tipos de combustibles. Fuente: Elaboración propia datos Rotterdam port.

1.4. Comparación de precios del LNG con otras alternativas

Las diferencias entre los precios y los volúmenes del GNL que ofertan los principales importadores como Europa, China, Japón y Corea del Sur y la variación entre las subidas y bajadas de importaciones hacen del mercado de LNG un mercado independiente por regiones.

Con datos que proporciona “Refinitiv⁷” en cuanto a el mercado de importaciones, Europa ha aumentado un 87% las importaciones en los 7 primeros meses del 2019 respecto los 27.5 millones/tons del 2018, al igual que el crecimiento de las de China en un 18.8% estos datos dan a entender el aumento de la eficiencia de los compradores europeos y de la capacidad de minimizar gastos con efectividad a pesar de que China es el principal importador de GNL con precios de venta muy reducidos.

En términos de coste, en la “Imagen n°2” se puede ver el precio del LNG en Europa en USD por MMBTU representando niveles competitivos respecto a los presentados por los fueles diesel.

Lista de referencias: [22] ⁷Anne Katrin Brevik (2018). *Is the LNG market turning in 2019?*
<https://www.refinitiv.com/perspectives/market-insights/lng-market-turning-2019/>.

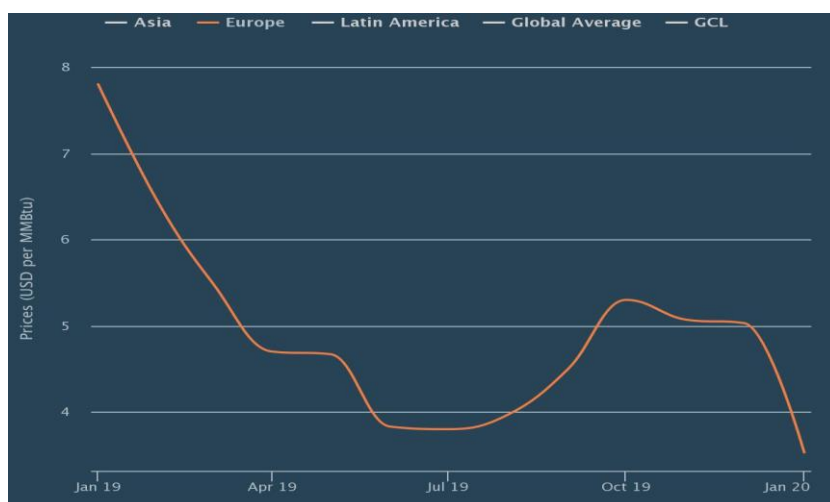


Imagen n°2: Precio del LNG en Europa. Fuente: “bluegoldresearch/regional lng prices”

Desde enero del 2019 ha ido decreciendo el precio del LNG hasta llegar a mínimos por debajo de los 4 (USD/MMBTU) durante los meses de junio, julio y agosto, frente a los precios del VLSO y ULSO siendo en torno a 6 (USD/MMBTU). En enero de 2020, el LNG estaba hasta un 4 (USD/MMBTU) por debajo del VLSO, llegando a mínimos conocidos como estado de caída libre⁸.

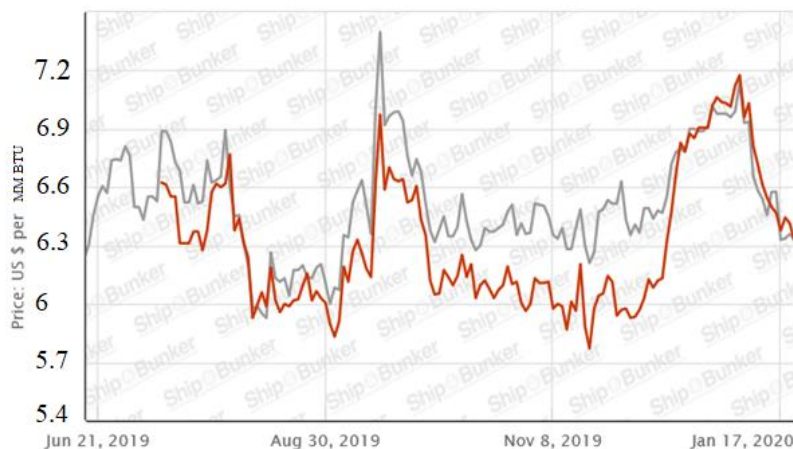


Imagen n°3: Precios de VLSO y ULSO en Europa. Fuente: “Ship and Bunker”.

⁸ Caída libre: Zona en donde no existen precios de soporte ni de resistencia registrados.

La variación de estos precios afecta sustancialmente a la mentalidad de inversión a favor de la propulsión LNG, aunque es difícil imaginar cuál de las opciones será menos arriesgada para afrontar las medidas medioambientales del futuro.⁹

La explotación en abundancia de los yacimientos le confiere un precio muy atractivo que conduce a un aumento creciente de su consumo. Políticamente, todos los países con parón nuclear han apostado de manera decidida por el uso preferentemente del gas natural en la producción de energía primaria.¹⁰

1.5. Plantas de bunkering LNG

El uso del GNL se está extendiendo demográficamente aumentando la demanda de los servicios de suministro en los puertos. Actualmente se encuentran operativas 170 estaciones distribuidas por Europa, China y EEUU entre ellas plantas de re-licuefacción y de regasificación. Además de 45 proyectos pendientes de finalizar su construcción.

La “Imagen nº4” representa la situación actual de las infraestructuras diferenciando entre los puertos en donde se han desarrollado las técnicas de bunkering de LNG algunos ejemplos son: Cockin, Jacksonville, Rotterdam, Singapore y Zeebrugge los que tienen buques construidos o habilitados para realizar operaciones de suministro. También se puede apreciar en qué zonas se ha implantado más la industria GNL.

⁹ Lista de referencias: [18] Ship&Bunker (2019). *Rotterdam bunker Price*.

¹⁰ Lista de referencias: [21]. GNL. Global (2019). *Europa alcanza volúmenes récord en las importaciones de GNL mientras Asia desacelera*.

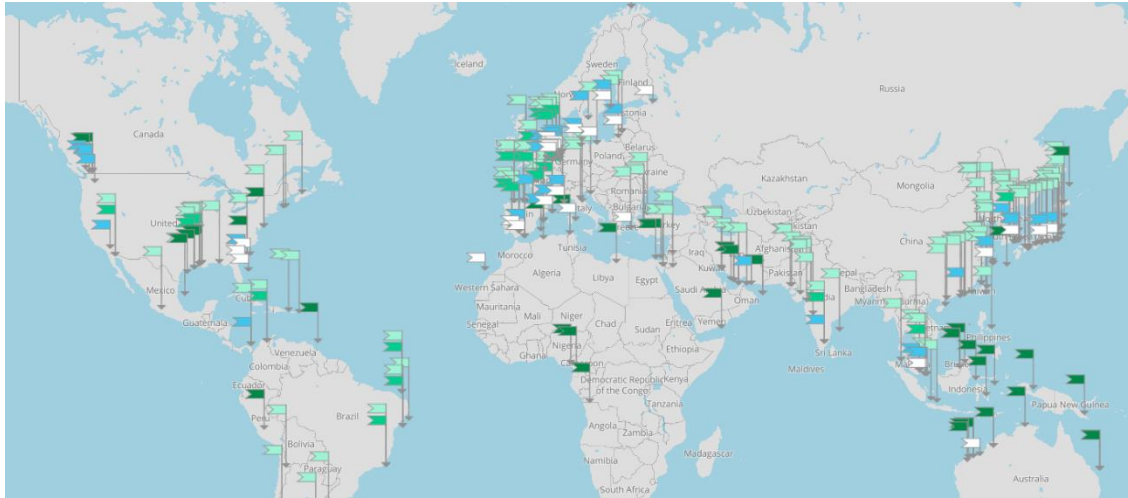


Imagen nº4: Infraestructuras de LNG. Fuente: “Sea LNG”.

1.5.1. Puerto de Rotterdam:

Es un puerto holandés con gran importancia en exportaciones e importaciones del LNG a nivel europeo almacenando el combustible importado desde zonas de oriente medio, Australia y Asia y actuando como punto de conexión para el comercio del gas reexportando el producto a otras zonas de Europa. Dispone de una capacidad de almacenamiento de 540,000 m³ repartidos en tres terminales y de las tres modalidades de bunkering TTS, PTS y STS que en el año 2019 llegaron a suministrar un volumen de 22.747 toneladas.¹¹

Se explicarán estas modalidades con más detalle a lo largo del apartado 2.1.

1.5.2. Puerto de Stockholm:

Es uno de los primero puertos en ofrecer una alternativa de bunkering de LNG, impulsada por el proyecto de Viking Lines en 2013, con el primer ferry de pasajeros propulsado con LNG. La infraestructura se basa en el suministro STS para conseguir una estancia máxima de 1h en puerto.

¹¹ Lista de referencias: [23] Port of Rotterdam. (2014). *LNG: import, export and bunkering*.

Según afirma el puerto de Stockholm las inversiones monetarias por parte de puertos y armadores a favor de combustibles menos contaminantes alimenta la posibilidad de ampliar sus infraestructuras de cara al LNG.

1.5.3. Puerto de Zeebrugge:

Fue el primer puerto en proponer la construcción de un buque para el bunkering de LNG. En junio de 2014 con ayuda del principal inversor Gas4Sea se firmó el proyecto “ENGIE Zeebrugge” y en febrero de 2017 finalizó su construcción.

Esta iniciativa en parte alimenta dos aspectos fundamentales: promover el LNG como combustible y presentar una solución viable de bunkering LNG.

Posicionándose como punto clave en las nuevas líneas de navegación para servicios de bunkering LNG.¹²

1.5.4. Puerto de Huelva:

Es uno de los impulsores del bunkering LNG a nivel nacional, donde en noviembre de 2019 se llevó a cabo la primera operación de bunkering “Multitruck 13o ship” realizada en España, descargando varios camiones simultáneamente y aumentando la velocidad del TTS hasta 6 veces, llegando a alcanzar velocidades de descarga de 168 m³/h frente a los 30m³/h que operan normalmente. Este sistema también se ha llevado a más puertos de la península como Valencia reduciendo los tiempos de bunkering a buques que cubren las rutas de las islas baleares.¹³

¹² Lista de referencias: [19] Sea/LNG (2020). *Global Infrastructure for LNG Bunkering*.

¹³ Lista de referencias: [24] Huelva información. (2019). *El Puerto de Huelva acoge un bunkering de alta velocidad impulsado por Baleària*.



Imagen nº5: Multitruck 12o ship. Fuente: “El Mercantil”.

1.5.5. Puerto de Bilbao

El puerto de Bilbao ha presentado opciones de abastecimiento LNG, uniéndose al movimiento global de combustibles menos contaminantes. En 2017 con ayuda de Molgas Energía se realizó el primer bunkering LNG TTS al buque “Ireland” de la Agencia Marítima Artiach Zuazaga siendo el primer servicio de toda la área Atlántica y Mediterránea según el Gobierno Vasco. Además, se llevó un proyecto de adaptación del “Monte Aruca” en los astilleros Murueta, donde estuvo en obras durante 7 meses. Tras la modificación pasó a llamarse Oizmendi siendo ahora un buque de suministro de GNL con una capacidad de 600 m³, realizando su primera operación en 2018.¹⁴

¹⁴ Lista de referencias: [20] Oizmendi (2018). *Astilleros Murueta*.

CAPÍTULO 2. OPERACIÓN DE BUNKERING LNG

En este capítulo se estudiarán los procedimientos utilizados en las operaciones de bunkering antes, después y durante a misma. Además de la seguridad durante la operación teniendo en cuenta los posibles riesgos y delimitando las diferentes áreas de protección existentes.

2.1. Tipos de bunkering

La industria marítima durante su desarrollo ha utilizado como fuente de su propulsión combustible de origen fósil. Para suministrar este combustible al igual que en los buques propulsados por fuel se necesitan gabarras e instalaciones portuarias.

El cambio de combustible supone también un cambio de las infraestructuras, métodos y seguridad del bunkering. En este apartado se estudiará las alternativas más viables para el puerto y se describirán los cuatro sistemas más conocidos del bunkering: TTS, STS, PTS y CTS.

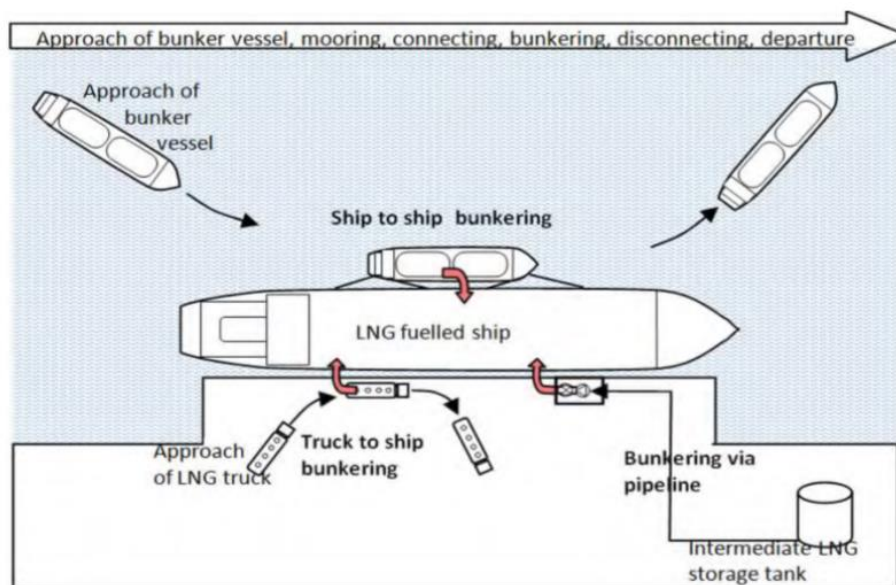


Imagen n°:6 Tipos de bunkering. Fuente: "MT LNG".

2.1.1. TTS (Truck-to-Ship):

En la modalidad TTS el combustible LNG suministrado se transporta desde la fuente hasta el buque por carretera. El TTS como sistema presenta características positivas en su transporte por la flexibilidad de maniobra del bunkering y en lo económico no siendo necesario un alto capital de inversión. Por otra parte, dado que este sistema no está preparado para transportar grandes volúmenes de LNG puesto que serían necesarios un número excesivo de camiones es más eficiente para servicios en buques con capacidad volumétrica pequeña-mediana.

Los camiones utilizados tienen una capacidad de entre 40 y 80 m³ dependiendo de las limitaciones que establezcan las regulaciones por carretera y una capacidad de bombeo de 60 m³/h.¹⁵

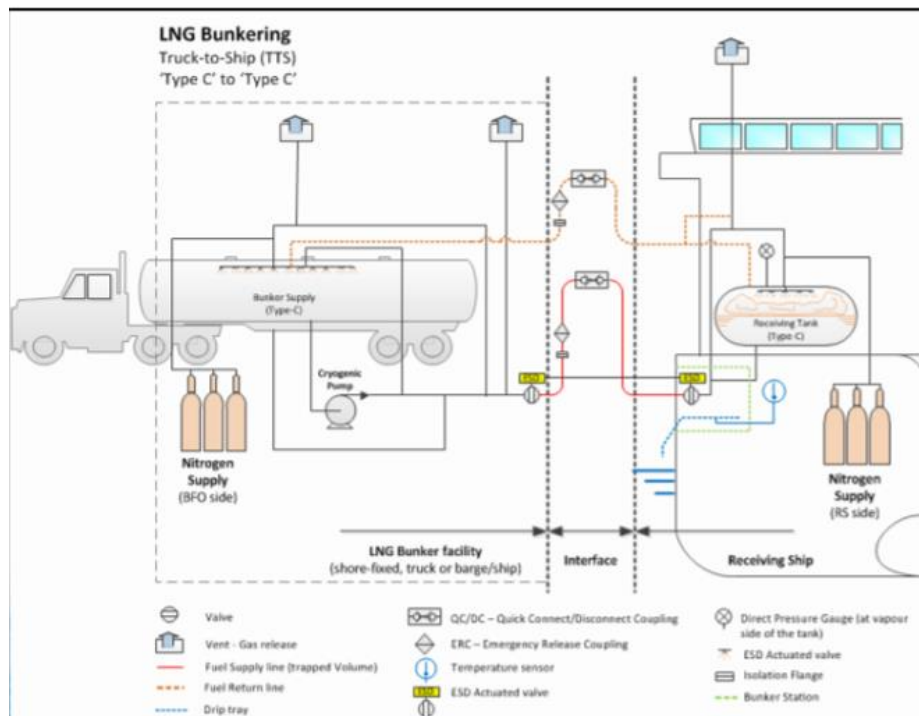


Imagen n°7: Sistema TTS. Fuente: “EMSA”.

¹⁵ Lista de referencias: [13] IACS (2016). *LNG bunkering guidelines*,

Procedimiento del Bunkering TTS:

1. Los equipos contraincendios y del personal han de estar revisados y listos al igual que el esquema del bunkering.
2. Los responsables de los camiones y de a bordo deben rellenar los Check lists.
3. La documentación de cómo se va a realizar la operación debe estar aceptada, firmada y enviada.
4. Se deben establecer las zonas de seguridad.
5. El test de comunicación debe de estar establecido y comprobado.
6. Las mangueras y sus tomas a tierra deben de estar conectadas.
7. Se debe comprobar la correcta conexión de los equipos.
8. Checklist y documentación: es el checklist anterior a la transferencia que contiene detalles de cómo debe ser llenado por parte del receptor y de cómo debe ser transferido por parte del camión.
9. Se inerta retirando el oxígeno de la línea y se purga después para enfriarla.
10. Comienza la operación del bunkering monitorizando y revisando las conexiones controlando así las posibles fugas o pérdidas en la línea.
11. Durante la operación de bunkering: controlar la presión el sistema y el volumen de llenado del tanque.
12. La operación de bunkering acaba en cuanto el camión recibe la señal del operario encargado a bordo.
13. El bombeo debe acabar inmediatamente.
14. Utilizar la *stripping* para vaciar la línea de remanentes de carga y purgar.
15. Desconectar las angueras y la toma a tierra.
16. Entregar documentos y el checklist.

2.1.2. STS (Ship-to-Ship):

El suministro de LNG se lleva cabo desde un buque transportador hasta un buque que lo utiliza como combustible. El STS tiene la capacidad de transportar grandes cantidades de combustible, ofreciendo un buen rango de localizaciones para su suministro. Existen dos tipos de suministros STS: una se efectúa en el puerto y la otra en el mar.

Este sistema posee la capacidad de eliminar la necesidad de entrar en el puerto para abastecerse al mismo tiempo de ser positivo para trabajadores e infraestructuras del puerto que dejan de estar expuesto a los posibles riesgos de los accidentes. Sin embargo, tiene la complicación del medio marino, es decir, está expuesto a los factores de oleaje, vientos, corrientes y el tráfico marítimo pero la operación puede ser optimizada con el diseño de la estructura del buque suministrador y su previa planificación.

Este servicio en puerto es mucho más flexible pudiendo coordinar el suministro de combustible con carga/descarga de mercancía y de pasajeros. Además de eliminar factores como el oleaje, las corrientes y el tráfico marítimo. Al igual que en el TTS, la operación debe realizarse de acuerdo a normativa ISO/TS 18683¹⁶. Esta normativa hace referencia al abastecimiento de combustible GNL y también a las operaciones como inertización, gasificación y enfriamiento de las líneas.¹⁷

¹⁶ ISO: Organización Internacional de Normalización encargada de la creación de estándares internacionales.

¹⁷ Lista de referencias: [25]MT LNG. (2014). *LNG bunkering procedures in ports and terminals in the south baltic sea región.*

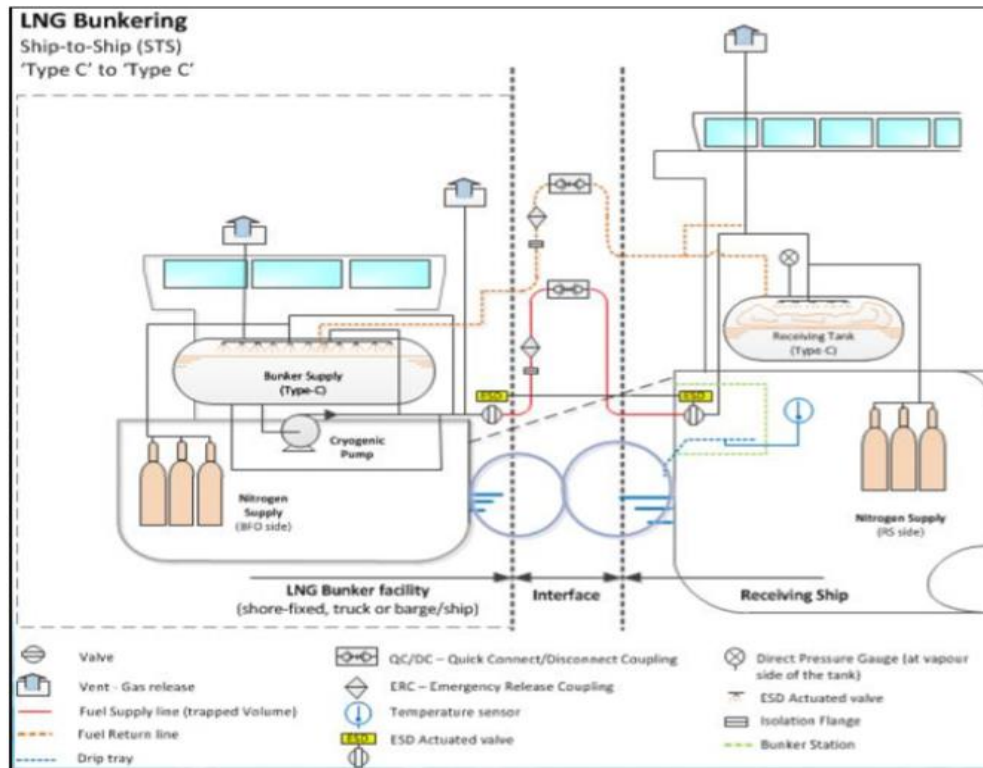


Imagen nº8: Sistema de bunkering STS. Fuente: “EMSA”

Procedimiento esquemático de la operación de bunkering STS:

1. Los equipos contraincendios y del personal han de estar revisados y listos al igual que el esquema del bunkering.
2. Los responsables de los buques deben rellenar los Check lists.
3. Comunicación, se debe establecer una comunicación mediante señales de emergencia y aceptando el plan de contingencia.
4. La operación de maniobra y de abarloado, se realizará después de autorizar las bases de la maniobra que se van a llevar a cabo.
5. La conexión de las mangueras debe estar establecida utilizando mangueras por el método convencional o sino sustentándolas por un sistema de grúas.
6. Checklist y documentación, checklist de anterior a la transferencia que contiene detalles de cómo debe ser llenado por parte del buque y de cómo debe ser transferido por parte del camión.

7. Abrir las válvulas manuales de seguridad, pero únicamente cuando las válvulas de seguridad automáticas estén cerradas. Las válvulas automáticas son controladas por control remoto.
8. Realizar la señal de listos por ambos buques.
9. Comienza la operación de bunkering, monitorizar y controlar posibles fugas en conexiones y angueras.
10. Operación bunkering, controlar la presión el sistema y el volumen del tanque.
11. Operación de acabado, empieza en cuanto el barco receptor da la señal al otro barco.
12. El bombeo debe acabar inmediatamente.
13. Inertar y purgar, primero retirar el O₂ de la línea y enfriar las líneas purgando.
14. Cerrar la válvula automática y la válvula manual, las válvulas de ambos manifolds deben estar cerradas cuando se está purgando la línea, por lo que primero se cerrará la válvula de control remoto y después la válvula manual.
15. Desconectar las mangueras.
16. Inertar las líneas de bunkering. El buque que recibe debe purgarla antes de partir iniciando la secuencia en cuanto se desconectan las mangueras de ambos manifolds.
17. Intercambio de la documentación de bunkering.

2.1.3. PTS (Pipe or Terminal to Ship)

Es el método con menos límites en cuanto a caudal y cantidad de combustible suministrado. El GNL se encuentra en un tanque de almacenamiento a gran escala y por medio de una instalación de tuberías criogénicas se traslada dicho combustible hasta el muelle de carga.

El sistema PTS tiene la opción de actuar con volúmenes muy superiores al TTS o los tanques portátiles lo que le da la facilidad de almacenar combustible que puede ser transportado por medio de camiones, ferrocarril, gabarras o sino por una infraestructura fija que llegue hasta el muelle.

A pesar de que el PTS es flexible en cuanto a volumen y rango de transporte de GNL tiene la limitación de ser menos flexible geográficamente. Tiene que estar situado en un lugar fijo

relativamente próximo a la localidad del muelle con grandes secciones de tuberías cuyos costes son directamente proporcionales a la proximidad del muelle.

Además, por las instalaciones fijas, los buques que busquen un servicio de bunkering debe de tomar medidas para llegar al muelle de carga. Para buques que también necesiten de otras operaciones en puerto, las instalaciones de bunkering deben estar adaptadas para operar simultáneamente, reduciendo tiempos de estancias. Si el bunkering PTS no puede operar simultáneamente con otros servicios el aumento de los tiempos reducirá su viabilidad.

La instalación de un servicio PTS viene regulada por PHMSA y FERC confirmando distancias de separación y un apropiado diseño de seguridad. Las terminales nuevas de LNG necesitan evaluar:

- Dualidad: en el diseño y en la operación para evitar interferencias entre operaciones.
- Incluir el servicio de bunkering en los contratos de estancia de los puertos para reducir tiempos en puerto.
- Destinar muelles para el suministro de combustible LNG para evitar interferencias con transferencia de gran escala.

Esta opción a la larga puede ser diseñada de acuerdo al tipo de buques que tengan los clientes para aumentar la eficiencia y de este modo mejorar las transmisiones, aumentar el número de servicios, reduciendo el tiempo de los suministros y diferenciando entre buques que tengan mucha frecuencia (ejemplo: ferris, remolcadores) y buque de larga estancia (ejemplo: buques de carga y pasaje)¹⁸.

¹⁸ Lista de referencias: [6] GASNAM (2017). *Anexo III: procedimiento detallado para el suministro de gas natural licuado como combustible en la modalidad Port(terminal) to Ship (PTS)*.

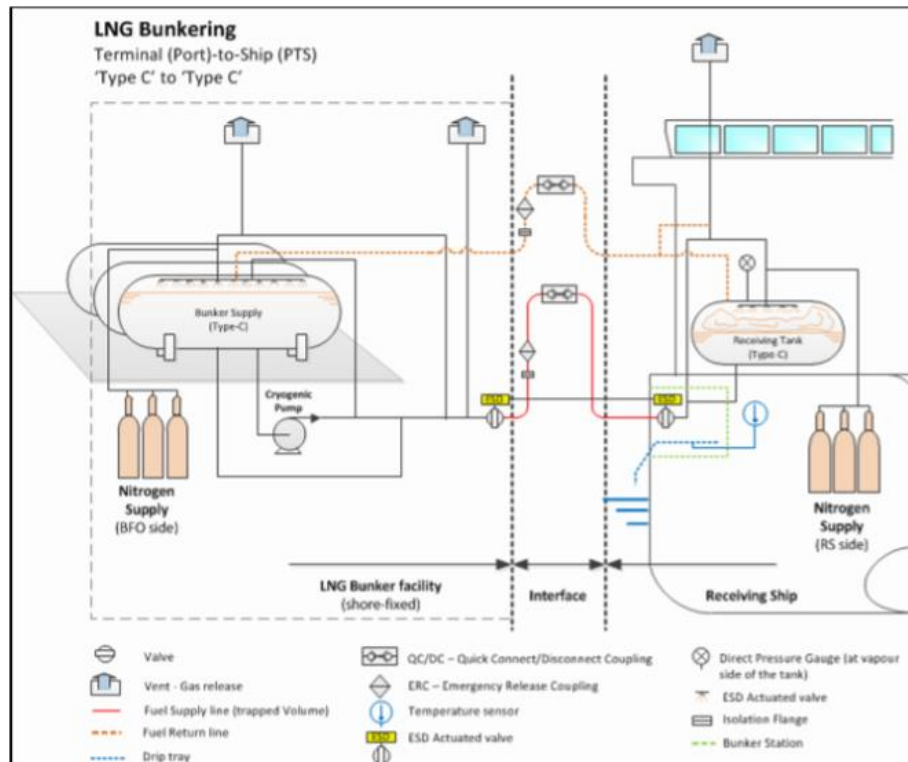


Imagen n°9: Procedimiento PTS. Fuente:” EMSA”.

2.1.4. CTS (Container to Ship)

Esta modalidad consiste en realizar el suministro desde un contenedor al buque. La operación se puede realizar situándolo en el muelle o si procede sobre la estructura del buque.

Es un método flexible que ofrece diversidad en el método de transporte pudiendo ser transportado por tren, camión o buques de carga. Además, se pueden almacenar en lugares

restrictivos próximos a la zona de bunkering para agilizar la operación. La capacidad de un container ISO de 40 pies es de 49,210 m³ de GNL al igual que los depósitos del TTS que son recomendados para operaciones de máximo 400 m³.

Por otro lado, este método necesita de una red de conexión de carga/descarga en la que el transporte físico del tanque aumenta la probabilidad de sufrir golpes y fugas en el mismo. Este

transporte físico también puede suponer un riesgo de explosión provocando un impacto directo en la sociedad y en su rentabilidad de uso.

En la “Imagen nº9” se puede ver el proceso de CTS utilizado por la empresa “Brittany Ferries” que representa una combinación con la modalidad TTS. Realizada por los buques en el puerto de Honfleur uno de los referentes en este tipo de operaciones.

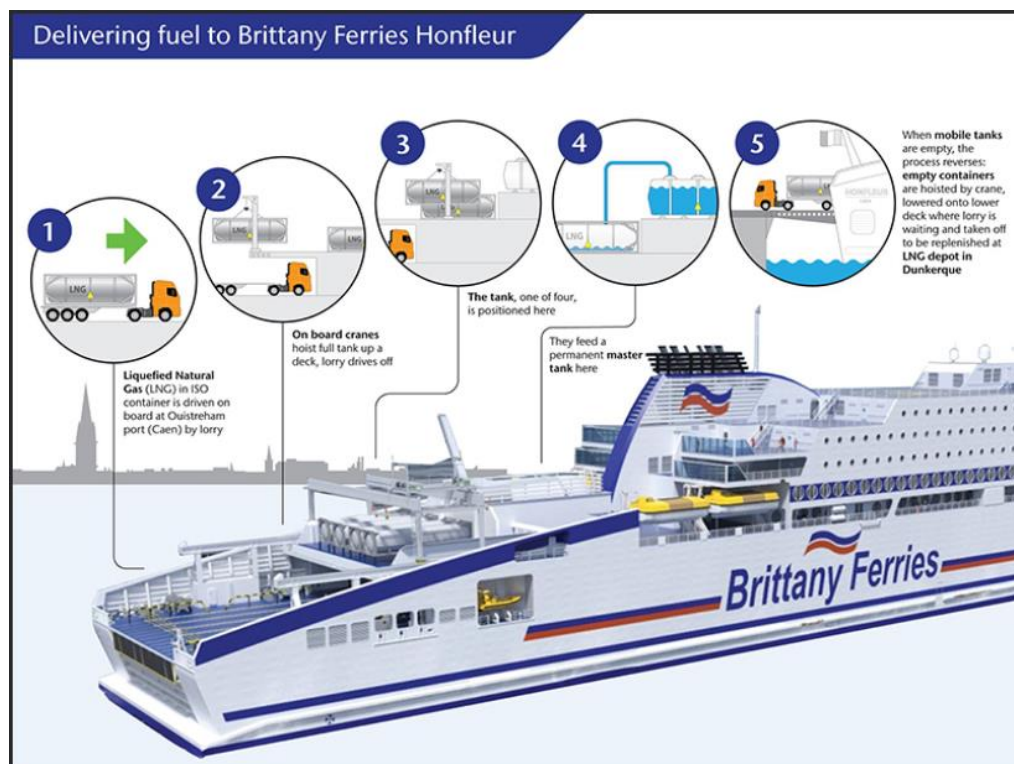


Imagen nº10: Brittany Ferries CTS. Fuente: “ferry shipping news”.

2.2. Estudio de compatibilidad

Antes de realizar la operación de bunkering las autoridades portuarias realizan un estudio basado en la información técnica del “Pre-bunkering operations” para evaluar si es posible realizarla y en caso afirmativo, planear la secuencia.

La información técnica detalla características del buque como la sección y localización de los manifolds, número de conexiones disponibles y el dominio de los valores del francobordo antes,

durante y después de la operación. Esto ayudará a la mejor elección de las conexiones como las mangueras, maniobras de abarloado y brazos de carga.

Este estudio lo realizan las autoridades competentes en base a guías establecidas por organismos como OCIMF¹⁹.

En la imagen n°11 se ve un caso particular de suministro en donde se ha planeado el amarre indicando quién debe tirar los cabos repartiendo los esfuerzos. El buque de suministro se encuentra abarloado a babor y con las válvulas enfiladas manteniendo la posición por la tensión de los cabos de amarre. Los círculos de color gris representan a las defensas dispuestas de dos en dos por el suministrador estando calculadas sus posiciones de acuerdo con la longitud de los cuerpos paralelos.

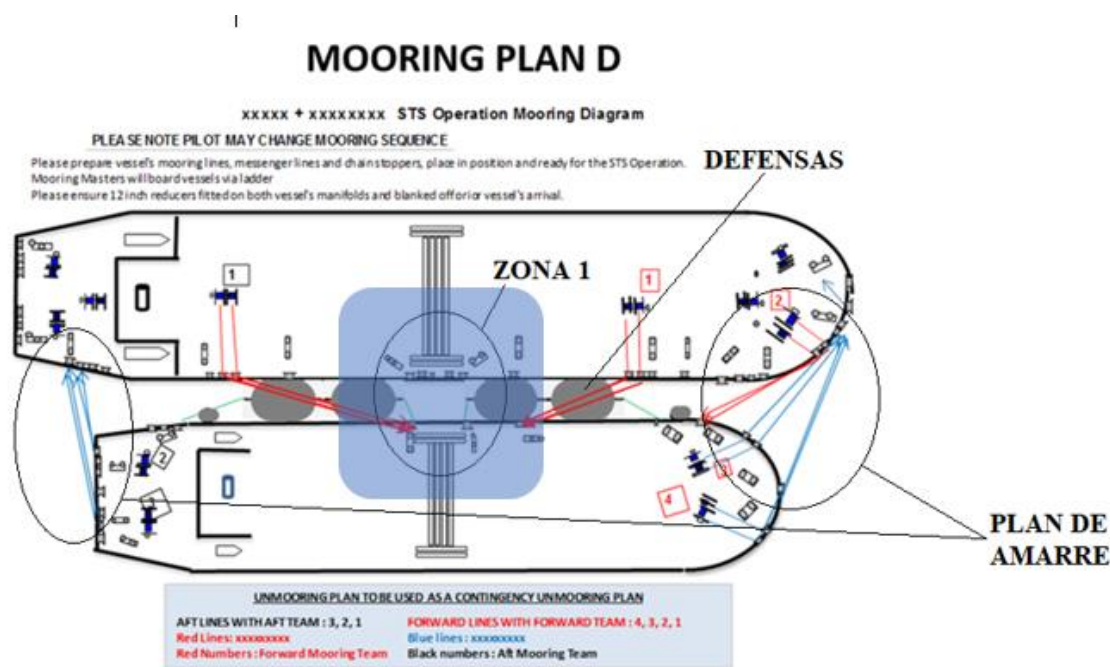


Imagen n°11: Mooring Plan D. Fuente: Online STS.

En la “Zona 1” como se puede ver en la Imagen n°12 la altura entre los buques tiene que ser controlada con los francobordos y las mareas para evitar sobre esfuerzos en las mangueras o grúas

¹⁹ Oil Companies International Marine Forum: organismo cuya misión es cubrir la seguridad, la salud y el medio ambiente relacionados con buques tanques, barcasas, embarcaciones en alta mar e interface de terminales.

de suministro, teniendo en cuenta también los diámetros de entrada y salida de la carga. Los apoyos de las mangueras tienen que ser revisados para evitar fricciones innecesarias.



Imagen n°12: Bunkering GNL en el río Indu, Karachi. Fuente: Vessel Finder.

2.2.1. Check-lists

Los check-lists son documentos con informaciones técnicas del servicio del bunkering, necesarias para establecer límites y maniobras, ayudando a crear un entorno de seguridad sin percances. El check-list de una operación se distribuye en cuatro documentos:

- Pre-bunkering operations: Es un documento preparatorio que presenta el suministro del servicio a la Capitanía correspondiente de la zona, utilizado para el estudio de compatibilidad. Solicitud que debe de ser aprobada por las autoridades portuarias.
- Pre-LNG transfer check-list: Documento que establece el orden de las operaciones a realizar por parte del buque receptor y la entidad suministradora. Debe de estar firmado por ambos responsables, el Capitán y el Capitán en caso de STS o el responsable de operaciones.

- LNG transfer data: Se establece la cantidad de LNG que se va a suministrar, la presión y temperatura
- Bunkering delivery Note: Es un documento que verifica la cantidad y la calidad del combustible LNG suministrado que queda firmado al igual que el Pre-LNG transfer.

2.3. Operaciones del bunkering

Existen estudios de bunkering realizados por el Ministerio de fomento o por asociaciones como GASNAM en los que dividen la operación de bunkering en varias etapas dando importancia a la preparación previa de las condiciones y los equipos de transmisión, procesos en enfriamiento y de regulación de la presión en los brazos de carga, comunicación y documentación exigida. Por lo que se ha realizado un estudio con los elementos imprescindibles para realizar una maniobra con seguridad generalizando el proceso para cualquiera de las cuatro opciones de bunkering.²⁰

2.3.1. Operaciones previas:

Condiciones océano-meteorológicas:

Las condiciones océano-meteorológicas suman importancia en las operaciones STS donde los capitanes de cada embarcación (receptor y de carga) deben de estudiar las condiciones meteorológicas dentro del área límite establecida por la autoridad portuaria. Se debe revisar la visibilidad, velocidad y dirección de viento, tormentas, mareas, altura y dirección del oleaje y velocidad y dirección de la corriente si procede.

Señalización:

La operación debe de estar señalizada de acuerdo con el código internacional de señales con la bandera “Bravo” de color rojo izada indicando que existen mercancías explosivas a bordo. En caso de realizar la maniobra de noche le corresponde una luz roja todo horizonte. Además de señales internas del buque en lugares próximos indicando daños y prohibiciones.

²⁰Lista de referencias: [5] GASNAM (2017). *Anexo II: procedimiento detallado para el suministro de gas natural como combustible para la modalidad Ship to Ship (STS)*.

Establecer una Comunicación:

Las comunicaciones entre el receptor de la carga y el suministrado es esencial, sin una comunicación previa no se validará la operación.

Se debe de establecer una conexión VHF, VHF portátiles o en su defecto, comunicaciones radar con dispositivos habilitados para zonas explosivas (ATEX), evitando elementos que provoquen la ignición de la carga.

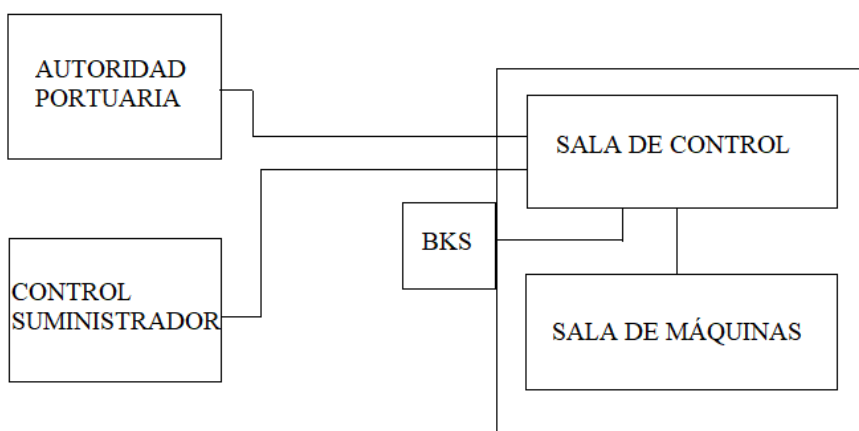


Imagen nº13: “Planificación de la comunicación”. Fuente: Elaboración propia.

En la “Imagen nº13” se puede ver un posible esquema de comunicaciones para utilizar durante la maniobra, existiendo una conexión interior en el buque receptor y otra conexión a las entidades externas que intervienen, como la Autoridad portuaria y el centro de control del suministrador.

La sala de control con la autoridad portuaria, se establecerá una comunicación con las autoridades portuaria por medio de VHF estableciendo un canal de contacto. Se recibirán indicaciones a través de este canal, dando permiso para la entrada al puerto y para acceder a la zona de bunkering.

La sala de control con los operarios de la estación de bunkering (BKS), es una de las condiciones más importantes de la operación ya que esta comunicación servirá para dar indicaciones directas del puente con VHF portátiles por una línea de comunicación interna. Algunas de las indicaciones

necesarias será el estado de la presión del tanque siendo transmitida en bares de presión, indicaciones de presiones máximas, comprobación del estado de los equipos, comunicación de incidentes como fugas de combustible, indicaciones del momento de conexión e las mangueras e indicaciones del nivel de sonda del tanque.

Conexión entre la Sala de control y el control del suministrador, esta comunicación se realizará por VHF indicando operaciones conjuntas como momento de conexión de las mangueras, adopción de medidas preventivas, estado de válvulas manuales, maniobras de atraque y abarloado, etc.

Mangueras de conexión y brazos de carga:

Si se va a suministrar LNG con mangueras se dispondrá de una manguera por donde pasará el líquido, equipada por ambos extremos por bridas ciegas, bridas aislantes y una toma a tierra y otra manguera para el retorno de vapor desde la línea de suministro. Todos los elementos deben cumplir los estándares establecidos por las normativas EN 1474 y EN 12434²¹.

Las mangueras deben tener una línea fija para el nitrógeno utilizado para la presurización de la línea, siendo lo normal una presión de 0.5 bares para el suministro. Antes de realizar el suministro se debe hacer una prueba con las mangueras que consiste en presurizar la línea hasta 3-4 bares durante un tiempo considerado para determinar si la línea pierde presión, permitiendo a los operarios localizar y reparar fugas. Una vez realizada a prueba se aliviará la presión por las torres de venteo.

Las mangueras utilizadas para el suministro disponen de sistema que favorecen la desconexión tras realizar la operación con sistemas ERS (Emergency Release System), ESD (Emergency Shut-Down System) y las QC/DC (Quick Connection/Disconnection Coupling).²²

²¹Norma perteneciente a la UNE (Normalización Española) para recipientes criogénicos y mangueras criogénicas flexibles.

²²Lista de referencias: [4] GASNAM (2017). *Suministro de gas natural licuado como combustible marino*.

2.3.2. Operaciones durante el suministro

Para realizar el bunkering se tendrá monitorizada la presión y temperatura de la instalación y de la entrada en los depósitos. No comenzará hasta que los operarios no retiren la válvula manual y salgan de la zona de suministro, una vez retirada a válvula por control remoto comenzará la operación paulatina de bombeo en donde el aumento del caudal será gradual. Lo gases que vayan ocasionándose se retirarán por la segunda línea que une el tanque de carga con la terminal de suministro en donde se expulsarán por la torre de venteo.

El suministro será constante una vez alcanzado el nivel de caudal acordado. Se realizará una señal de “Topping- up” cuando la operación este llegando a su fin, disminuyendo el caudal controlando el nivel de llenado hasta el porcentaje de llenado establecido, normalmente en los tanques de LNG tipo C son del 98%. La señal de paro de suministro será del receptor.

Durante la operación se deberá activar el sistema de protección criogénica, un sistema que provoca una cortina de agua para evitar que fugas o gases entren en contacto con los materiales frágiles el casco, la cortina de agua no debe entrar en contacto con las mangueras.²³

2.3.3. Operaciones después del suministro

Tras acabar el bunkering las líneas deben limpiarse de los remanentes depositados. Los remanentes serán devueltos a los cargadores por el operario a bordo después de cerrar las válvulas de carga. Una vez vaciada la línea de líquido se cerrarán las válvulas manuales y automáticas de los extremos y se procederá a eliminar los gases purgando con un gas inerte expulsándolos por la otra manguera que llevará hasta la torre de venteo del buque receptor.

Las mangueras incluyen un sistema de fácil desconexión (EPI) que evita derrames o goteos de combustible con su sistema sellador. Para activarlo manualmente basta con tensar los cables hasta

²³Lista de referencias: [5] GASNAM (2017). *Anexo II: procedimiento detallado para el suministro de gas natural como combustible para la modalidad Ship to Ship (STS)*.

activar el sistema de desamarre. Se colocarán bridas ciegas y se retirarán con las grúas de suministro.

Después de la operación se entregará el “bunkering delivery note” que acreditará el suministro siendo firmada y entregada una copia del documento. El documento debe estar archivado a bordo, durante un periodo de 3 años.

2.4. Seguridad

2.4.1. Peligros LNG

La identificación del peligro requiere una revisión cualitativa de los posibles accidentes que pueden ocurrir. En este caso se basará el riesgo en el “modelo del efecto acumulativo” o coloquialmente conocido “Modelo del queso suizo”. Expuesto por James T. Reason de la Universidad de Mánchester comparando los sistemas humanos con rebanadas de queso agujereadas, siendo estos agujeros el potencial de riesgo de accidente.²⁴

²⁴ Lista de referencia: [11] Danielle, Aaron, Per (2014). *Liquefied Natural Gas (LNG) Bunkering Study Det Norske Veritas, Inc.*.

En la imagen n°12 se ha elaborado una tabla con potenciales y riesgos asociados al bunkering de LNG siendo los principales peligros el criogénico, fuego o explosión y asfixia e intoxicación.

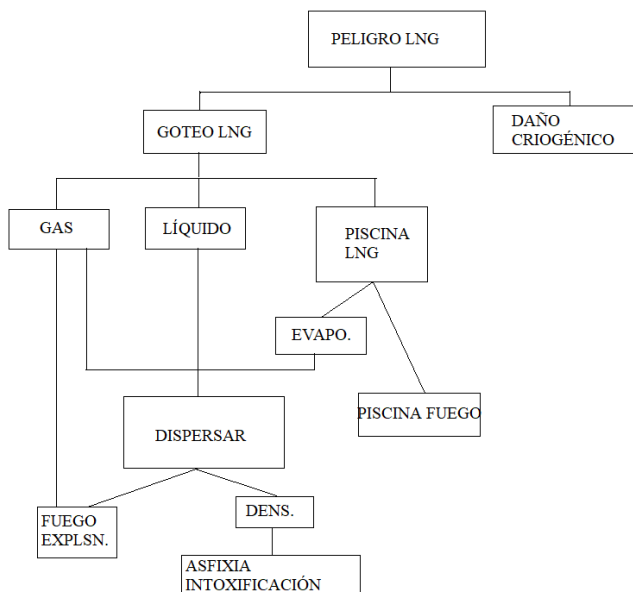


Imagen n°14: Peligros del LNG. Fuente: Elaboración propia.

El combustible LNG se encuentra a una temperatura de -162° a presión atmosférica de 1 bar, almacenado en tanques con sistemas de retención tipos C y equipados de válvulas de carga/descarga con materiales competentes.

Los daños criogénicos se relacionan con la salud del personal teniendo en cuenta que todas las líneas trabajan a temperaturas muy bajas el contacto de la estructura o una fuga de GNL con la piel puede causar quemaduras por congelamiento, necrosis, gangrena y la piel se puede quedar pegada y romperse en su extracción.

Por otro lado, existe la posibilidad de fuga con goteo de líquido presurizado con alto coeficiente de expansión, es decir, que una pequeña cantidad de líquido provoca grandes cantidades de gas, por ejemplo: 1 m³ de GNL equivale a 584,8 m³ de gas metano a 15 grados siendo uno de los motivos para transportarlo en este estado.

	DENSIDAD	TEMPERATURA	PRESIÓN
GAS NATURAL	0,743 kg/m	15°	1 atm
GNL	431,0 kg/m	-161°	1 atm

Cierta parte del goteo forma un charco líquido encontrándose a una temperatura de vaporación en la que sigue expulsando gases, pero perdura el estado líquido. Si el derrame es de pequeña magnitud el líquido acabará evaporándose y el gas se incorporará a la atmósfera en poco tiempo. Factores como el calor del medio, el sol y la convección del aire ayudan a la evaporación, pero qué ocurre cuando el charco líquido es más importante, el medio con el que intercambia el calor es enfriado lo suficiente para ralentizar el proceso de evaporación. Este efecto puede derivar en una piscina de fuego.²⁵

Esta piscina de fuego se puede formar en medio líquidos o sólidos siempre que estén en lugares abiertos. La constante exhaustación de gases de la piscina y con ayuda del viento provoca su expansión. Al aumentar el rango aumenta la posibilidad de crear una concentración de gas que lo inflame propagándose hacia el interior. En la “imagen nº13”, se puede ver el proceso que lleva el gas en una superficie líquida.

En el caso, de que únicamente se esté fugando gas desde la línea este se expandirá aumentando la posibilidad de explosiones, chorros de fuego e incendios. Además, dependiendo de su propagación por factores como el viento o de la extensión del lugar puede aumentar su densidad. La concentración del metano en un lugar puede llevar a cabo el desplazamiento del oxígeno provocando asfixias e intoxicaciones.²⁶

²⁵ Lista de referencias: [10] Emilio Turno Sierra (1994). NTP 430: *Gases licuados: evaporación de fugas y derrames*.

²⁶ Lista de referencias: [19] Sea/LNG (2020). *Global Infrastructure for LNG Bunkering*.

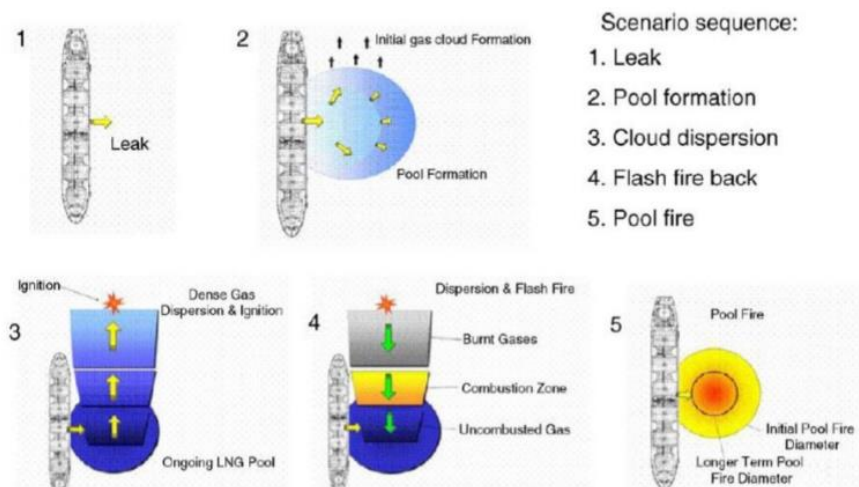


Imagen nº15: Piscina de fuego. Fuente: DNV GL.

2.4.2. Zonas de prevención

Las zonas de prevención y de salvamento se establecen alrededor de la zona del bunkering siguiendo la normativa de ISO/TS 18683. Estas zonas además establecen el área en donde se realizan prácticas peligrosas, requiriendo estar señalizadas por la alta probabilidad de contener una atmosfera explosiva.

Puede ser agua, tierra o una combinación de las dos en donde hay un acceso limitado por seguridad donde se requiere protección contra medios ambientales.

El acceso será para personas, camiones, buques, objetos, vehículos que sean autorizados por las autoridades portuarias. Solo el personal imprescindible estará presente durante la operación de bunkering dentro de los límites de la zona de prevención correspondiente.

Generalmente las áreas de seguridad se desarrollan en base a tres estrategias: Consecuencias básicas, riesgo cualitativo y probabilidad.

- Consecuencias básicas: Este método se utiliza para determinar las distancias de seguridad tomando la base de la representación sucedánea de mayor peligro.

- Riesgo cualitativo: Este método se utiliza para estimar y gestionar el riesgo. La zona de prevención, por el contrario, no se selecciona inicialmente utilizando este método, sino que normalmente primero se selecciona y luego es cuando este método determina si son suficientes las medidas establecidas.
- Probabilística: El tercer método se utiliza para determinar zonas de prevención clasificándolas en subzonas determinadas por distancia, realizando una escala por niveles de riesgo.

Zonas de protección:

Se encargan del control de incidentes en los buques, estructuras, mercancías y personas contra actos de interferencia de factores externos.

Áreas de seguridad:

Utilizando el modelo de criterio de US HSE Ir el área de riesgo para los trabajadores se estipula además de por la cantidad de producto transportado y de la densidad de personas en la zona, también delimita las operaciones con riesgos específicos por el número de incidentes ocurridos cada “x” periodos de tiempo. El porcentaje ocurrido en años es el siguiente:

- 10^{-3} por año, riesgo máximo tolerable para los trabajadores.
- 10^{-4} por año, riesgo máximo tolerable para el público en los alrededores de las instalaciones.
- 10^{-6} por año, es el nivel ampliamente aceptable.

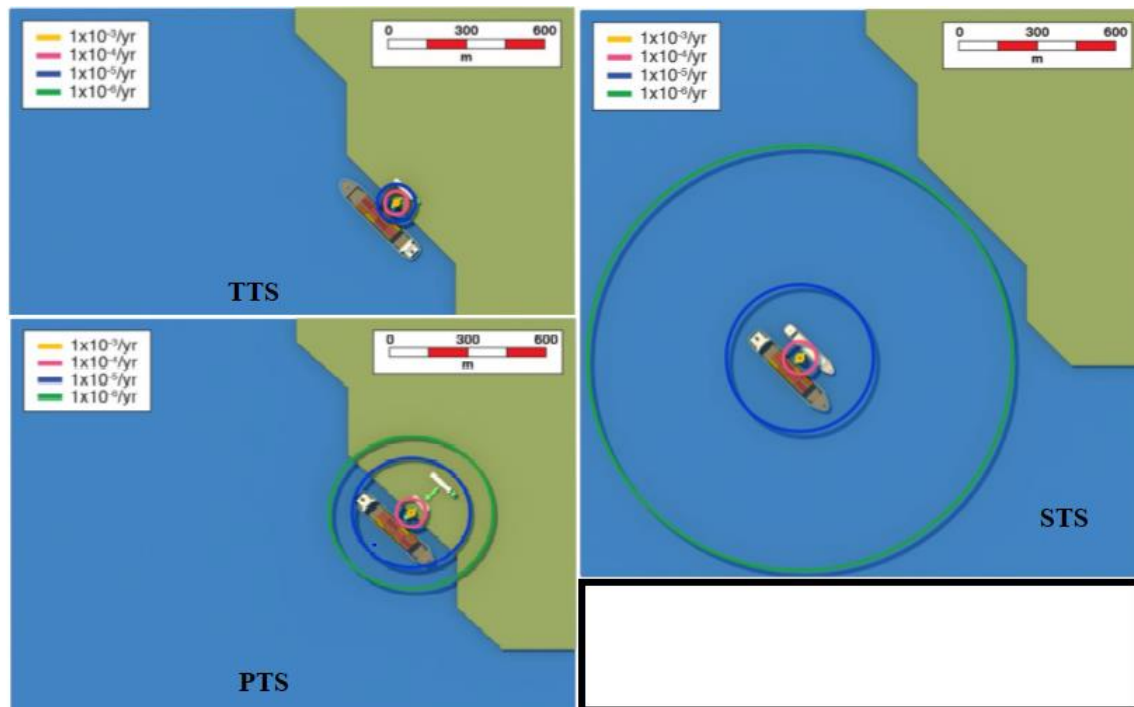


Imagen n°16: Contornos de seguridad. Fuente: “DNV GL”.

Otras zonas peligrosas a tener en cuenta dentro del buque son:

- Áreas de la cubierta principal, zonas semi-cerradas en el puente, el espacio a 3 metros de cualquier tanque de gas, incluyendo tuberías de transmisión.
- A un área de 3 metros alrededor de las válvulas de manifold, situadas sobre la cubierta principal.
- La zona semi-expuesta a la estación de bunkering.²⁷

²⁷ Lista de referencias: [13] IACS (2016). *LNG bunkering guidelines*,

CAPÍTULO 3. REGULACIÓN DE LAS OPERACIONES DE BUNKERING

En el movimiento de controlar las emisiones de gases se han unido organismos que han comenzado a desarrollar recomendaciones y normativas de infraestructuras y construcción de instalaciones. Además de procesos operacionales y requisitos de seguridad. En este capítulo se mostrará una colección de normativas aplicables al sector del bunkering con GNL.²⁸

- **Código IGF (2015) Normativa para buques que utilizan bunkering con GNL:**

Es el código de seguridad para buques que usan gases como combustible adoptado por el MSC (Comité de seguridad marítima). Es de carácter obligatorio para todos los buques con más de 500GT construidos o transformados a partir del 2017 y que se propulsen con GNL.

Con el objetivo de minimizar el riesgo para el buque, su tripulación y el medio ambiente, ha incorporado nuevas reglas en el SOLAS referente a construcción, sistemas de compartimentación y distribución en buques que lleven combustible con bajo punto de inflamación.

El código IGF será obligatorio para sistemas de GNL u otros sistemas de combustión con bajas temperatura de ignición.

- **Código CIG (Código internacional para la construcción y el equipo de buques que transporten gas natural licuado a granel):**

La finalidad de este código es establecer una base para el transporte de gas natural licuado a granel. Teniendo en cuenta el tipo de sustancia se establecerá una normativa de construcción y de equipo con el propósito de minimizar los riesgos para la tripulación, el medio ambiente y el buque.

Esta normativa establece pautas de aislamiento del GNL para su transporte, sentando bases para el almacenamiento de GNL para el combustible.

- **EFS (Evaluación formal de la seguridad):**

²⁸ Lista de referencias: [15] Rosa, Carmen, Miguel, José (Siport21). *Estado de Arte del LNG Bunkering*.

Es un nuevo modelo de gestión de la seguridad marítima en los puertos, en los que el análisis y la evaluación de riesgos pueden ser aplicados en todos los hábitos del bunkering.

Analizando factores de riesgo azarosos y elaborando recomendaciones para la toma de decisiones y descrito por la OMI como “un proceso racional y sistemático para valorar los riesgos asociados a la actividad marítima y para evaluar los costes y beneficios de las opciones de la OMI en la reducción de dichos riesgos”.

- **ISO (Organización internacional para la Estandarización):**

ISO es una organización internacional no gubernamental independiente.

A través, de sus miembros reúne a expertos para compartir conocimientos y desarrollar estándares internacionales voluntarios, basados en el consenso y relevantes para el mercado que apoya a la innovación y brinda soluciones a los desafíos gubernamentales.

La normativa más relevante de ISO para el bunkering es la siguiente:

- **ISO 18683 (2015): “Guía para sistemas e instalaciones para suministro a barcos de GNL”.**

Ofrece una orientación sobre requisitos mínimos para el diseño y operación de abastecimientos de GNL, incluida la instalación de suministro de GNL y el buque receptor.

Esta norma proporciona estándares de responsabilidad para la tripulación del barco y el personal de abastecimiento, que se tienen que aplicar durante las operaciones de abastecimiento de GNL. Valido para las modalidades TTS, STS y PTS cubriendo el servicio por mar y tierra y abordando todas las operaciones requeridas como inertización, gasificación, enfriamiento y carga.

- **ISO 20159 (2017): “Especificaciones de bunkering para buques propulsados con combustible GNL”.**

Este documento establece los requisitos aplicables a los equipos y sistemas de trasvase de combustible GNL, utilizados para el repostaje de los buques que funcionen con GNL, que no están cubiertos por el código IGC, conteniendo procedimientos operaciones, requisitos para el suministrados, formación y cualificación del que interviene y requisitos de instalación del que interviene.

- **ISO 20519: “Ship and marine technology”.**

Se encarga de regular los checklist necesarios para realizar las maniobras de bunkering, siendo 4 los necesarios: checklist preparatorio, previo a la operación con especificaciones del sistema y maquinaria, Checklist previo al inicio de la operación y checklist post operación. Además del equipamiento del suministro del bunkering.

- **ISO 17776 (2016): “Industrias del petróleo y del gas natural. Instalaciones de producción en alta mar. Gestión de riesgos de accidentes graves durante el diseño de nuevas instalaciones”.**

Esta es aplicable para sistemas flotantes de producción, almacenamiento y descarga incluyendo el gas natural.

Los principios de este documento se pueden utilizar como guía para instalaciones móviles en alta mar. Aplicándolos para la evaluación de la probabilidad y las posibles consecuencias de riesgos.

- **ISO 16901 (2015): “Orientación para realizar una evaluación de riesgos en el diseño de instalaciones de GNL en tierra, incluida la interfaz buque/costa”.**

Se trata de una guía para la evaluación de riesgos de seguridad en la planificación, diseño y operación de instalaciones de GNL en tierra y en la costa.

Sus estándares están basados en el riesgo, para proporcionar una seguridad en el diseño y en la operación durante instalaciones de GNL.

- **ISO 28460 (2010): “Industrias de petróleo y gas natural. Instalación y equipamiento para gas natural licuado. Interfaz de buque a costa y operaciones portuarias”.**

Esta normativa especifica los requisitos para proveedores de servicios de barcos, terminales y puertos para garantizar el tránsito seguro de un transportista de GNL a través del área del puerto y la transferencia segura y eficiente de su carga.

Aplicable a todos los operadores de embarcaciones de servicio para buques con carga GNL proporcionando orientación. Además de aplicarse a terminales de GNL en tierra y al manejo de GNL en el comercio internacional.

- **ISO 16903 (2015): “Características del GNL, que influyen en el diseño y la selección de materiales”.**

Normativa para la orientación sobre las características y los materiales criogénicos utilizados en la industria GNL, con el objetivo de ser un documento de referencia para la implementación de otras normas en el campo del gas natural. Destinado para diseñadores y operarios de instalaciones.²⁹

- **SIGTTO: “Sociedad internacional de operadores de buques y terminales de gas”.**

Se especializan en promover operaciones de envío y terminales de GNL de manera segura, desarrollando de manera activa las mejores prácticas y pautas operativas.

- **OCIMF: “Oil Companies International Marine Fórum”.**

Es un organismo preocupada por la operación y equipamiento de los terminales con derivados del petróleo, entre ellos el gas. Recomendando acciones para las operaciones mejorando la calidad de la seguridad.

Algunos de los documentos asociados al bunkering de GNL:

- (2009): Guía de recomendaciones para las defensas en operaciones de bunkering GNL. Siendo especialmente aplicadas para STS.
- (2011): Manual para proveer servicios STS: otro texto para operaciones STS, incluyendo característica generales y ejemplo de formularios tipo (Check-list y rellenables).
- MTMSA: Establece premisas para cada una de las operaciones realizadas antes, durante y después de la operación.

- **Sociedades de clasificación**

- “LNG bunkering guide lines”: Se dedica a explicar y regular las obligaciones que deben de tener cada parte durante la operación.
- “Risk assesments as required by the IGF Code”: Enfocado al cálculo de riesgo indicado en el IGF y los métodos de reducción disponibles.

²⁹ Lista de referencias: [17] ISO.

- **Organismos nacionales e internacionales: EMSA (European Maritime Safety Agency), Puertos de Estado y BOE (Boletín Oficial de Estado).**

La EMSA se encarga de proporcionar a la UE regulaciones sobre seguridad marítima y contaminación por embarcaciones.

Puertos del estado es un ente público empresarial del Ministerio de Fomento encargado de la ejecución de la política portuaria, control y coordinación.

- (2016) Guidance on LNG bunkering to Port Authorities & Administrations.
- ROM 0.2-9. “Acciones al proyectar Obra Marítima Portuaria”: en la que el texto también comprende al diseño de terminales y a consultar para las operaciones de bunkering que se realicen como TTS y PTS.
- ROM 3.1-99 “Proyecto de la Configuración Marítima de los puertos; Canales de Acceso y Áreas de flotación”: Recoge regulaciones sobre las dimensiones de los accesos y la regulación de las maniobras de obras marítimas y portuarias.

- **GASNAM “Asociación Española de Gas Natural para la Movilidad”.**

Se encarga de fomentar el uso de gas natural en la península ibérica y establecer una regulación conjunta. Regula especialmente la financiación y la seguridad de estas estructuras portuarias. Respecto a la normativa más relacionada con el bunkering se encuentra una recomendación técnica para el suministro de gas natural licuado como combustible marítimo.

- **PIANC “Asociación Mundial para las infraestructuras del transporte vía marítima y fluvial”.**

Conjunto de expertos que realizan publicaciones especializadas sobre infraestructuras, eficientes y sostenibles, propiciando el crecimiento del transporte marítimo. Alguna de sus publicaciones:

- (2012) “Safety Aspects Affecting the Berthing Operations of Tankers to Oil and Gas Terminals”: recomendaciones de buques que van amarrarse tratando sobre todo buques petroleros, gaseros y propulsados a gas.
- (2016) “Design of Small to Mid-Scale Marine LNG Terminals Including Bunkering”: Recomendaciones para diseñar una terminal de pequeña o mediana escala, ayudando a la adaptabilidad de los servicios en las centrales.

- (2016) “Recommendations for the design and assessment of marine oil and petrochemical terminals”: guía para las buenas prácticas de todo tipo de terminales marítimas tanto como las nuevas de construcción como las ya construidas.

CAPÍTULO 4. FORMACIÓN DEL PERSONAL A BORDO

En este apartado comenzaremos a explicar qué tipo de formación es necesaria para la tripulación de buques que van a tener GNL como combustible. La formación del personal es fundamental para evitar daños innecesarios por errores de operación, escaso conocimiento de conceptos del producto, seguridad de la operación, forma de reaccionar, aportaciones de mejoras del sistema y acortar tiempos de operación. Existe varios organismos que se encargan de regular la formación en el sector marítimo como el STCW, IMO, IGF y SGMF's entre otros siendo estos a nivel internacional los más conocidos.³⁰

Su objetivo es desarrollar las competencias de la tripulación incluyendo oficiales, ingenieros, marineros y otros cargos en situaciones de suministro con gas natural licuado.

- Entrenamiento básico de la tripulación para operaciones de abandono del buque o situaciones de peligro.
- Entrenamiento avanzado para todos los oficiales e ingenieros de la “crew” envueltos en procesos y sistemas de bunkering GNL.

Aunque existan estas regulaciones a nivel internacional hay que tener en cuenta que los oficiales al mando son responsables de familiarizar a los nuevos con el buque, facilitando información y asignando roles para la maniobra.

SGMF's C “Marco operativo de competencias”:

Esta plataforma ha publicado recomendaciones competenciales con el suministro de LNG preparando al personal que involucre a estas infraestructuras. Divide las competencias en 4 distintas: Manager, Realizador, Asistencia y Seguridad.

³⁰ Lista de referencias: [8] Ministerio de Fomento (2016).

Director: Individuo que planea, administra y son responsables del rendimiento del bunkering o del área en la que trabajan. (color: verde)

Realizador: Individuos que realizan la transferencia y quienes pueden organizar al demás personal. (color: naranja)

Asistencia: individuos que asisten a la transferencia GNL bajo supervisión directa. (color: azul)

Respondedor: para individuos en el buque o en los alrededores que necesiten ser familiarizados con el peligro asociados con el GNL y sobre las medidas oportunas en caso de emergencia. (color: gris)

En la “Imagen n°17” se puede ver el número mínimo de responsables a bordo del buque receptor.

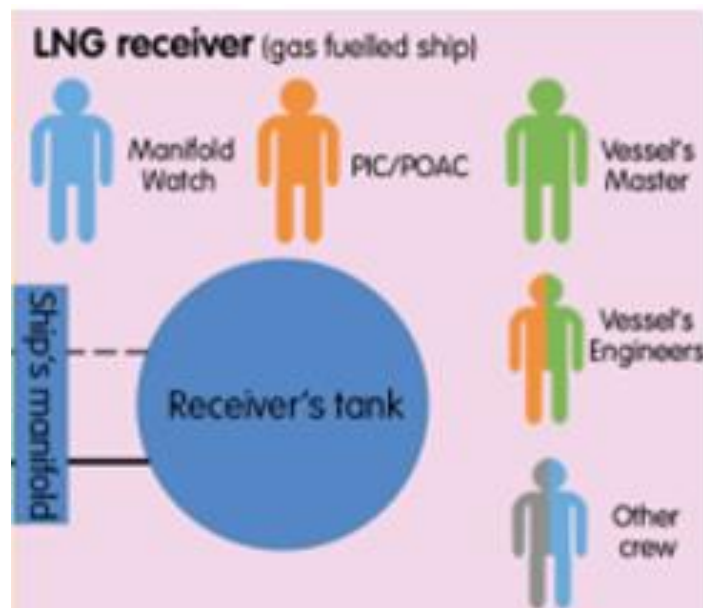


Imagen n°17: Roles durante el bunkering. Fuente: “Society for Gas as a Maritime Fuel”.

El PIC está al mando de la transferencia de GNL, siendo un operario externo a la tripulación, es decir, de la terminal. Se encarga de proveer la correcta cantidad y calidad de GNL. Además de ser el

responsable de la seguridad del suministro y de los equipos de transferencia, teniendo contactos con medios de seguridad ambientales y la autoridad de detener el proceso de transferencia en caso de fallo.

Código IGF:

El código IGF regula todo barco que esté propulsado a gas, la parte D de dicho código pertenece a la formación, en donde el objetivo es que la gente de mar tenga una debida formación, cualificación y experiencia, en este tipo de buques. Delegando esa responsabilidad de comprobar que han recibido una formación que capacite a la gente de mar para desempeñar cometidos y responsabilidades a las compañías navieras. Teniendo siempre en cuenta de lo que figura en los convenios y en el código.

En el Capítulo 19 del Código IGF hace referencia al convenio STCW capítulo 3 regla V/3 en donde se estipulan diferentes niveles de formación, diferenciando entre marineros y oficiales e ingenieros de a bordo. Los certificados se dividen en dos niveles el básico y el avanzado:

- Certificado de suficiencia en formación básica para buques regidos por el código IGF: Va dirigida a la gente de mar encargada de cometidos específicos de seguridad vinculados a las precauciones de manipulación del combustible.
- Certificado de suficiencia en formación avanzada para buques regidos por el código IGF: Se le exige su posesión a los Capitanes, oficiales de máquinas y toda persona directamente responsable de las precauciones y de los sistemas.

También debido a la existencia de certificados para la carga de GNL avanzados. Estos oficiales podrán pedir la validación del certificado IGF con el acompañamiento de un certificado de la empresa que demuestre que ha realizado operaciones de este tipo.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN

Durante el transcurso del trabajo se ha investigado la viabilidad del gas natural licuado, teniendo en cuenta la composición, los daños ambientales, su precio e iniciativas por parte de los puertos. También se ha estudiado los tipos de suministro en los puertos teniendo en cuenta las zonas de peligro para cada uno y esquemas que reflejan la posibilidad de accidente por fuga de gas. Además del estudio de sub-operaciones y regulaciones, consiguiendo de esta manera una representación visual de lo que representa este movimiento que está por llegar.

A lo largo del trabajo han sido tres las conclusiones sacadas:

1-El servicio de bunkering es una actividad completamente necesaria para el funcionamiento de los buques y teniendo en cuenta que el comercio marítimo representa el 90% del comercio internacional es también uno de los que más influencia tiene en el cambio climático, por ello se debe tomar medidas utilizando combustibles con bajo nivel de azufre.

2-El GNL es un combustible con bajos niveles de emisiones que tras la regulación MARPOL de enero de 2020 ha sufrido un alza de su viabilidad frente a los combustibles bajos en azufre como el MGO y VSFO. Además, las proposiciones de una nueva zona ECA en el mar Mediterráneo y las inversiones de las 170 estaciones distribuidas por el mundo demuestra que es un combustible emergente con posibilidades de establecerse como combustible principal.

3-Las fugas de GNL pueden provocar daños por una concentración de gases que se inflama, por las temperaturas criogénicas que alcanzan las líneas durante el suministro y por la concentración de gases en lugares cerrados desplazando el aire y provocando asfixias, pero utilizando los sistemas de desarrollo de áreas de seguridad y los documentos check list se puede reducir hasta un porcentaje muy pequeño la posibilidad de que ocurra un accidente.

Como es una energía en alza dentro de unos años aumentará la cantidad y la diversidad de buques propulsados con GNL. Estos buques necesitarán marinos con el certificado en buques regidos por el código IGF y aunque exista la posibilidad de convalidar el “certificado IGF” con el “certificado avanzado de gaseros” la oferta de puestos en buques que transporten GNL no será

suficiente para la demanda de marinos necesaria para tripular los nuevos buques, así que ofrecer una formación en la Universidad permitiría a los nuevos alumnos incorporarse de una forma directa a este nuevo movimiento de buques propulsados por GNL.

ANEXO I. CERTIFICADOS DE FORMACIÓN



ANEXO I
MINISTERIO DE FOMENTO-ESPAÑA
 DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE

MINISTRY OF DEVELOPMENT-SPAIN
General Directorate of Maritime Affairs

CERTIFICADO DE SUFICIENCIA otorgado a: [.....] D.N.I/Pasaporte [.....],
 nacido el [.....], por haber cumplido los requisitos establecidos en la Regla V/3.5 del CONVENIO INTERNACIONAL SOBRE
 NORMAS DE FORMACIÓN, TITULACIÓN Y GUARDIA PARA LA GENTE DE MAR, 1978, ENMENDADO, y en la Sección A-V/3.1 del Código
 STCW, en la especialidad de:

Formación básica para los buques regidos por el Código IGF

The GOVERNMENT OF SPAIN certifies that the present certificate is issued to: [.....],
D.N.I/Passport number [.....], date of birth [.....], who has been duly qualified in accordance with the provisions of Regulation V/3.5 of the
INTERNATIONAL CONVENTION ON STANDARDS OF TRAINING, CERTIFICATION AND WATCHKEEPING FOR SEAFARERS, 1978, AS AMENDED, and
Section A-V/3.1 of the STCW CODE, and has been found competent as:
Basic training for ships subject to the IGF Code

Dado en: [.....] el: [fecha de expedición]; Caduca el: [.....]
 Issued in: [.....] on: [.....]; Expiry: [.....]
 Firma del Titular El Director General de la Marina Mercante Número de registro: [.....]
 El Jefe de la Unidad
 Number of registry [.....]

Sign of the Holder

General Director of Maritime Affairs

Head of the Unit

Imagen nº18: Certificado de formación básica. Fuente: “Ministerio de Fomento”.



ANEXO II
MINISTERIO DE FOMENTO-ESPAÑA
DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE

MINISTRY OF DEVELOPMENT-SPAIN

General Directorate of Maritime Affairs

CERTIFICADO DE SUFICIENCIA otorgado a: [.....] D.N./Pasaporte [.....],
nacido el [.....], por haber cumplido los requisitos establecidos en la Regla V/3.8 del CONVENIO INTERNACIONAL SOBRE
NORMAS DE FORMACION, TITULACION Y GUARDIA PARA LA GENTE DE MAR, 1978, ENMENDADO, y en la Sección A-V/3.2 del Código
STCW, en la especialidad de:

Formación avanzada para los buques regidos por el Código IGF

The GOVERNMENT OF SPAIN certifies that the present certificate is issued to: [.....],
D.N./Passport number [.....], dates of birth [.....], who has been duly qualified in accordance with the provisions of Regulation V/3.8
of the INTERNATIONAL CONVENTION ON STANDARDS OF TRAINING, CERTIFICATION AND WATCHKEEPING FOR SEAFARERS, 1978, AS
AMENDED, and Section A-V/3.2 of the STCW CODE, and has been found competent as:
Advanced training for ships subject to the IGF Code

Dado en: [.....] el: [fecha de expedición]; Caduca el: [.....] Número de registro: [.....]
Issued in: [.....] on: [.....] Expiry: [.....] Number of registry [.....]
Firma del Titular El Director General de la Marina Mercante El Jefe de la Unidad

Sign of the Holder

General Director of Maritime Affairs

Head of the Unit

Imagen nº19: Certificado de formación avanzado. Fuente: “Ministerio de Fomento”.

LISTA DE REFERENCIAS

6.1. Referencias bibliográficas

Libro en edición impresa:

[1] Raymond Chang. (1999). *Química. La química de la atmósfera*. Mexico DF, Mexico: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

6.2. Artículos científicos

[2] Jack Sharples. (01/2019). *LNG Supply Chains and the Development of LNG as a Shipping Fuel in Northern Europe*.

<https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2019/01/LNG-supply-chains-and-the-development-of-LNG-as-a-shipping-Fuel-in-Northern-Europe-NG-140.pdf>

(Primer Acceso: 02/01/2020).

[3] Alberto Camarero, Alfonso Camarero, M.^a Nicoleta González y Eduardo Dominguez (2012). *Transporte marítimo: de la SECA a la ECA*.

http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2012/2012_noviembre_3537_05.pdf

(Primer Acceso: 20/01/2020).

[4] GASNAM (2017). *Suministro de gas natural licuado como combustible marino*.

<https://gasnam.es/wp-content/uploads/2018/10/Recomendacion-tecnica-GASNAM-suministro-GNL-a-buques-2017.pdf>

(Primer Acceso: 17/01/2020).

[5] GASNAM (2017). *Anexo II: procedimiento detallado para el suministro de gas natural como combustible para la modalidad Ship to Ship (STS)*.

<https://gasnam.es/wp-content/uploads/2018/10/Anexo-II-Procedimienot-STS-GASNAM.pdf>

(Primer Acceso: 17/01/2020).

[6] GASNAM (2017). *Anexo III: procedimiento detallado para el suministro de gas natural licuado como combustible en la modalidad Port(terminal) to Ship (PTS)*.

<https://gasnam.es/wp-content/uploads/2018/10/Anexo-III-Procedimiento-PTS-GASNAM.pdf>

(Primer Acceso: 15/01/2020).

[7] DNV.GL (2014). *Liquefied Natural Gas (LNG) Bunkering Study. Maritime Administration*.

(Primer Acceso: 01/01/2020).

[8] Ministerio de Fomento (2016). *Resolución de 21 de septiembre de 2016, de la Dirección General de la Marina Mercante, sobre obtención del certificado de suficiencia en formación básica y avanzada para capitanes, oficiales y marineros de buques que utilicen gases u otros combustibles de bajo punto de inflamación (Código IGF)*.

(Primer Acceso: 10/01/2020).

6.3. Referencias Web

[9] Julio de la Cueva (2014). *Estudio sobre el suministro de GNL a buques mediante camión*.

http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/documento_v_10_docx_jdlc-_entregado_para_difusion.pdf

(Primer Acceso: 05/01/2020).

[10] Emilio Turno Sierra (1994). NTP 430: *Gases licuados: evaporación de fugas y derrames*.

https://www.insst.es/documents/94886/326962/ntp_430.pdf/0b2983f6-0c9b-456b-9ea2-7fcbc3b6814e

(Primer Acceso: 07/01/2020).

[11] Danielle, Aaron, Per (2014). *Liquefied Natural Gas (LNG) Bunkering Study Det Norske Veritas, Inc.*

<http://providenceship.com/images/publications/LNG-bunkering-2014.pdf>

(Primer Acceso: 01/02/2020).

[12] The society for gas as a marine fuel (2017). *Gas as a marine fuel an introductory guide*.
<https://sgmf.info/assets/docs/sgmf-guide.pdf>

(Primer Acceso: 03/01/2020).

[13] IACS (2016). *LNG bunkering guidelines*,
http://www.iacs.org.uk/media/2620/rec_no_142_pdf2936.pdf

(Primer Acceso: 15/01/2020).

[14] CDI / ICS / OCIMF / SIGTTO (2013). *Ship to Ship Transfer Guide for Petroleum, Chemicals and Liquefied Gases*.

<https://www.sigtto.org/>.

(Primer Acceso: 13/01/2020).

[15] Rosa, Carmen, Miguel, José (Siport21). *Estado de Arte del LNG Bunkering*.

http://es.siport21.com/wp-uploads/2017/10/Siport21_LNG-Bunkering_Trabajo_rev00.pdf

(Primer Acceso: 22/01/2020).

[16] Código IGF (2017).

<https://www.anave.es/prensa/archivo-noticias/1482-el-codigo-igf-entra-en-vigor-el-1-de-enero-de-2017> .

(Primer Acceso: 25/01/2020).

[17] ISO / TS 18683(2015).

<https://www.iso.org/standard/63190.html>.

(Primer Acceso: 31/12/2019).

[18] Ship&Bunker (2019). *Rotterdam bunker Price*.

<https://shipandbunker.com/prices/emea/nwe/nl-rtm-rotterdam#MGO>

(Primer Acceso: 07/01/2020).

[19] Sea/LNG (2020). *Global Infrastructure for LNG Bunkering*.

<https://sea-lng.org/lng-as-a-marine-fuel/bunkering-infrastructure>

(Primer Acceso: 08/01/2020).

[20] Oizmendi (2018). *Astilleros Murueta*.

<http://www.astillerosmurueta.com/vessels/32/oizmendi/>

(Primer Acceso: 11/01/2020).

[21] GNL. Global (2019). *Europa alcanza volúmenes récord en las importaciones de GNL mientras Asia desacelera*.

(Primer Acceso: 11/01/2020).

[22] Anne Katrin Brevik (2018). *Is the LNG market turning in 2019?*

<https://www.refinitiv.com/perspectives/market-insights/lng-market-turning-2019/>.

(Primer Acceso: 14/01/2020).

[23] Port of Rotterdam. (2014). *LNG: import, export and bunkering*.

(Primer Acceso: 17/01/2020).

[24] Huelva información. (2019). *El Puerto de Huelva acoge un bunkering de alta velocidad impulsado por Baleària*.

https://www.huelvainformacion.es/huelva/Puerto-Huelva-bunkering-velocidad-Balearia_0_1410759105.html

(Primer Acceso: 20/01/2020).

[25] MT LNG. (2014). *LNG bunkering procedures in ports and terminals in the south baltic sea region*.

(Primer Acceso: 23/01/2020).