



# Universidad de La Laguna

## El gas natural como combustible marino y el ejemplo del Ro-Pax “Abel Matutes”

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Sección de Puente  
Máquinas y Radioelectrónica Naval

Grado en Náutica y Transporte Marítimo

Autor: Daigoro Saavedra Rodríguez

Tutor: Antonio José Poleo Mora

Marzo de 2019



# Índice

1. Introducción.....	9
2. Abstract.....	10
3. Zonas ECA y su legislación.....	11
3.1. Diferentes zonas ECAS.....	15
3.1.1. Por su ubicación geográfica.....	16
3.1.2. Por su naturaleza.....	17
4. Opciones de combustibles o métodos para cumplir la normativa.....	23
4.1. Scrubbers .....	24
4.2. ULSD (diésel ultra bajo en azufre) .....	28
4.3. GNL.....	29
5. El GNL como combustible marino.....	32
5.1. Introducción GNL.....	32
5.2. Historia y desarrollo del GNL .....	33
5.3. Composición y características del GNL .....	34
5.4. Mantenimiento de un sistema de GNL .....	36
6. Comparativa del GNL con otros combustibles .....	38
6.1. Ventajas.....	38
6.1.1. Ventajas de los scrubbers .....	38
6.1.2. Ventajas del ULSD .....	38
6.1.3. Ventajas del GNL.....	38
6.2.-Desventajas.....	39
6.2.1. Desventajas de los scrubbers .....	39

6.2.2. Desventajas del ULSD.....	39
6.2.3. Desventajas del GNL.....	39
7. Medidas y medios de seguridad por el uso del GNL .....	40
7.1. Medios de seguridad.....	41
7.2. Medidas de seguridad.....	42
7.3. Medios y medidas de seguridad en el Ro-Pax “Abel Matutes” ejemplos.....	43
8. Conclusiones.....	51
9. Conclusions.....	52
9. Bibliografía.....	53

## Índice de imágenes

Imagen 1. Modelo de certificado IAPP.....	13
Imagen 2. Suplemento certificado IAPP.....	14
Imagen 3. Zonas de control de emisiones.....	16
Imagen 4. NECA del caribe.....	22
Imagen 5. Scrubber sistema abierto.....	24
Imagen 6. Scrubber sistema cerrado.....	27
Imagen 7. Scrubber sistema híbrido.....	28
Imagen 8. ULSD.....	29
Imagen 9. Gasero esférico tipo Moss.....	30
Imagen 10. Cadena de valor del GNL.....	33
Imagen 11. Extintores fijos en ambos bunker cubierta 3.....	44
Imagen 12. Mangueras contra incendios de 45 mm.....	44
Imagen 13. Bifurcaciones en “Y” de 70mm a dos de 45mm.....	45
Imagen 14. Lanza de cortina on conexión de 45mm.....	45
Imagen 15. Botas atex.....	46
Imagen 16. Linterna atex.....	46
Imagen 17. Delantal criogénico y máscara de protección.....	47
Imagen 18. Guantes criogénicos.....	48
Imagen 19. Traje criogénico integral.....	48
Imagen 20. Central repetidora de alarmas del gas.....	49
Imagen 21. Ordenador de control del motor de gas y su sistema.....	49
Imagen 22. VHF portátiles atex y medidor de gases.....	50
Imagen 23. Test de familiarización con el GNL para los tripulantes.....	51

## Índice de gráficas

<b>Gráfica 1.</b> Gráfica de los diferentes Tiers.....	19
<b>Gráfica 2.</b> Gráfica de comparativa entre las emisiones de SOx y el tiempo... ..	20
<b>Gráfica 3.</b> Gráfica de sectores de las diferentes fuentes de energía.....	23
<b>Gráfica 4.</b> Gráfica comparativa de las emisiones entre hidrocarburos .....	31

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b>	Tabla de zonas especiales según la OMI... ..	15
<b>Tabla 2.</b>	Tabla de valor límite de emisión pondera por ciclo... ..	18
<b>Tabla 3.</b>	Tabla de la diferencia emisiones entre fuera de zona ECA y dentro .....	20

## **Índice de acrónimos**

**ECA:** Emission Control Area, Zona de Control de Emisiones.

**SECA:** Sulphure Emission Control Area, Zona de Control de Emisiones de Azufre.

**NECA:** Nitrogen Emission Control Area, Zona de Control de Emisiones de Nitrógeno.

**MARPOL:** The International Convention for the Prevention of Pollution from ships, Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques.

**COV:** Compuestos Orgánicos Volátiles.

**LNG:** Liquefied natural gas.

**GNL:** Gas Natural Licuado.

**ULSD:** Ultra Low Sulphure Diesel, Diesel Ultra Bajo en Azufre.

**RPT:** Rapid Phase Transition. Cambio Rápido de Fase.

**BLEVE:** Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion, Expansión Explosiva del Vapor de un Líquido en Ebullición.

**EPI:** Equipo de Protección Individual.

**VHF:** Very High Frecuencia, Frecuencia Muy Alta.

**OMI:** Organización Marítima Internacional



# 1. Introducción

La creación de este proyecto surgió promovida por la gran cantidad de charlas y comentarios que se hacen frecuentemente al respecto de qué harán los barcos con la entrada en vigor de la nueva normativa en enero del año 2020, en la que los buques no podrán superar sus emisiones de azufre en un 0,5% fuera de zonas ECA y en un 0,1% dentro de dichas zonas. Todo esto despertó en mi curiosidad, haciendo que me interesara e indagara mucho más en ello.

En España existe un buque “Abel Matutes” que ya hoy en día utiliza en su motor auxiliar gas natural licuado, un ro-pax, perteneciente a la compañía “Balearía Euro líneas marítimas” en el cuál realicé uno de los embarques como alumno de puente. En el buque la información sobre todas las cuestiones relativas al gas natural se podía encontrar fácilmente y más aun las que fueran relacionadas con la seguridad debido al uso de este. Dentro del buque me pude informar más gracias a un manual llamado “Gestión de emergencias para tripulantes de buques que utilicen GNL como combustible”, redactado por la conocida escuela de seguridad de Jovellanos, dicho libro me ha sido de utilidad en la creación del grueso del proyecto pudiendo referenciar mucha de la información con su contenido.

La estructura del trabajo fue pensada y hecha con la idea de al ir leyendo el trabajo, podamos conocer cuál es el motivo del uso del gas siendo en este caso la nueva normativa que hemos nombrado anteriormente una de ellas. Las opciones posibles además del gas y la comparativa con los mismos, una vez decidida la elección del gas se pudiese conocer, para ello hablamos un poco de la historia del gas, de su composición, las medidas y medios de seguridad extras que debemos tener al usarlo y podremos terminar con unas conclusiones concisas y claras las cuales reflejan a la vez un resumen del propio trabajo en muy pocos términos.

## 2. Abstract

The creation of this project was promoted by all the talks and comments that were made on the matter that the ships what will make now with the entry into the new rule in January 2020 in which the ships will not be able to exceed in their emissions of sulphure 0,5% outside of ECA areas and 0,1% in those zones. This all got me curious and made me interested, and inquired about it.

With all of these things in mind, I kept searching. For my luck in one of the boardings as a deck cadet, I enter in a ship which uses as fuel for its generator liquefied natural gas, a ro-pax named “Abel Matutes”, belonging to the company “Balearia Eurolineas Marítimas”. In the vessel the information on all matters relating to natural gas could be found easily and more on those related to safety due to the use of natural gas. I obtained a manual called, “gestión de emergencias para tripulantes de buques que utilicen GNL como combustible” written by the “Centro de Seguridad de Jovellanos”, that book has been very usefull to me in the creation of the of the project being able to reference much of the information with its contents.

The structure of the work was conceived and made with the idea of reading the work we can know what is the motive of the use of the gas, in this case the new rule. The possible options besides the gas and the comparative with them, once decided the choice of the gas, we can know, for this we speak a little of the history of the gas, of its composition, the extra security that we must have when using it and we finish with some concise and clear conclusions that reflect the resume of the work in very few terms.

### 3. Zonas ECA y su legislación

Para comenzar hablando de las zonas ECAS, primero se ha de definir su significado a dichas siglas las cuales responden a (Emission control areas), siendo en español zona de control de emisiones.

Previo a designar una zona como ECA se realiza un estudio que tiene en cuenta muchos factores, la zona de la futura ECA, el tráfico y demás términos de la ecuación, para poder demostrar que al aplicar la normativa en ese sitio concreto se reducirán realmente las emisiones globales.

Como más tarde se explicará hay diversos tipos de zonas ECAS, puesto que algunas controlan las emisiones de nitrógeno, otras de azufre, de COV, etc. Además se podrán dividir también por su ubicación geográfica ya que están dispuestas en diferentes partes del mundo. Aclarando también que la zona que más relacionada está a este trabajo sería la futura zona ECA del mar mediterráneo puesto que el barco del cual ha sido sacado la información trabaja en dicha zona, como se comentó anteriormente más adelante se explicará a que corresponden dicho acrónimos. Estas zonas están estipuladas por el convenio MARPOL, el cual es el que regula toda la normativa existente sobre contaminación y polución en la mar. En nuestro caso el tema a tratar se encuentra reflejado en su mayoría en el anexo VI de dicho convenio. [1,2,3]

Este anexo del convenio MARPOL consta de varios capítulos, el capítulo 1 serían las generalidades, el capítulo 2 sería reconocimiento, certificación y medios de control y por último el capítulo 3 Prescripciones para el control de las emisiones de los buques.

Además, constaría de las siguientes reglas:

**Regla 1** Ámbito de aplicación

**Regla 2** Definiciones

**Regla 3** Excepciones generales

**Regla 4** Equivalentes

**Regla 5** Reconocimientos

**Regla 6** Expedición o refrendo del Certificado

**Regla 7** Expedición del certificado por otra parte

**Regla 8** Modelo del certificado

**Regla 9** Duración y validez del certificado

**Regla 10** Supervisión de las prescripciones operacionales por el Estado rector del puerto

**Regla 11** Detección de transgresiones y cumplimiento

**Regla 12** Sustancias que agotan la capa de ozono

**Regla 13** Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

**Regla 14** Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y materia particulada

**Regla 15** Compuestos orgánicos volátiles (COV)

**Regla 16** Incineración a bordo

**Regla 17** Instalaciones de recepción

**Regla 18** Disponibilidad y calidad del fueloil

Finalmente se expondrán los apéndices del mismo, siendo estos los siguientes:

**Apéndice I**– Modelo de Certificado IAPP y un suplemento

**Apéndice II**– Ciclos de ensayo y factores de ponderación.

**Apéndice III**- Criterios y procedimientos para la designación de zonas de control de las emisiones de SO<sub>x</sub>.

**Apéndice IV**- Homologación y límites de servicio de los incineradores de a bordo.

**Apéndice V**- Información que debe incluirse en la nota de entrega de combustible.

**Apéndice VI**– Procedimiento de verificación del combustible a partir de las muestras de fuel oil estipuladas en el Anexo VI del MARPOL.

**Apéndice VII**– Zonas de control de las emisiones de Norteamérica.

En el apéndice 1 se habla de un certificado y un suplemento del mismo, este certificado corrobora que el buque está cumpliendo lo estipulado en la regla 5 de este mismo anexo

[4,7]

# Apéndices del Anexo VI

## Apéndice I

### Modelo de Certificado IAPP (Regla 8)

#### CERTIFICADO INTERNACIONAL DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Expedido en virtud de lo dispuesto en el Protocolo de 1997 que enmienda el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978, (en adelante llamado "el Convenio"), con la autoridad conferida por el Gobierno de:

.....  
*(nombre oficial completo del país)*

por .....

*(título oficial completo de la persona u organización competente autorizada en virtud de lo dispuesto en el Convenio)*

Nombre del buque	Número o letras distintivos	Número IMO	Puerto de matrícula	Arqueo bruto

Tipo de buque:  buque tanque  
 otro tipo

SE CERTIFICA:

1. que el buque ha sido objeto de reconocimiento, de conformidad con lo dispuesto en la [regla 5 del Anexo VI](#) del Convenio; y
2. que el reconocimiento ha puesto de manifiesto que el equipo, los sistemas, los accesorios, las instalaciones y los materiales cumplen plenamente las prescripciones aplicables del Anexo VI del Convenio.

El presente certificado es válido hasta el ..... a condición de que se realicen los reconocimientos prescritos en la regla 5 del Anexo VI del Convenio.

Expedido en .....

*(lugar de expedición del certificado)*

el .....

*(fecha de expedición)*

.....  
*(firma del funcionario debidamente autorizado)*

*(sello o estampilla, según corresponda, de la autoridad)*

Imagen 1. <https://ingenieromarino.com/el-convenio-marpol-7378/>

**REFRENDO DE RECONOCIMIENTOS ANUALES E INTERMEDIOS**

SE CERTIFICA que en el reconocimiento efectuado de conformidad con lo prescrito en la **regla 5 del Anexo VI** del Convenio, se **ha** comprobado que el buque cumple las disposiciones pertinentes del Convenio.

Reconocimiento anual: Firmado .....  
*(firma del funcionario debidamente autorizado)*  
 Lugar .....  
 Fecha .....  
*(sello o estampilla, según corresponda, de la autoridad)*

Reconocimiento anual\*/intermedio\*: Firmado .....  
*(firma del funcionario debidamente autorizado)*  
 Lugar .....  
 Fecha .....  
*(sello o estampilla, según corresponda, de la autoridad)*

Reconocimiento anual\*/intermedio\*: Firmado .....  
*(firma del funcionario debidamente autorizado)*  
 Lugar .....  
 Fecha .....  
*(sello o estampilla, según corresponda, de la autoridad)*

Reconocimiento anual: Firmado .....  
*(firma del funcionario debidamente autorizado)*  
 Lugar .....  
 Fecha .....  
*(sello o estampilla, según corresponda, de la autoridad)*

\* Táchese según proceda.

### 3.1 Diferentes zonas ECAS

Como antes se nombro que dichas zonas ECAS existen varias diferencias entre sí, en este párrafo las nombraremos, ademas de explicarlas un poco, también hablaremos de unas zonas que no son ECA, pero la OMI las considera especiales, de ahí su nombre “zonas especiales”.

Debido a su situación oceanográfica, ecológicas, su propia ubicación en la tierra y lo que más nos ataña a nosotros el trafico marítimo la OMI considera necesario tomar una serie de medidas diferentes que para las zonas ECA siendo estas mas restrictivas puesto que consideran que el nivel de protección necesario en ellas debe de ser mayor que el de las ECA. [4]

Las zonas especiales en virtud del Convenio MARPOL son las siguientes:

Adopción, entrada en vigor y fecha en la que pasan a tener efecto las zonas especiales			
Zonas especiales	Adopción #	Entrada en vigor	Con efecto desde
<b>Anexo I: Hidrocarburos</b>			
mar Mediterráneo	2 nov 1973	2 oct 1983	2 oct 1983
mar Báltico	2 nov 1973	2 oct 1983	2 oct 1983
mar Negro	2 nov 1973	2 oct 1983	2 oct 1983
mar Rojo	2 nov 1973	2 oct 1983	*
zona de los Golfos	2 nov 1973	2 oct 1983	1 ago 2008
golfo de Adén	1 dic 1987	1 abr 1989	*
zona del Antártico	16 nov 1990	17 mar 1992	17 mar 1992
aguas noroccidentales de Europa	25 sept 1997	1 feb 1999	1 ago 1999
zona de Omán del mar Árabe	15 oct 2004	1 en 2007	*
aguas meridionales de Sudáfrica	13 oct 2006	1 mar 2008	1 ago 2008
<b>Anexo II: Sustancias nocivas líquidas</b>			
zona del Antártico	30 oct 1992	1 jul 1994	1 jul 1994
<b>Anexo IV: Aguas sucias</b>			
zona del mar Báltico	15 jul 2011	1 en 2013	**
<b>Anexo V: Basuras</b>			
mar Mediterráneo	2 nov 1973	31 dic 1988	1 may 2009
mar Báltico	2 nov 1973	31 dic 1988	1 oct 1989
mar Negro	2 nov 1973	31 dic 1988	*
mar Rojo	2 nov 1973	31 dic 1988	*
zona de los Golfos	2 nov 1973	31 dic 1988	1 ago 2008
mar del Norte	17 oct 1989	18 feb 1991	18 feb 1991
zona del Antártico (al sur del paralelo 60° S)	16 nov 1990	17 mar 1992	17 mar 1992
región del Gran Caribe, incluidos el golfo de México y el mar Caribe	4 jul 1991	4 abr 1993	1 may 2011
<b>Anexo VI: Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques (zonas de control de las emisiones)</b>			
mar Báltico (SO <sub>x</sub> )	26 sept 1997	19 may 2005	19 may 2006
mar del Norte (SO <sub>x</sub> )	22 jul 2005	22 nov 2006	22 nov 2007
ECA de Norteamérica (SO <sub>x</sub> y materia particulada)	26 mar 2010	1 ago 2011	1 ago 2012
(NO <sub>x</sub> )	26 mar 2010	1 ago 2011	***
ECA del mar Caribe de los Estados Unidos (SO <sub>x</sub> y materia particulada)	26 jul 2011	1 en 2013	1 en 2014
(NO <sub>x</sub> )	26 jul 2011	1 en 2013	***

-Tabla 1. <https://ingenieromarino.com/el-convenio-marpol-7378/>.

### 3.1.1 Por su ubicación geográfica

En todo el mundo existen diferentes zonas ECAS, por ello se hablará un poco de las mismas además se plasmará en una imagen donde se ven reflejadas todas las zonas ECAS existentes y las futuras posibles zonas.



Imagen 3. <https://vadebarcos.net/2016/02/27/isla-bella-primer-portacontenedores-propulsado-gnl-lng-tote/> 02/03/19 14:40.

En 2011 ya se habían fijado cuatro zonas de control de emisiones contaminantes o ECA: el mar Báltico, el mar del Norte, la ECA norteamericana (casi toda la costa de EE. UU. y Canadá) y la ECA caribeña estadounidense estas serían las zonas ECA existentes representadas claramente en la imagen superior por un color azul oscuro.

Los buques que naveguen por las nombradas zonas deben utilizar un combustible con un contenido de sulfuros menor del 0,1%. Fuera de estas zonas, la limitación se establece en el 3,5%, aunque se verá reducida a partir de enero 2020 al 0,5%. [5]



### 3.1.2 Por su naturaleza

Como antes se expuso existen varias formas de diferenciar las zonas ECA, en el apartado anterior se vieron las localizaciones geográficas de las propias zonas ECA, en este apartado que ahora se está tratando se hablará de las diferentes zona ECA pero en función a que compuesto se refiere su restricción, esto quiere decir hay por ejemplo zonas NECA y zonas SECAS, la primera de este par significa zona de emisiones controladas de nitrógeno, donde entran en juego los llamados (NOx), óxidos de nitrógeno. La segunda responde a zona de emisiones controladas de azufre, siendo en este caso los óxidos de azufre (SOx).

Estas dos primeras que he comentado son las más importantes, pero también existen otras como las de COV que serían compuestos orgánicos volátiles o de propias partículas en suspensión. [4,6]

Se comenzará hablando de la primera que nombramos, siendo esta las NECAS.

El ya nombrado anexo VI del convenio MARPOL, establece nuevos límites en las emisiones referidas a los óxidos de nitrógeno, el control se lleva a cabo cumpliendo las prescripciones de reconocimiento y aprobación que permite a la expedición y aprobación del Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica para motores (EIAPP).

Demostrándolo de forma posterior cumpliendo la normativa estipulada por la regla 13 del anexo VI. [4,7]

Esta normativa se aplica a aquellos motores marinos diésel con una potencia superior de 130 KW obviando los motores que sean de forma exclusiva para emergencias, siendo independiente del arqueo que tenga el buque en el que dicho motor está instalado. [7]

Se aplican distintos criterios de regulación según la fecha de construcción del buque, estando esto definido en la regla 2.19, así como, en la regla 2.2, y según un determinado nivel, cuyo valor límite máximo se determina a partir del régimen nominal del motor.

Nivel	Fecha de constitución del buque	Valor límite de emisión ponderada total del ciclo (g/KWh) n = régimen nominal del motor (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 enero 2020	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ Ejemplo: 720 rpm – 12.1	9.8
II	1 enero 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ Ejemplo: 720 rpm – 9.7	7.7
III	1 enero 2016	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ Ejemplo: 720 rpm – 2.4	2.0

Tabla 2. Elaboración propia.

Después de mostrar la anterior tabla con los datos relacionados entre las revoluciones de trabajo de los motores y los “Tiers” existentes cabe comentar que los controles de nivel III sólo se aplican a buques los cuales se encuentren en navegación en una zona de emisiones controladas con restricciones de nitrógeno (NECA) fuera de dichas zonas se aplican controles de nivel II. [4,7]

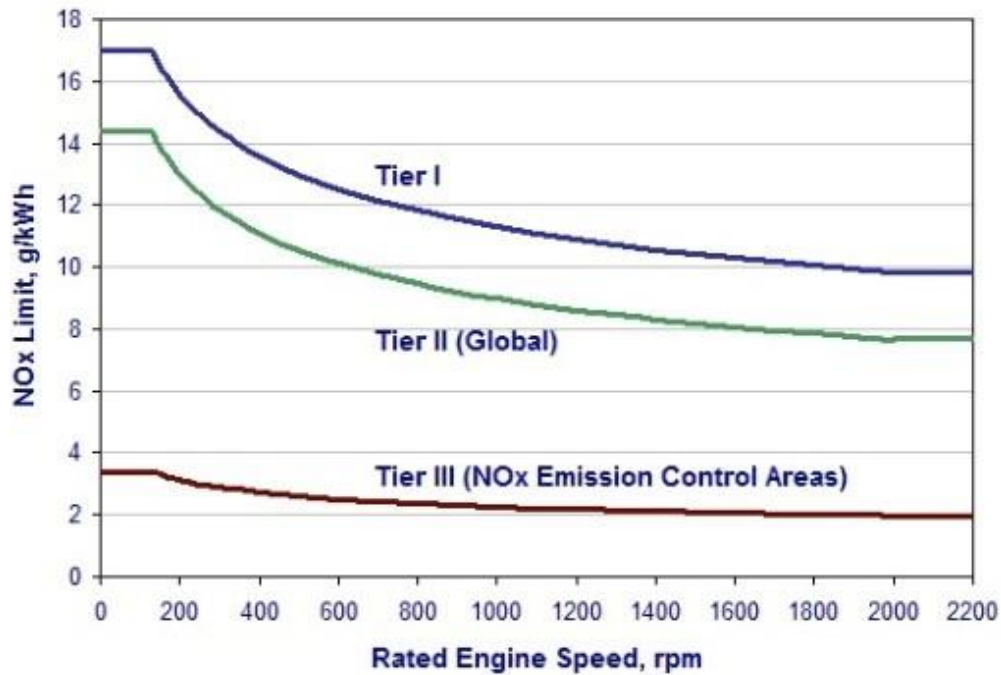
**Tier 1**, sería el primero de los tres niveles que conforman el apartado sobre las restricciones en las emisiones de NOx. En este nivel se prohíbe el funcionamiento de todo el motor diésel que estén instalados en buques los cuales hayan sido construidos entre el 1 de enero de 2000 y el 1 de enero 2011, a menos que la cantidad de óxidos de nitrógeno emitidos por el motor se encuentren dentro de los límites.

**Tier 2**, en este segundo nivel está prohibido el funcionamiento de todo motor instalado en un buque construido el 1 de enero 2011 o posteriormente, a menos que la cantidad de óxidos de nitrógeno emitidos por el motor se encuentren dentro de los límites.

**Tier 3**, se prohíbe el funcionamiento de todo motor diésel marino instalado en un buque construido el 1 de enero 2016 o posteriormente, a menos que la cantidad de óxidos de nitrógeno emitidos por el motor se encuentren dentro de los límites. [4,6,7,8]

Cabe comentar que en los motores los NOx, normalmente en su mayoría son óxido nítrico.

La cantidad de NOx existentes depende directamente de la temperatura de la llama o combustión y de la cantidad de nitrógeno orgánico, en caso de haberlo en la composición del propio combustible que se esté utilizando. Cuanto mayor sea la temperatura, más elevada, mayor será la cantidad de NOx que se formen. [4,6]



Gráfica 1. <http://indconsreprenaval.blogspot.com/2017/03/viabilidad-del-uso-del-gas-natural.html>.  
03/03/19 16:30.

A continuación, hablaremos de las zonas ECAS que se ocupan de controlar las emisiones de azufre y pequeñas partículas, llamándose estas SECAS. Dichas áreas están reguladas bajo las normas de la regla 13 del anexo VI del convenio MARPOL.

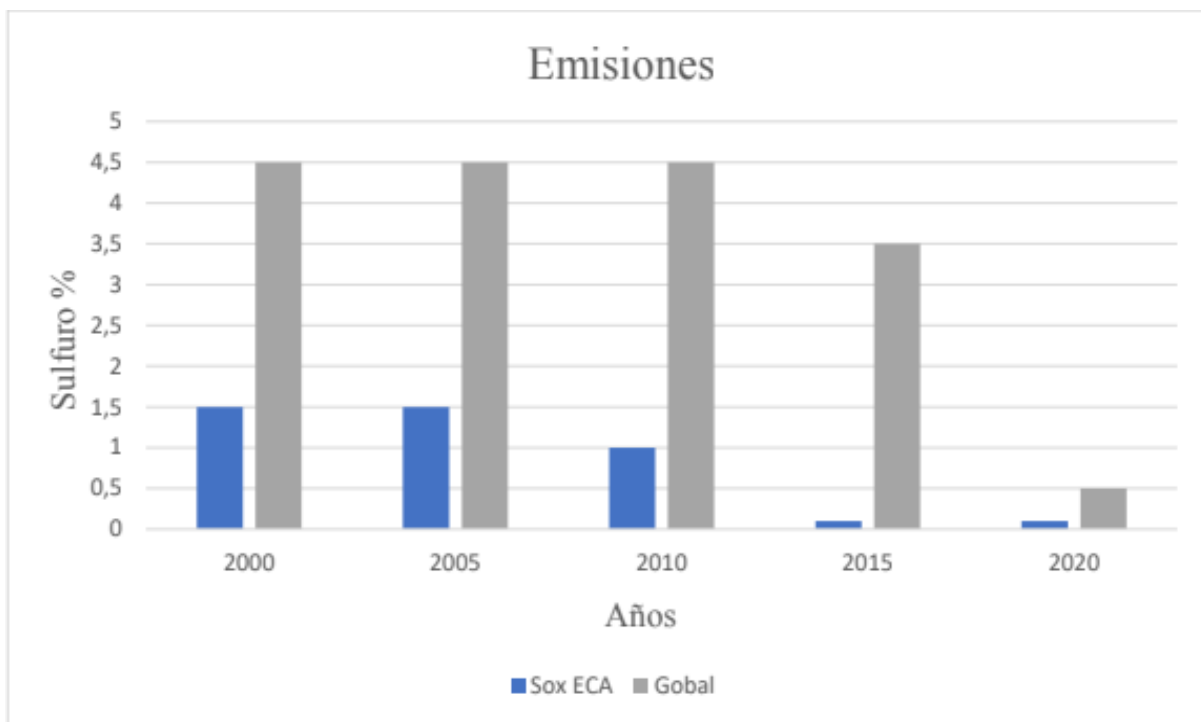
La regulación de las emisiones de SO<sub>x</sub> y de materia particulada se aplican en todos los equipos de combustión de todo tipo de fuel, según la definición que figura en la regla 2.9, instalados a bordo y, por tanto, incluyen tanto a los motores principales como a los auxiliares, así como a elementos tales como calderas y generadores de gas inerte. [6, 9]

En este caso del azufre se divide el control la forma de aplicación de esta en dos secciones, cuando en buque está en zona de control de las emisiones y cuando el mismo está fuera de estas. [7,10]

Límites establecidos fuera de una zona SECA	Límites establecidos en zona SECA
4,50% masa/masa antes del 1 de enero de 2012	1,50% masa/masa antes del 1 de julio de 2010
3,50% masa/masa a partir del 1 de enero de 2012	1,00% masa/masa a partir del 1 de julio de 2010
0,50% masa/masa a partir del 1 de enero de 2020*	0,10% masa/masa a partir del 1 de enero de 2015

Tabla 3. Elaboración propia.

En la siguiente gráfica se ve el cambio que se ha visto sometido el control de las zonas ECA con el paso de los años y las mejoras en y enmiendas. Siendo la parte azul el valor en zona ECA y el gris fuera de ella.



Gráfica 2. Elaboración propia.

Las zonas ECA establecidas son las siguientes:

- Zona del mar Báltico – definida en el Anexo I del Convenio MARPOL(solamente para los SO<sub>x</sub>).
- Zona del Mar del Norte –definida en el Anexo V del Convenio MARPOL (solamente para los SO<sub>x</sub>).
- Zona de Norteamérica (que entró en vigor el 1 de agosto de 2012) – definida en el apéndice VII del Anexo VI del Convenio MARPOL (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y PM).
- Zona del mar Caribe de los Estados Unidos (que entró en vigor el 1 de enero de 2014) – definida en el Apéndice VII del Anexo VI del Convenio MARPOL (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y PM).

Los buques que naveguen en cualquier zona y usen el fuel correspondiente, deberá cambiar al necesario para cumplir la normativa de la ECA antes de haber ingresado en la misma y de forma similar en la salida no podrá realizar el cambio a él fueloil pesado hasta haber salido totalmente de la zona en cuestión. [6,10]

A continuación, se expondrá un poco cada una de las SECAS, empezando por la primera, que esta fue la del mar Báltico. El Mar Báltico fue la primera zona designada SECA, según el Anexo VI del Convenio MARPOL de 1997 y entró en vigor en mayo de 2005. Esta zona está rodeada por los siguientes países, (empezando por la península Escandinava y siguiente en sentido horario): Suecia, Finlandia, Rusia, Estonia, Letonia, Lituania, Polonia, Alemania y Dinamarca. [4,6]

La siguiente zona ECA es la del mar del norte, Esta zona, junto con el Canal de la Mancha, fue la segunda en ser declarada zona SECA. Entró en vigor en el 22 de noviembre de 2006 y 12 meses más tarde, empezó a aplicarse en ella la normativa vigente. [6,8,10]

El anexo VI del MARPOL, designa las zonas del Mar del Norte como las siguientes:

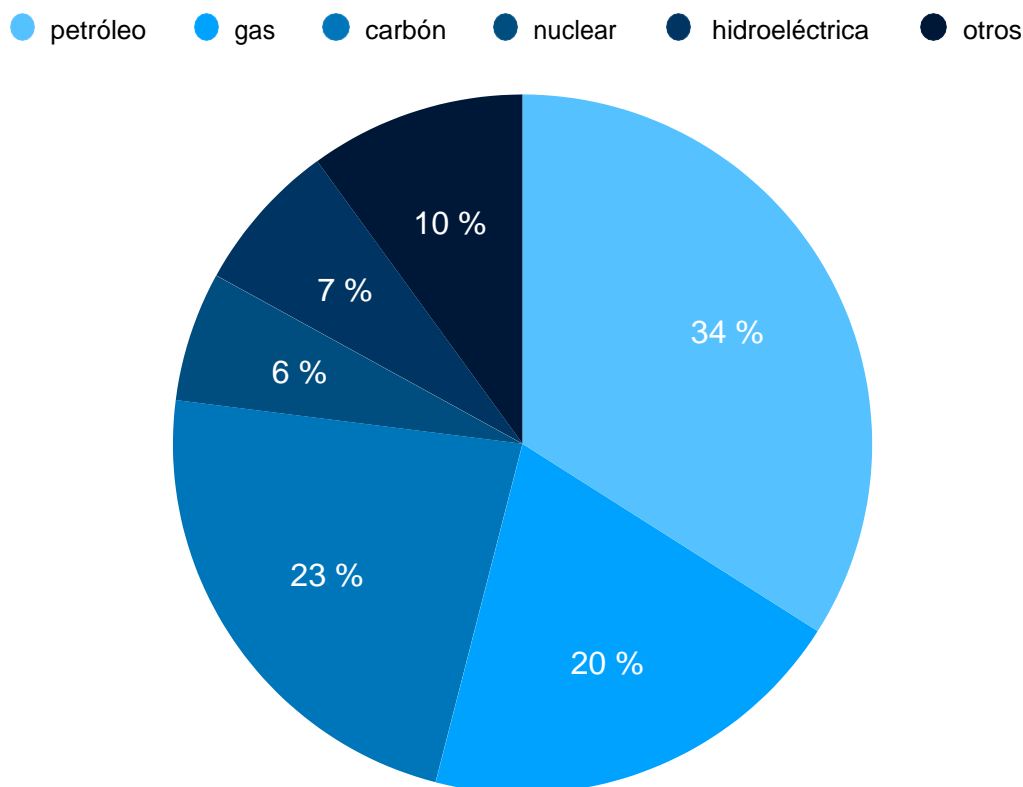
- Desde el Sur del Mar del Norte a una Latitud de 62º N y hacia el Oeste a una Longitud de 4º W.
- El límite del estrecho Skagerrak al Sur que se determina en el Este de Skaw por una latitud de 57º 44.8' N.
- El Canal Inglés (de la Mancha) y sus enfilaciones hacia el Este del meridiano 5º W, y hacia el Norte del paralelo 48º 30' N. [6,8,10]



## 4. Opciones de combustibles o métodos para cumplir la normativa

Este apartado, se podría decir que es uno de lo más interesantes del grueso del proyecto, ya que en él se encuentra la mayor polémica entre las navieras y los informados del tema, puesto que se puede cumplir las normativas que entraran en virgo en enero del 2020 de un 0,5% de azufre en las emisiones, tanto con el uso de nuevos combustibles como puede ser el ULSD o el GNL, también pudiéndose cumplir usando fueloil pesados convencionales y el uso de torres de lavado o también llamado scrubbers.[8]

Para hacerse una idea de las fuentes de energía que hoy en día se siguen usando a continuación se reflejara dichos datos en una pequeña gráfica.



Gráfica 3. Elaboración propia

A la vista de la anterior gráfica es bastante lógico el uso de scrubbers debido a la gran cantidad de petróleo que se sigue usando mundialmente, además en el caso del transporte

marítimo es mucho mayor, puesto que alrededor del 70% de todo el uso de ese petróleo se utiliza de combustible en el medio líquido.[8]

#### 4.1 Scrubbers

Después de usar la gráfica como introducción, en este momento se comenzará a explicar un poco el uso de las scrubbers en los buques como opción para cumplir la normativa, que entra en vigor en enero de 2020, además de ser posible que con el uso de las mismas también se cumplan las normativas de las zonas ECA.

La función de los scrubbers, torres de lavado o lavadores, no es más que mediante algunos sistemas y procesos limpiar el aire, en este caso el aire de los escapes de todas las sustancias nocivas y partículas que puedan quedar en dicha mezcla gaseosas, en este caso las torres de lavado a bordo de los buques principalmente se usan para eliminar los posibles óxidos de azufres que existen en los gases de escape y también las partículas, porque se ha estudiado ambos residuos suelen ir en conjunto debido a las combustiones incompletas que se realizan en los motores, viéndose también afectadas por la propia calidad que tenga el combustible que estemos usando.[8,10]

Esta tecnología se utiliza desde 1930, aunque solo en instalaciones de tierra. El primer prototipo para buques fue instalado en el buque MK Kronprins en el año 1991. En el mercado hay al menos 12 compañías, estas son algunas de las que comercializan este sistema (Alpha Laval, Hamworthy, Wärtsila, Clean Marine, Couple Systems, Man Turbo & Diesel, Marine Exhaust Systems...). [8,11,12]

Como promedio el tiempo que tarda en instalar un scrubber en un buque ya construido está entorno a los 20 días de trabajo. Cabe decir que existen diferentes sistemas de scrubber pudiéndose diferenciar en dos grupos, sistema seco y sistema húmedo, estando este último subdividido en tres modelos diferentes, de circuito cerrado de circuito abierto y de circuito híbrido. [8,12,13]

Se comenzará tratando los de tipo húmedo puesto son los que en la mayoría de los casos están montados a bordo de los buques.

##### **Scrubber húmedo de circuito abierto**

En este sistema el agua el cual se usa para el propio proceso es tomada del mar y después del proceso de *scrubbing*, se vuelve a verter al mar. Se utiliza la composición natural del agua de mar para neutralizar el SO<sub>2</sub> y eliminarlo. Habitualmente los sistemas abiertos de agua de mar tienen una capacidad de 45m<sup>3</sup>. [15,16]



“La separación de SOx llega al 98%, por lo que este sistema puede ser utilizado mientras se consume fuel de 3,5%S y conseguir emisiones equivalentes a las de haber quemado un combustible con 0,1%S. Para llegar a este nivel de 0,5%S, el sistema regularía el volumen de agua utilizado. Este sistema se basa en la alcalinidad del agua, por lo que en aguas de baja alcalinidad su efectividad disminuye, como en el Báltico. También disminuye su efectividad en aguas de alta temperatura.” [8]

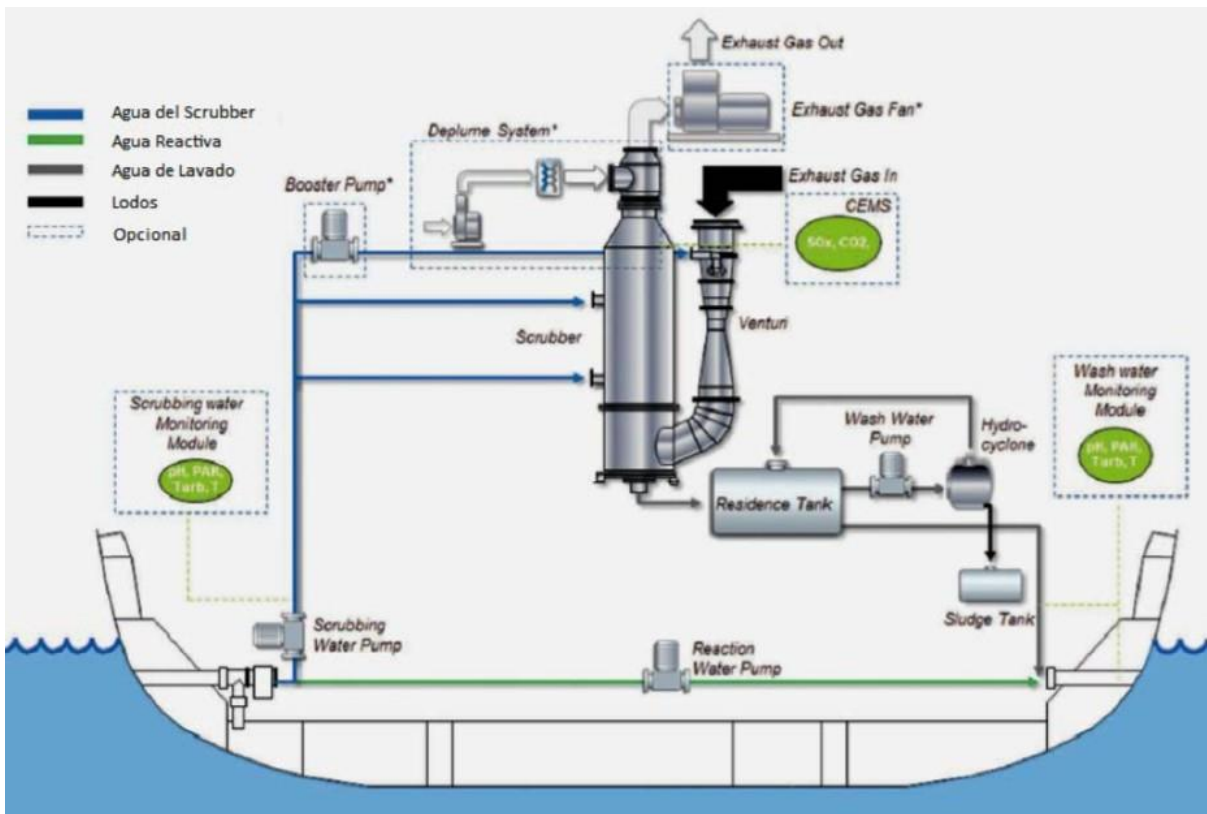
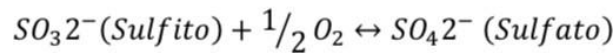
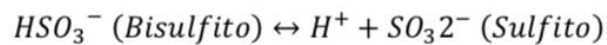
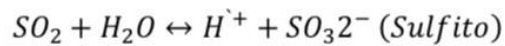


Imagen 5. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22872/PFC\\_ETN\\_M.SIN\\_Definitivo.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22872/PFC_ETN_M.SIN_Definitivo.pdf).

Los scrubbers de agua de mar necesitan que los gases de escape se mezclen totalmente con el agua salada para que así se formen las reacciones químicas necesarias y poder neutralizar los óxidos de azufre, cuando dichos óxidos de azufre se disuelven en la mezcla se produce una reacción en la que el dióxido de azufre se ioniza en bisulfito y sulfito los cuales son fácilmente oxidados por el agua de mar la cual contiene oxígeno. [8,16]

Las reacciones serían las siguientes:

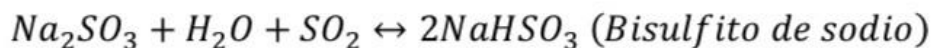
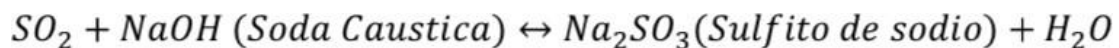


### **Scrubber húmedo de circuito cerrado**

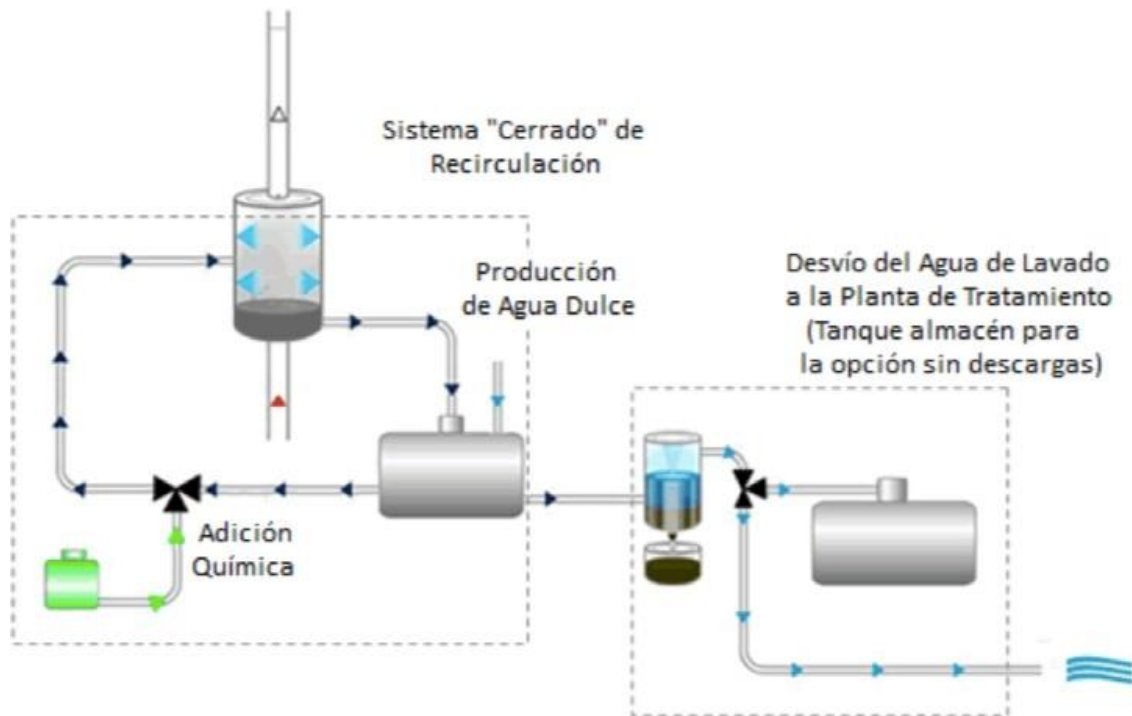
En el caso anterior vimos que el circuito es húmedo puesto que usa agua salada para la limpieza, y en este sistema que ahora se está tratando se usa agua dulce, por eso sigue siendo húmedo pero cerrado.

Este circuito utiliza una solución alcalina la cual es producida mezclando agua dulce con sosa cáustica (NaOH). Esta solución alcalina es la que neutraliza los componentes de SOx de los gases. [8,16]

Las ecuaciones que ocurren en este caso serían las siguientes:



Esta agua al terminar el proceso de lavado de los gases de escape, se le hace recircular, hasta unos tanques de almacenamiento, donde se le añade nueva agua dulce y más químico alquino siendo en este caso sosa cáustica, esto se hace para mantener la misma cantidad de agua, en caso de que hubiera habido perdidas de caudal, en caso de que esto no fuera así el excedente de agua tras volver a ser procesada se achicaría al mar siendo este remanente alrededor del 1% de todo el volumen y los sedimentos pasarían a almacenarse a los llamados tanques de lodos.[8,16]



**Imagen 6.** <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22872/>

PFC ETN M.SIN Definitivo.pdf

### **Scrubber húmedo de circuito híbrido**

Este sistema híbrido es un sistema flexible que puede operar tanto como sistema cerrado como abierto y el mismo utiliza agua del mar para el tratamiento y la limpieza de los óxidos de azufre.

La gran ventaja de este sistema es que nos aporta la posibilidad de trabajar en circuito cerrado usando el aditivo alcalino o las restricciones la zona, por ejemplo, puertos lo exijan y podamos trabajar en navegación con el sistema abierto, la mayor desventaja que puede tener este tipo de montaje es el gran coste inicial. [14,16].

## HYBRID SYSTEM

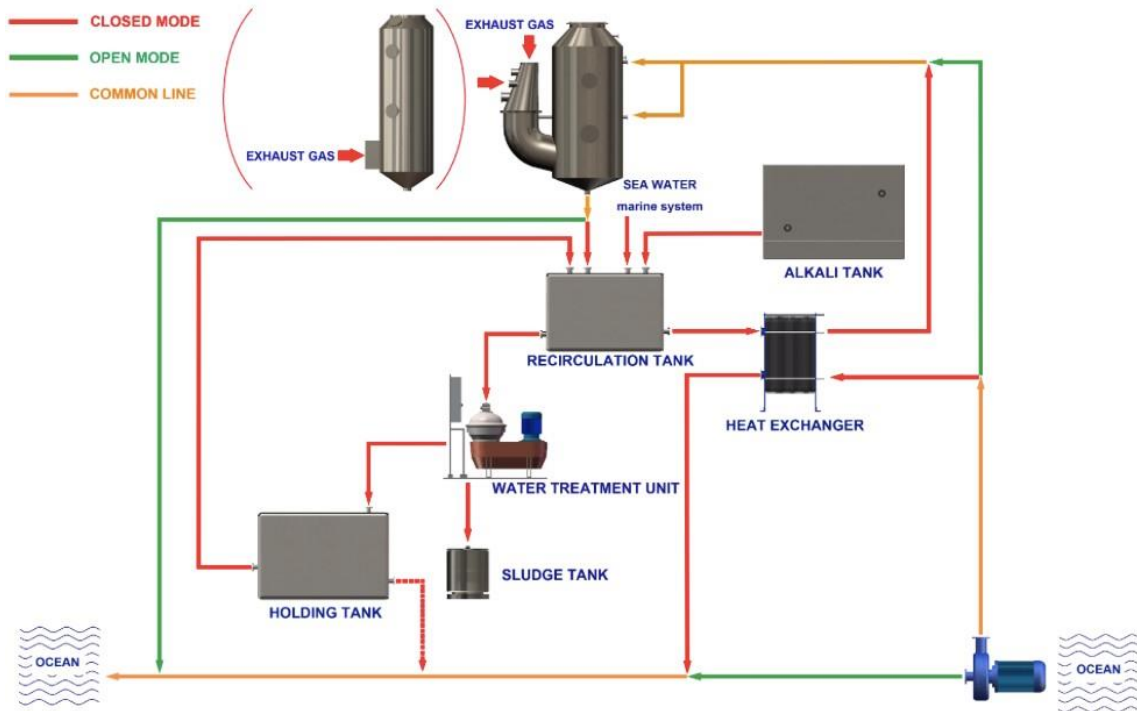


Imagen 7. <https://www.egcsa.com>

### 4.2 ULSD (diésel ultra bajo de azufre)

El ULSD, se podría decir que es un derivado del gasoil o diésel común, por lo que el mismo no deja de ser un hidrocarburo más, con la diferencia significativa que su índice de azufre en su composición es muchísimo menor que el que estamos acostumbrados a usar.

La densidad de este es un tanto menor que la del agua y esta se haya aproximadamente en un valor de (0,832 g/cm<sup>3</sup>), el poder calorífico del mismo varia un tanto en función a la composición exacta, pero está alrededor de los (43100 KJ/KG).

Para diferenciar diésel común del bajo en azufre al ultra bajo en azufre hay que atender a la cantidad de partes por millón de azufre que tengan cada uno, las cantidades serían las siguientes, hasta 350 ppm de azufre sería diésel común, hasta 50 ppm se hablaría de diésel bajo en azufre y hasta 15 ppm hablamos de diésel ultra bajo en azufre, existiendo la posibilidad del diésel sin azufre el cual tendría que tener unas 10 ppm de azufre en su composición.

Con el uso de este combustible fósil, se podría decir que remodelado también cumpliríamos los requisitos necesarios para navegar en una zona SECA y mucho más para la normativa que entrará en vigor en enero del siguiente año. [17,18]



Imagen 8. <https://powerservice.com/learning/ultra-low-sulfur-diesel-ulsd-fuel/>.

### 4.3 GNL

Por último, en este apartado del proyecto se hablará del combustible protagonista, el gas natural licuado, del cual en apartados posteriores se expondrá en más profundidad.

El gas natural licuado como su nombre indica es un gas el cual se le somete a una temperatura muy baja, a las cuales se les llama criogénicas, pudiendo así transformar el gas en estado líquido a presión atmosférica. El gas está a una temperatura de unos  $-162^{\circ}$  Celsius y se reduce su volumen unas 600 veces a sí estuviera en su estado natural, el gaseoso.[18]

Los buques que los transportan por mar están dentro de la familia de los buques tanques más en concreto de los gaseros, siendo estos los llamados metaneros, es muy visible a simple vista diferenciarlos puesto que en su costado siempre llevan escrito GNL en castellano o LNG en inglés. Los tanques de estos buques para poder transportar el gas están adaptados para ello, por lo general son de metales como el acero inoxidable, invar, aluminio y níquel al 9% la cual es una aleación que soporta muy bien las bajas temperaturas. Además de esto la forma de sus tanques son un tanto extrañas ya que suelen ser unas grandes esferas, se hacen de esta forma por dos grandes motivos, uno de ellos es porque la esfera es la construcción que mayor volumen abarca en su interior y la otra es que al ser esférica no crea aristas, que son puntos de mayor debilidad donde se podría producir una rotura, puesto que en los tanques además de temperaturas criogénicas están bajo una presión considerable. Esto es en el caso de los buques metaneros de tipo Moss como mostramos en la siguiente imagen, también existe otro tipo de buques gaseros de GNL que serían de sistema de membranas primarias separadas del casco por dos capas de aislamiento de soporte de carga y de una barrera secundaria la cual está diseñada para contener cualquier posible derrame el espacio vacío entre ambas barreras se inertiza con nitrógeno y

además se instala en dichas zonas sistema de detección de gases la forma de estos tanques deja de ser redondas siendo normalmente hexagonales.[18,19,20]

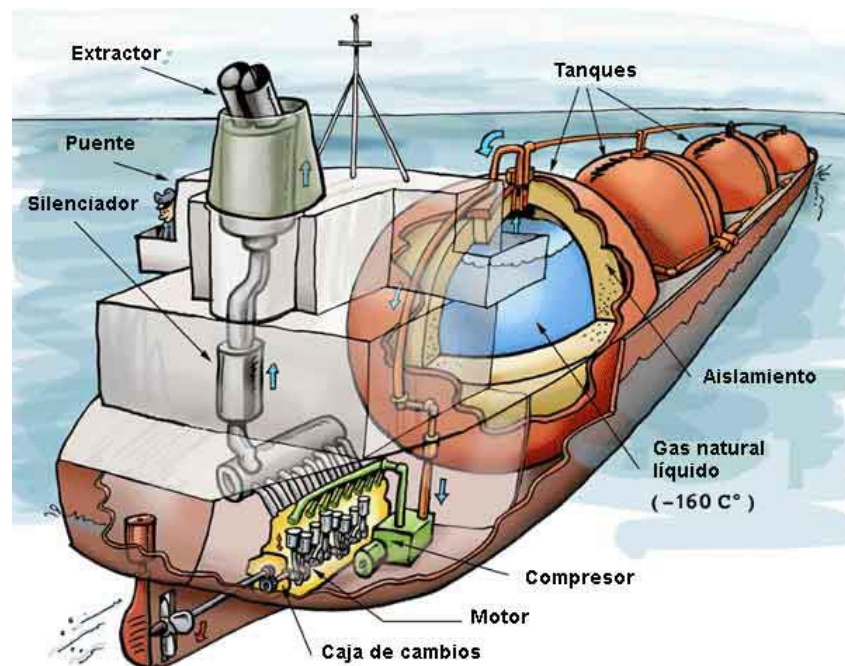


Imagen 9. [https://es.wikipedia.org/wiki/Metanero#/media/File:LNGtanker\\_es.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Metanero#/media/File:LNGtanker_es.jpg)

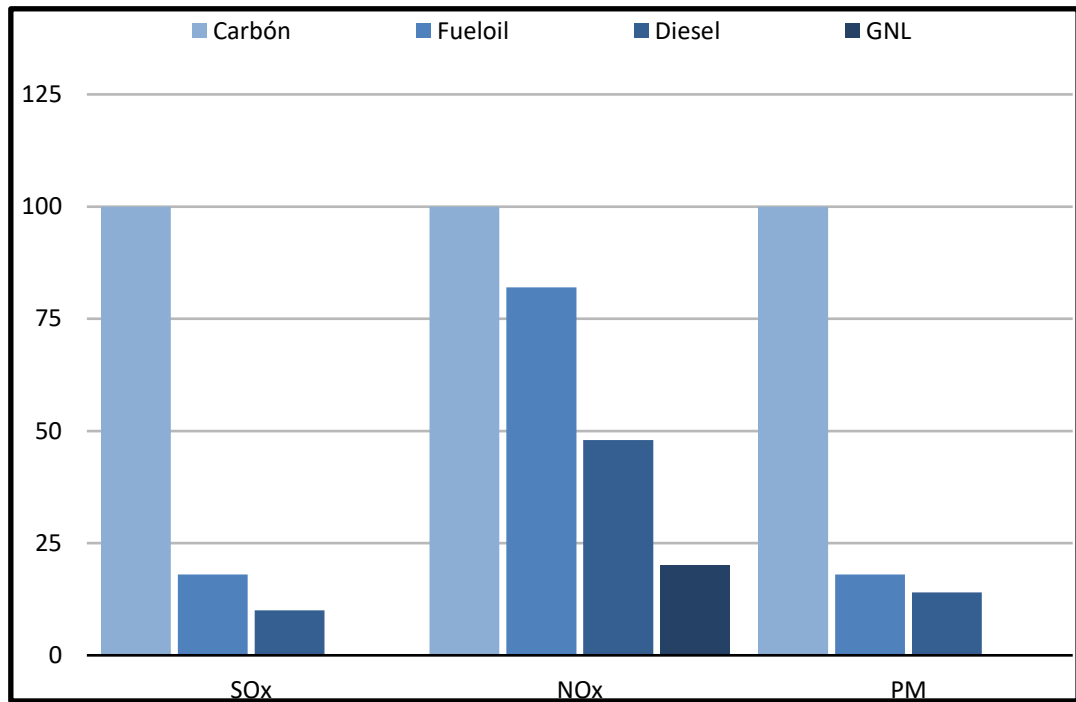
Los requisitos de un buque gasero de gas natural se pueden resumir de la siguiente manera, muy altos estándares de seguridad, alta fiabilidad y disponibilidad, larga vida útil, alta velocidad de servicio y corta estancia en puerto. Estos buques aprovechan un remanente que van perdiendo los tanques mediante las válvulas de sobrepresión llamado “boil-off” el cual lo aprovechan de combustible propio para sus turbinas de gas, ya que normalmente estos buques montan como máquina principal turbinas.[18]

Como bien se sabe el uso del GNL como combustible marino está acaparando la mayoría de la atención, por dos motivos claros básicamente, la reducción de emisiones tan grande que tiene, tanto en óxidos de azufre (SOx) como en óxidos de nitrógeno (NOx), siendo estos los dos contaminantes que mayormente se verán afectados por la nueva normativa.[18]

Puesto que no hay mejor manera de ver las cosas que con números y ejemplos, expondremos los datos de la reducción de emisiones, al usar el gas natural como combustible el cual a pesar de seguir siendo un combustible fósil se habla de ser el más respetuoso.

En el caso de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se ven reducidas respecto con los fueloil convencionales en un 25%, en un 80% en el caso de los óxidos de nitrógeno (NOx) y alcanza alrededor de un 95% de reducción en el caso de los óxidos de azufre (SOx) y en las

partículas (PM). [18,22]



Gráfica 4. Elaboración propia

## 5. El GNL como combustible marino

### 5.1 Introducción al GNL

El gas natural es un combustible fósil, que junto con el petróleo y el carbón forman el grupo de combustibles fósiles llamado “hidrocarburos”, estos se llaman así porque su estructura molecular está compuesta por átomos de hidrogeno y carbono.

El gas natural principalmente está compuesto por metano y algunos alcanos en menor proporción, dicho gas se encuentra en yacimientos subterráneos. Este se forma cuando varias capas de plantas en descomposición y materia animal se exponen a calor intenso y presión bajo la superficie de la Tierra durante millones de años.[18]

En ocasiones el gas llega a la superficie de la tierra de forma natural, a veces solo (gas no-asociado) y otras veces con petróleo (gas asociado) y también se produce de forma constante en vertederos de basuras debido a la descomposición de la misma.[18]

Las siglas GNL corresponden a gas natural licuado, el propio gas natural a presión atmosférica se encuentra en estado gaseoso, lo que hace que su transporte no sea tan rentable que, si estuviera en estado líquido, es ahí donde entra el proceso de licuefacción del gas.

El gas es sometido a muy bajas temperaturas, criogénicas para que este mismo se licúe dicha temperatura ronda unos  $-162^{\circ}\text{C}$  haciendo este proceso se ha conseguido que el gas reduzca su volumen unas 600 veces. [18, 19]

A su vez existe el GNC, sería gas natural comprimido el cual a temperatura y presión atmosférica se encuentra en estado gaseoso, por lo que el GNL resulta más rentable en cuanto autonomía se refiere.[19]

Las etapas de mayor importancia en la cadena de valor del gas natural licuado serían las siguientes:

**-Exploración:** en la mayoría de las ocasiones el gas natural es encontrado de forma fortuita al buscar petróleo, los principales países productores de gas natural son Argelia, Qatar e indonesia, en segundo plano como exportadores estarían Australia, Trinidad y Tobago y Nigeria.

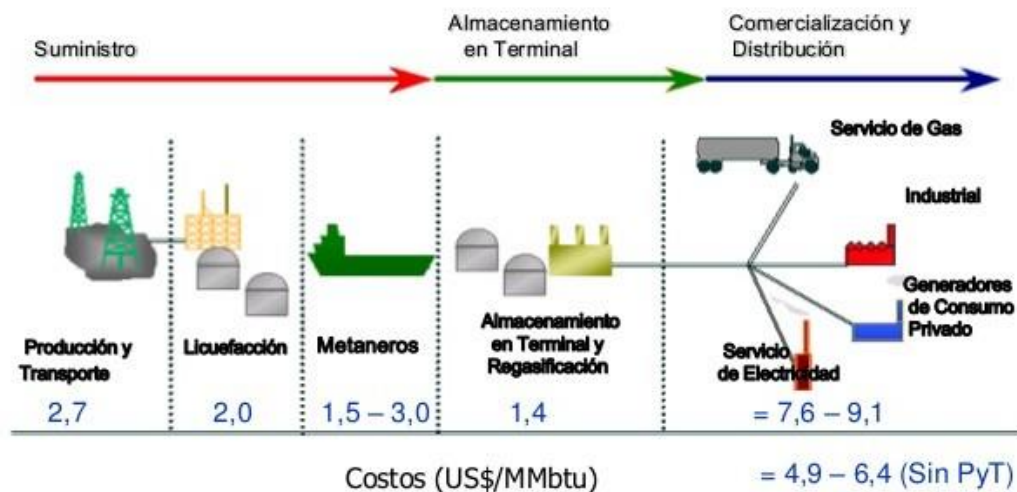
**-Licuefacción:** la conversión del gas en estado líquido para que sea más fácil y factible su transporte, en nuestro caso en los buques, aunque se facilita el transporte en todos los medios.

**-Transporte del GNL:** en el caso del transporte marítimo se hace a cabo en buques gaseros en este caso al ser gas natural se les apoda “metaneros”.



-**Almacenamiento y Regasificación:** para convertir dicho gas de nuevo en estado gaseoso y su uso se realice en otros medios de transporte normalmente en automación como GNC. [18,19,20]

## CADENA DE VALOR DE GNL



-Imagen 10. <https://es.slideshare.net/jeanettegonzalez71868/gnl-cadena-de-valor>  
20/02/19, 12:30

### 5.2 Historia y desarrollo del GNL

En el año 2000 A.c se ene constancia de que aparecieron los primeros yacimientos de gas natural, la causa de que como encontraron se cree que fue un rayo que incidió sobre los mismo y se prendió fuego. Los persas de las épocas los llamaban los fuegos eternos y creían que lo causaban los dioses.

Años más tarde en china en el año 125 A.c se realizó la primera perforación a un yacimiento a 150 metros de profundidad inutilizando como perforadora tubos de bambú huecos.

Se encuentran las primeras menciones al gas natural en Inglaterra, pero se desconocía cómo transportarlo desde sus yacimientos, motivo por el que se mantuvo en desuso del desarrollo industrial por el petróleo, el carbón y sus derivados. Los primeros usos del gas canalizado datan de finales del siglo XVIII o comienzos del XIX y se refieren a la utilización de gas manufacturado para iluminación. De ahí que la primera denominación que se utilizó para definirlo era “Gas del Alumbrado”. [24]

El gas natural en América al igual que en Inglaterra se comenzó a extraerse y canalizarse hasta las

ciudades a principios del siglo XIX, y al igual que el caso anterior como combustible para la iluminación.[18]

Cuando la electricidad ya existía y se usaba para la iluminación, el gas natural quedó en un segundo plano, usándose únicamente en la calefacción y en la industria de los metales.

A partir de la segunda guerra mundial cuando mejoró la tecnología y especialmente la soldadura. La extracción del gas se vio en gran auge al mejorar también el transporte hacia los consumidores. [18,19]

La licuefacción del gas natural se remonta también al siglo XIX cuando el químico y físico procedente de Inglaterra Michael Faraday experimentó el licuado de diferentes tipos de gases incluyendo el tratado. La primera máquina de refrigeración a compresión fue desarrollada por el ingeniero alemán Karl Von y se encontraba ubicada en Munich.[18]

En enero de 1959, el primer metanero del mundo llamado “The Methane Pioneer”, dio su primer viaje como tal. Un buque de carga de la Segunda Guerra Mundial reconstruido, el cual cargaba 7.000 barriles de capacidad en cinco tanques prismáticos de aluminio de con soportes de madera y aislamiento de madera, transportó una carga de GNL desde Lake Charles en Louisiana hasta Canvey Island en el Reino Unido. Esto demostró que grandes cantidades de gas natural licuado podían ser transportadas de manera segura a través de los mares.[23]

El desarrollo del GNL como combustible marino empezó en los años 80 del siglo XX, pero la primera aplicación práctica en un barco no fue hasta el año 2000, con el Ferry MF Glutra, con capacidad para transportar 300 pasajeros y 100 coches. [5]

En la actualidad el GNL está despuntando como un combustible respetuoso, tanto en el sector marítimo, como en los demás, puesto que cada día hay más vehículos que lo utilizan.

En España hoy en día las redes de transporte y distribución de gas natural alcanzan los 35.000 kilómetros y se consumen en el mundo más de 2.350 millones de metros cúbicos al año. A día de hoy se ha estudiado que existen unas reservas probadas de gas natural que superan los 160.000 millones de metros cúbicos.[24]

### 5.3 Composición y características del GNL

El GNL es una mezcla de hidrocarburos la cual se licúa, al formarse en estado líquido, queda incolora e inodora. Dicho gas para que se mantenga en líquido hay que almacenarlo y transportarlo a una temperatura muy baja cerca de su temperatura de ebullición y a presión atmosférica aproximadamente -162° C. [18]

El gas natural no es tóxico, pero si es asfixiante, en caso de producirse un derrame es un

peligro personal y para los materiales. Su principal componente es el metano y en menor medida otros hidrocarburos pesados como el etano, propano, butano y pentano realmente su composición exacta varía mucho en función de su origen incluso en ocasiones tiene pequeñas cantidades de nitrógeno.[19]

Durante su transporte la propia composición del mismo cambia, ya que cuando se produce el fenómeno de boil-Off los componentes que tengan un punto de ebullición menor se evaporaran antes que los demás por eso la composición del gas del puerto de descarga al puerto de carga nunca será exactamente la misma. Normalmente en la descarga será algo menos en nitrógeno y etano y algo mayor en los demás componentes. [18,20]

Al introducirlo en un tanque de carga que este a temperatura ambiente gasifica de forma muy rápida lo que crea una sobrepresión y una atmósfera explosiva.

Sí dicho entra en contacto con aceros al carbono lo suele convertir en quebradizo y si nos toca la piel crearía quemaduras por congelación muy severas.

El rango de inflamabilidad del metano en el aire, tomando como referencia que el aire se encuentre con un 21% en volumen de oxígeno, suele estar entre un 5.3 y un 14% en volumen.[18]

Para reducir la posibilidad de una atmósfera explosiva lo que se realiza es inertizar la línea con nitrógeno, hasta la que cantidad de oxígeno se encuentre alrededor de un 2% en volumen, aunque teóricamente es imposible que se produzca una explosión mientras el nivel de oxígeno sea menor del 13% en volumen. [18,19]

El gas natural licuado tiene una temperatura crítica de  $-82^{\circ}\text{C}$ , debido a su naturaleza y rápida evaporación no puede existir a temperatura ambiente en estado líquido, independientemente de la presión que apliquemos. La temperatura de autoignición es de  $595^{\circ}\text{C}$  y su punto flash-point o punto de inflamación de  $-175^{\circ}\text{C}$ .

Siempre que se hable de gas natural licuado hay un término en cuestión de seguridad que tiene que ser nombrado y es el fenómeno de RPT, este se define como el proceso que tiene lugar cuando hay un cambio rápido del estado líquido al gaseoso. El elevado incremento de volumen produce una sobrepresión que puede originar una onda expansiva. [18,20]

A continuación, se hablará de dos factores externos a los cuales el GNL es muy sensible, el primero de ello es la humedad, ya que el gas es extremadamente sensible a la misma al igual que al agua, ya que poniéndose en contacto se congelará fácilmente y formara hidratos y hielo que deterioran las válvulas y las propias tuberías. El siguiente parámetro externo es la electricidad estática puesto que en caso de tener electricidad estática y se produzca algún tipo de fuga del gas tendríamos una atmósfera perfecta con 21% de oxígeno, un comburente que es el propio gas y la

chispa, lo que podría llegar a ser una combinación fatal, para ello siempre en los buques se debe mantener aislados por ejemplos las juntas, tornillería etc., para que entre los dos objetos en contacto por ejemplo las dos caras de una brida no creen esa diferencia de potencial llamada electricidad estática. Un gran material aislador en este caso sería el teflón. [18,19]

Como se sabe los líquidos en ese propio estado no arden, lo que arde en ese caso son los vapores que desprende el líquido. En el caso del GNL para que sus gases ardan se tienen que mezclar en una proporción entre un 5% y un 15%.

Antes se comentó que el gas natural tiene una temperatura de autoignición relativamente alto de unos 540°C. La ignición de los vapores del GNL es bastante limpia suele estar compuesta únicamente de CO<sub>2</sub> y vapor de agua. Estos vapores no producen hollín, como suele ser normal en los hidrocarburos, siendo esto un problema añadido ya que en ocasiones es difícil de localizar. Esto se debe ya que en el proceso de combustión las partículas de carbono se combinan con oxígeno, liberando luz y calor y formando hollín. En el caso de nuestro gas al no formar hollín el poder de absorción del calor que el hollín y el humo se pierde al no crearse y la radiación térmica del GNL es muy grande.[18]

Terminando hablaremos de un fenómeno fisicoquímico, llamado BLEVE, este tipo de explosión no suele suceder por sí misma, sino que es causada por un incendio previo o algún agente externo que le da la energía térmica necesaria para que el líquido que se encuentre dentro del depósito llegue a su temperatura de ebullición, haciendo así que explote.

Esto en un depósito de GNL podría pasar, por ello en caso de incendio siempre se debe mantener el enfriamiento de los tanques con una brigada dándole agua de forma continuada.[24]

#### 5.4 Mantenimiento de un sistema de GNL

En este apartado breve del proyecto se tratará un poco de los mantenimientos habituales que ha realizar a un sistema de gas natural licuado.

Hay que comenzar siempre diciendo que los periodos de mantenimientos siempre pueden variar en función a al fabricante por ello siempre previo a uso mantenimiento hay que consultar los manuales.

El mantenimiento que se recomienda es el siguiente:

**Durante cada carga de gas:** inspección visual de todas las tuberías previo al comienzo y durante el proceso siendo aconsejable llevar un medidor de gases y pasarlo cerca de todas las juntas, en busca de posibles fugas causados por aumentos de presión inesperados

**Mensualmente:** al igual que en cada proceso chequear las tuberías, pero en este caso además

los tanques y las válvulas. Localizar deformidades en el sistema, ya sean perdidas de tornillos o tuercas, como abolladuras o golpes en las líneas.

**Cuatrimestralmente:** chequear el buen funcionamiento de todos los sensores, reapriete den tornillos y tuercas en caso de ser necesario aplicando siempre el par de fuerza indicado por el fabricante. Revisar los filtros en busca de partículas, restos de juntas o cualquier indicativo de desgaste del sistema.

**Anualmente:** Serán revisadas las válvulas de seguridad, esto se realiza por parte del fabricante. [1]

## 6. Comparativa del GNL con otros combustibles

Llegados a este punto, tras toda la información anteriormente vista, ha quedado claro que las opciones elegidas en este proyecto para cumplir la nueva normativa todas ellas son viables. Teniendo claro que cada una tendrá sus pros y sus contras, quedará en mano de los armadores sopesar que motivo para ellos tiene más peso.

Estamos hablando del montaje de scrubbers en los barcos, el uso de ULSD como combustible o el uso de GNL. Habiendo visto anteriormente que todos ellos son eficientes y respetuosos con el medio ambiente, de distintas formas, pero cumpliendo con su cometido, aunque como todo siempre hay algún favorito sobre los demás.

En los siguientes párrafos se darán una serie de ventajas y desventajas, de las tres opciones simplificando todo y así pudiendo verlo de una forma más gráfica y concisa.

### 6.1 Ventajas

#### 6.1.1 Ventajas de los scrubbers

1. Alta eficiencia en la eliminación de partículas sólidas.
2. Poco mantenimiento.
3. Mayor tolerancia ante distintos rangos de humedad y temperatura si los comparamos con otros sistemas anti-polución.
4. Buen Tratamiento de gases corrosivos, el SOx forma ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en combinación con el agua a altas temperaturas.

#### 6.1.2 Ventajas del ULSD

1. Reduce las emisiones de SOx en un valor al 80%.
2. Fácil reconversión en caso de necesitarse.
3. Reduce los problemas de corrosión en los equipos.
4. Ofrece una excelente calidad de ignición.

#### 6.1.3 Ventajas del GNL

1. Reduce las emisiones de SOx alrededor del 95%.
2. Reduce un 80-90% las emisiones de NOx.
3. Prácticamente no genera emisiones de partículas.
4. Se reduce un 25% la emisión de CO<sub>2</sub>.
5. Maquinaria silenciosa y limpia.

6. Mayor eficiencia energética en comparativa con combustibles marinos tradicionales.

7. Menor aparición de depósitos corrosivos.

## 6.2 Desventajas

### 6.2.1 Desventajas del uso de scrubbers.

1. Concentración de sustancias corrosivas en el interior del sistema.
2. Generación de residuo líquido que contiene partículas o compuestos tóxicos (ceniza, ácidos...).
3. Alto coste inicial.
4. La imposibilidad de colocarlos en buques que ya están en funcionamiento (falta de espacio).
5. Mucha pérdida de espacio en barcos de nueva construcción.

### 6.2.2 Desventajas del ULSD

1. Precio elevado debido a su tratamiento.
2. No existen gran disponibilidad.
3. Maquinaria ruidosa al igual que con fueloil.

### 6.2.3 Desventajas del GNL

1. Medidas y medios de seguridad específicos por el gas.
2. Formación específica a toda la tripulación.
3. Mayor inversión inicial y mantenimiento algo más caro.
4. Muy peligroso en caso de escape.

## 7. Medios y medidas de seguridad por el uso del GNL

En la industria del gas natural la prioridad debido a su naturaleza siempre ha sido la seguridad y gracias a eso el GNL tiene una historia muy seguridad, con pocos casos de problemática. Principalmente fundamentando la seguridad en una planificación, tomando medidas previas.

Hoy en día se han realizado más de 135.000 viajes de buques gestos que transportaban gas natural sin accidentes ni problemas relativos a la seguridad tanto en navegación como en carga y descarga en puertos.

Siguiendo con la materia de seguridad, existe un modelo de seguridad muy importante llamado hoja de seguridad, en él se muestra datos relativos a posibles riesgos y peligros para la salud y el medio ambientes causados por el gas, además de las propiedades del mismo gas.

Toda hoja de seguridad que se precie contiene la siguiente información:

1. Identificación de la sustancia y compañía suministradora.
2. Identificación de problemas.
3. Composición.
4. Medidas a tomar de primeros auxilios.
5. Medidas a tomar en caso de incendio.
6. Medidas a tomar en caso de fuga.
7. Manipulación y almacenaje.
8. Protección personal.
9. Niveles de exposición máximos.
10. Propiedades fisicoquímicas.
11. Estabilidad y reactivada.
12. Información toxicología.
13. Información ecológica.
14. Información relativa al transporte, (número ONU 1927).
15. Otra información adicional optativa.

Este es el formato y la información obligatoria que debe contener, aunque puede cambiar el orden de este.[1]

Otro de los métodos más usados es la creación de una check List de esta manera es muy fácil aumentar la seguridad. Esta herramienta es muy común a bordo de todos los buques, el problema que pueden acarrea estas listas es que, si las hacemos excesivamente largas, tendemos a dejarlas de lado o a hacerlas incompletas.

A continuación, se mostrará una check list previo a una situación de bunker de GNL:



1. ¿Se ha probado la comunicación u se ha establecido el canal y la frecuencia entre el buque y el suministrador?
2. ¿Se ha establecido una forma de comunicación alternativa en el caso de que falle la principal?
3. ¿Se ha acordado una señal para una parada de emergencia?
4. ¿Se han probado los medios de parada de emergencia?
5. ¿Se ha establecido una zona libre de cualquier fuente de ignición?
6. ¿Están dispuestos lo medios de lucha contra incendios?
7. ¿Está puesto el sistema de puesta a tierra?
8. ¿Cuál es la presión máxima permitida?
9. ¿Cuál es el máximo caudal permitido?
10. ¿Qué cantidad de GNL va a ser transferida?
11. ¿Cuál es la temperatura del GNL?
12. ¿Cuál es volumen del tanque donde estamos realizando la carga?
13. ¿Existe algún sistema de detección de incendios?
14. ¿Funcionan las combas correctamente?
15. ¿Están los portillos o dampers, todas las medidas de ventilación cerradas?
16. ¿Existe algún método de contención, (bandeja) o disipación por agua (cortina de agua)?
17. ¿Se están usando los EPIs correctamente?

Tras usar una check list como la del ejemplo, los pasos previos de seguridad de cara a una carga de GNL estarían totalmente completos.[1]

Con todas las herramientas que anteriormente han sido citadas y un algunas más que expondremos ahora de forma más concisa, una carga de GNL es totalmente segura.

## 7.1 Medios de seguridad

A continuación, se expondrán unos cuantos medios de seguridad los cuales han sido extraídos de un caso práctico a bordo de un buque.

1. Extintores fijos de polvo químico seco para ambos bunkers ubicados en las jaulas de las dos bandas en la cubierta tres.
2. Mangueras C.I de 45 mm estibadas en el pañol contraincendios de la cubierta tres popa babor.
3. Bifurcaciones “Y” de 70mm a dos de 45 mm en el pañol contraincendios

de la cubierta tres popa babor.

4. Lanza de cortinas de 45 mm en el pañol contraincendios de la cubierta tres popa babor.
5. Cortinas fijas de agua en ambos bunkers.
6. Botas atex.
7. Linternas atex.
8. Cámara térmica.
9. Verdugo o pasamontañas ignífugo en operaciones de búnker para el operador.
10. Máscara de protección.
11. Delantal criogénico.
12. Guantes criogénicos.
13. Ropa atex en operaciones.
14. Traje criogénico integral.
15. Sistema de sprinklers específico para el tanque de GNL.
16. Central detectora de gases (consilium) con detección en ocho puntos.
17. VHF portátiles y detector de gases portátil

## 7.2 Medidas de seguridad

A continuación, se expondrán unas cuantas medidas de seguridad los cuales han sido extraídos de un caso práctico a bordo de un buque.

1. Familiarización GNL a todos los tripulantes.
2. Durante el búnker, al tomar la simultaneidad de funciones (bunker y carga del buque juntos) solo se podrá cargar por la banda contraria a la que se realice el consumo.
3. Previa llegada o inicio del búnker poner manguera C.I en stand-by en la cubierta 3.
4. Mangueras C.I de 45mm con lanzas de cortina en las cubiertas 7.
5. Cerrar los dampers de ventiladores de garaje del costado del búnker.
6. Uso de detectores portátiles de gas para todo el personal involucrado en las operaciones.
7. Usar VHF portátiles atex en las operaciones.
8. Dos extintores portátiles en la zona de la cuba por parte de la terminal (durante operación de búnker)
9. Ejercicios mensuales de C.I específicos para GNL.
10. Certificado de IGF avanzado para capitán y oficiales de máquinas.

11. Certificado IGF básico para subalternos con funciones en cuadro orgánico en caso de emergencia con GNL.

### 7.3 Medios y medidas de seguridad en el Ro-Pax “Abel Matutes” ejemplos

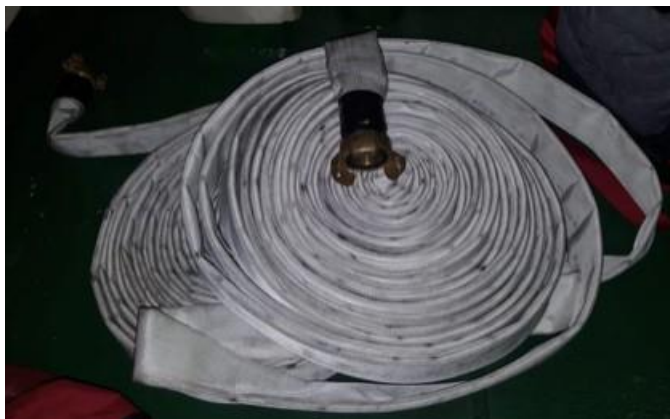


Imagen 11. Elaboración propia

En el caso concreto de este buque los extintores para las zonas de bunker son dos fijos que están ubicados en dos pañoles cercanos a las puertas de acceso a la propia sale de bunker.

En este caso debido a la naturaleza del gas los extintores son de polvo químico seco, ya que el gas está a una temperatura criogénica de unos  $-162^{\circ}\text{C}$  por lo que los de polvo químico húmedo y de agua no serían tan efectivo.

Imagen 12. Elaboración propia.



En este buque antes de instalar el motor auxiliar de GNL solo tenía mangueras CI de 70mm una los medios que tuvieron que implantar nuevo son estas mangueras de 45mm para poder usar las lanzas de 45mm en caso de tener que combatir un fuego.



Imagen 13. Elaboración propia.

Como antes se comentó abordo hay mangueras de 70mm y de 45mm con esta llave podemos usar de una manguera de 70mm sacar dos de 45mm usarlas juntas o solo una de ellas, esta llave le llamen bifurcación en “Y”.



Imagen 14. Elaboración propia.

Lanza de cortina de 45mm este tipo de lanza no es muy común, este buque antes de instalar el gas no era necesario tener este tipo de lanza, ahora está obligado a llevarlas a bordo.



Imagen 15. Elaboración propia.

Estas botas son atex, esto quiere decir que está libre de metales y no crean electricidad estática, hay que calzarlas siempre que se esté en la zona de los tanques del gas o del motor de gas, además también siempre que estemos en una zona cercana o en el bunker mientras estemos cargando gas.



Imagen 16. Elaboración propia.

Estas linternas al igual que las botas son atex y solo las usamos en las zonas

necesarias o en el proceso de carga del gas.



Imagen 17. Elaboración propia.

Estos delante criogénicos solo los usan los dos operarios que entran al bunker durante la carga del gas, junto con la máscara, los operarios normalmente son el caldereta y el engrasador de guardia.



Imagen 18. Elaboración propia.

Estos guantes acompañados del delantal anterior la máscara y un verdugo ignífugo dentro de la máscara es lo que viste el operario.



Imagen 19. Elaboración propia.

Este traje criogénico integral solo se usa en caso de emergencia si se produjera una fuga o algo similar se usa con el equipo de respiración autónomo puesto por dentro del mismo.



Imagen 20. Elaboración propia.

Esta central es la encargada de hacernos llegar todas las alarmas posibles que pasen referido al gas, como puede ser baja presión, nivel bajo de gas o demasiado oxígeno en la línea, todas las alarmas son referidas a la seguridad y solo es un aparato receptor donde llegan dichas alarmas en él no se puede operar.



Imagen 21. Elaboración propia.



Esta pantalla que vemos es el orden con el que se puede manejar todo el motor de gas y lo anejo a él, por ejemplo, válvulas, el propio arranque, inertizar la línea etc. Todo lo posible para poder operar con él, esta sería la pantalla del puente habiendo otra en la sala de control.



Imagen 22. Elaboración propia.

En esta imagen es el VHF portátil que se usa estando en operaciones ya que es atex y el otro aparato es un detector de gases el cual lleva puesto el operario en el delantal criogénico, ya que es el quien está en contacto con el propio bunker.



Imagen 23. Elaboración propia.

En la imagen anterior se ve un test, este mismo lo han de realizar todos lo tripulante siempre que embarcan por primera vez, depuse de haberlo realizado tiene una validez de un año hasta volver a renovarlo, el encargado a bordo de tener las familiarizaciones del gas natural de los tripulantes a bordo es el tercer oficial de cubierta.

## 8. Conclusiones

Una de las conclusiones más claras que se pueden sacar tras la lectura del proyecto es que la normativa que entrará en vigor en un año es una de las soluciones que necesita el medioambiente, estando tan expuesto a toda la contaminación.

El gas natural a pesar de ser un tanto más caro su inversión inicial es el más rentable a largo plazo en comparación con los demás.

La economía mueve el mundo, pero más en concreto el sector marítimo y náutico, puesto que las decisiones de los armadores se acaban tomando siempre en función a lo monetario, por mucho que se tenga en cuenta la seguridad.

La seguridad queda totalmente clave que ha sido el factor clave para que a día de hoy haya habido tan pocos incidentes con el GNL en la historia, ya no solo con su uso sino también su transporte.

## 9. Conclusions

One of the clearest conclusions that can be drawn after reading the project is that the regulations that will take effect in a year is one of the solutions that the environment needs, being so exposed to all the contamination.

Natural gas, despite being somewhat more expensive, your initial investment is the most profitable to long term compared to the others.

The economy moves the world, but more specifically the maritime and nautical sector, since the decisions of shipowners are always taken based on the monetary, no matter how much security is taken into account.

The security is totally key that has been the key factor so that today there have been so few incidents with LNG in history, and not only with its use but also its transportation.

## 10. Bibliografía

1. OMI, Organización marítima internacional, zonas especiales en virtud del convenio MARPOL. <http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/SpecialAreasUnderMARPOL/Paginas/Default.aspx> 26/02/19, 10:20.
2. OMI, Organización marítima internacional. Prevención de la contaminación atmosférica ocasionada por los buques. <http://www.imo.org/es/ourwork/environment/pollutionprevention/airpollution/paginas/air-pollution.aspx> 01/03/19 11:10
3. Fernando Cátedra Válles, bunker presente, pasado y futuro. <https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/144309/retrieve> 02/03/19, 09:30
4. Roberto García Soutullo, ingeniero marino, anexo VI Reglas para Prevenir la Contaminación Atmosférica Ocasionada por los Buques. <https://ingenieromarino.com/el-convenio-marpol-7378/> 01/03/19, 12:30.
5. Raúl Miguel, Bruno Hervas, Javier Paredes, Juan A Oliveira. Isla bella el primero portacontenedores propulsado por GNL. <https://vadebarcos.net/2016/02/27/isla-bella-primer-portacontenedores-propulsado-gnl-Ing-tote/> 01/03/19, 12:40
6. Convenio MARPOL Edición Refundida de 2011.
7. OMI, Organización Marítima internacional. Óxidos de nitrógeno (NOx) regla 13. [http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-\(NOx\)---Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-(NOx)---Regulation-13.aspx) 03/03/19, 10:10.
8. Fernando Cátedra Válles, bunker presente, pasado y futuro. <https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/144309/retrieve> 02/03/19, 09:30
9. Ing Marítima, zonas ECA, <http://ingmaritima.blogspot.com/2017/06/zonas-eca.html>, 01/03/19, 12:00.
10. OMI, organización marítima internacional. Óxidos de azufre (SOx), regla 14 [http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Sulphur-oxides-\(SOx\)---Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Sulphur-oxides-(SOx)---Regulation-14.aspx) 03/03/19, 10:30
11. Primeros scrubbers chinos aprobados para zona ECA. <https://sectormaritimo.es/primeros-scrubbers-chinos-aprobados-zonas-eca>. 04/03/19, 16:00.
12. Shanghai bluesoul enviromental technology. <http://www.shanghaibluesoul.com> 04/03/19, 16:30.
13. Condorchem envitech, scrubbers y lavadores de gases. <https://condorchem.com/es/lavadores-de-gases-scrubbers/>. 04/03/19, 16:40.

14. Equipos y laboratorios de Colombia, ¿Qué es un lavador o scrubber?. [https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos\\_mo.php?it=3140](https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=3140). 04/03/19, 17:00
15. <https://www.egcsa.com>. 06/03/19, 20:00
16. Instalación y análisis de un sistema de limpieza de gases de escape para un buque RO-RO, Mihaela sin, septiembre 2014. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22872/PFC\\_ETN\\_M.SIN\\_Definitivo.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22872/PFC_ETN_M.SIN_Definitivo.pdf) 06/03/19, 21:00.
17. Hablemos un poco de todo, gasóleo sin azufre. <http://hablemosunpocodetodo.blogspot.com/2010/04/gasoleo-sin-azufre.html>. 06/03/19, 21:30.
18. Well to wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, R. Edwards, J-F. Larivé, V. Mahieu, P. Rouveirolles. [http://web.archive.org/web/20110720162258/http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/TTW\\_Report\\_010307.pdf](http://web.archive.org/web/20110720162258/http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/TTW_Report_010307.pdf) 06/03/19, 21:45.
19. Centro de seguridad integral Jovellanos, gestión de emergencias para tripulantes de buques que utilicen GNL como combustible.
20. Jorge Marcelo Arias, gas natural licuado tecnología y mercado,2016, [http://www.iae.org.ar/archivos/educ\\_gnl.pdf](http://www.iae.org.ar/archivos/educ_gnl.pdf). 22/02/19, 15:50.
21. Natural gas vehicle knowledge base, <http://www.iangv.org/> 24/02/19, 16:10.
22. La vanguardia, plan para impulsar el gas natural como combustible marítimo. <https://www.lavanguardia.com/economia/20170624/423669356351/plan-para-impulsar-el-gas-natural-licuado-como-combustible-maritimo.html> 07/03/19, 08:30.
23. Gas Sagayo S.A. Historia del GNL. <http://www.gassavago.com.uy/index.php/component/k2/item/62-historia-del-gnl> 08/03/19, 11:00.
24. Nortegas, Historia del gas natural, <https://www.nortegas.es/nuestros-negocios/distribucion-de-gas-natural/historia-del-gas/>. 08/03/19, 09:00.