

Trabajo de Fin de Grado en Tecnologías Marinas



**“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS
PREPARADOS?”**

Carlos García García

4º Grado en Tecnologías Marinas

Curso 2018-2019

Tutora:

Alicia M.^a Palma Rivero

Septiembre de 2019

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

ÍNDICE

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

ÍNDICE

RESUMEN	8
ABSTRACT	12
1. INTRODUCCIÓN	16
1.1 Descubrimiento del petróleo	18
1.2 Motores de combustión interna (MCI)	19
1.3 Primeros buques en utilizar hidrocarburo	20
2. OBJETIVOS	22
3. IMPACTO EN EL ECOSISTEMA Y SALUD HUMANA	26
4. NORMATIVA	32
4.1 Primera regulación de las emisiones	35
4.2 Establecimiento de zonas ECA	35
4.3 Nueva normativa de obligado cumplimiento para Enero de 2020	38
4.4 Maneras de cumplir normativa	39
4.4.1 Reducir Azufre en FO	40
4.4.1.1 Hidrodesulfuración (HDS)	40
4.4.2 Consumir MGO	44
4.4.3 Utilización GNL	45
4.4.4 Lavadora de gases (Scrubbers)	47
4.4.4.1 Scrubber de ciclo abierto	49
4.4.4.2 Scrubber de ciclo cerrado	50
4.4.4.3 Scrubber híbridos	51
4.5 Posible aplazamiento de la normativa	52
5. CÓMO AFECTA AL BUNKER	54

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

6. IMPLANTACIÓN POR PARTE DE LAS NAVIERAS	58
6.1 Diferencia de precio en los combustibles	60
6.1.1 Compatibilidad de los combustibles	63
6.2 Coste estimado montaje Scrubbers	64
6.3 Coste adecuación a gas	67
7. LA NAVEGACIÓN DE CARA AL FUTURO	70
7.1 Barco con velas	72
7.2 Barcos eléctricos	74
7.3 Barcos alimentados con placas solares	75
8. CONCLUSIONES	78
9. CONCLUSIONS	82
BIBLIOGRAFIA	86
INDICE DE ILUSTRACIONES	94
INDICE DE TABLAS	98
INDICE DE GRÁFICAS	102
ACRÓNIMOS	106

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

RESUMEN

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

RESUMEN

Hoy en día, nos encontramos con una problemática mundial debido a la polución y contaminación atmosférica que afecta directamente al ecosistema y población de La Tierra. Uno de los mayores culpables de estos acontecimientos es el azufre que se encuentra oculto en muchos de los combustibles que utilizamos diariamente y es expulsado a la atmósfera en forma de dióxido de azufre que en contacto con el agua forma ácidos generando la conocida “lluvia ácida”.

Uno de los principales causantes de emisiones de azufre son los buques, que, aunque en relación emisiones/toneladas transportadas por km, con una eficiencia relativa notable por encima del transporte aéreo e incluso terrestre (tren), siguen emitiendo a la atmósfera grandes cantidades de este contaminante.

Por los motivos expuestos anteriormente, desde el año 2005 la OMI (*Organización Marítima Internacional*) en virtud del Anexo VI del Convenio MARPOL (*Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques*), establece unos límites superiores de azufre en los combustibles utilizados por los buques cada vez más estrictos.

Este trabajo tiene por objeto conocer dicha normativa y adecuación de las navieras para cumplir con las restricciones establecidas de próxima implantación el 01 de enero de 2020. Así como, conocer alternativas de cara al futuro que puedan sustituir por completo o de manera parcial el consumo de hidrocarburos.

Palabras clave: Azufre, OMI, MARPOL, contaminación, SO₂, salud humana, lluvia ácida, contaminación ambiental, Fuel Oil, hidrocarburos.

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

ABSTRACT

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

ABSTRACT

Today, we are faced with a global problema due to pollution and atmospheric pollution that directly affects the ecosistema and population of The Earth. One of the major culprits of these events is the sulphur that is hidden in many of the fuels that we use daily and is expelled into the atmosphere in the form of sulphur dioxide that in contact with water forms acids generating well-known “lluvia ácida”.

One of the main causes of sulphur emissions are ships, which, although in terms of emissions per tonne transported per km, with a notable relative efficiency above air and evenland (train) transport, continue to emit large quantities of this pollutant into the atmosphere.

For the reasons set out above, since 2005 the IMO (International Maritime Organisation) under Annex VI of the MARPOL Convention (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships), has been setting higher sulphur limits for fuels used by increasingly stringent ships.

The aim of this work is to get to know these regulations and the adequacy of the shipping companies to comply with the restrictions established for the next implementation on 01 January 2020. As well as, to know alternatives for the future that can replace completely or partially the consumption of hydrocarbons.

Key words: Sulphur, OMI, MARPOL, pollution, SO₂, human health, acid rain, environmental pollution, Fuel Oil hydrocarbons.

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

1. INTRODUCCIÓN

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de este trabajo de fin de grado estudiaremos el impacto vinculado a la presencia de azufre en los combustibles marinos que se consumen actualmente y es expulsado después de la combustión por las chimeneas en forma de SO₂. Este tipo de emisiones llevan vinculados problemas que afectan al ecosistema y provocan afecciones en la salud humana.

Por consiguiente, analizaremos las normativas adoptadas por parte de la OMI para subsanar, a través del convenio MARPOL, este problema que afecta a la sociedad.

Por otra parte, estudiaremos como afecta esta serie de medidas a las navieras que tienen que adecuar sus buques para cumplir con lo estipulado y como afecta también a los principales productores de petróleo, así como, a refinerías que tienen que modificar sus infraestructuras para poder generar combustible apto para suministrar a la flota mundial.

Para finalizar, fijamos la vista en el futuro y en las opciones, que en algunos casos ya se están aplicando, para dejar de lado los combustibles más contaminantes y abrir la puerta a las energías renovables.

1.1 Descubrimiento del petróleo

El uso del petróleo y sus derivados como combustible se remonta hasta el año 1859 cuando Edwin L. Drake hace la primera perforación y extrae petróleo a una profundidad de 21 metros en Pensilvania. Más tarde, Drake consiguió extraer la kerosina del mismo, consiguiendo de esta manera la aparición del resto de hidrocarburos. [1]

Desde este momento, los hidrocarburos se han convertido en fuente de alimentación principal de los motores utilizados en diferentes ámbitos, ya sea particular o profesional. Desplazando de esta manera a los combustibles utilizados anteriormente, principalmente el carbón, la huya y la antracita, por su gran poder calorífico.



Ilustración 1. E. Drake junto a la primera torre de extracción de petróleo

Es importante conocer que dichos combustibles tienen enmascarados componentes tales como el azufre que, si no son reducidos o tratados antes de ser expulsados a la atmósfera después de la combustión en los motores, al estar expuestos a la acción de diversos factores naturales como el agua, forman un ácido (H_2SO_4) que puede acarrear consecuencias a la población y al ecosistema cuando precipitan formando la conocida “lluvia ácida”. [2]

1.2 Motores de Combustión Interna (MCI)

En la historia el hombre ha necesitado hacer uso de su ingenio para desarrollar útiles o mecanismos para permitir llevar a cabo aquellos trabajos más costosos. En sus inicios, hace más de 1500 años el hombre proyecta la primera “máquina”, el molino de viento, que le permitía moler el grano, mover un pistón para bombear agua o incluso cortar madera. Transcurrieron muchos años hasta que se consigue desarrollar una máquina capaz de producir trabajo a partir de vapor. Poco después, se comienza a inventar motores donde la combustión del combustible utilizado se realizaba dentro del motor. Comienza una era, aunque con unas eficiencias bastante bajas, muchos de los trabajos que antes parecían costosos, ahora se hacen sin esfuerzo. [3]

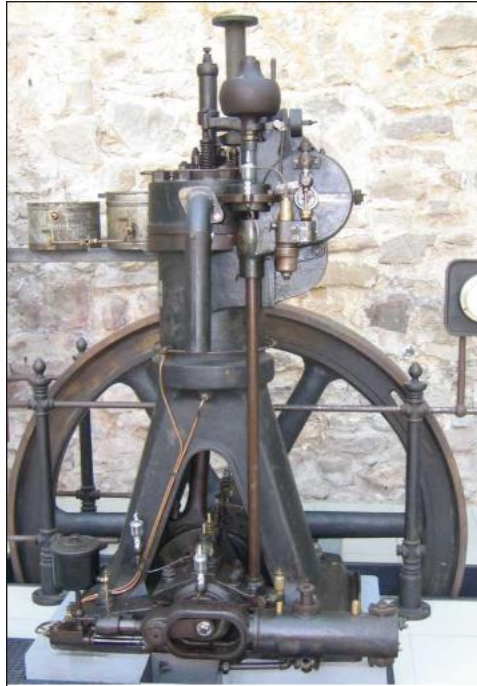


Ilustración 2. Primer Motor de Rudolf Diesel

1.3 Primeros buques en utilizar hidrocarburo

Tras la revolución del petróleo comienza a obtenerse los derivados, primero la aparición de la gasolina trajo consigo el primer motor de cuatro tiempos o “Ciclo Otto” en honor a su inventor, Nikolaus August Otto, primer motor que sustituye de manera viable a la máquina de vapor. Este motor fue integrado en una bicicleta obteniendo la primera motocicleta, hasta que más tarde, Karl Benz integra este motor en una estructura de tres ruedas dando paso de esta manera a los primeros automóviles.

En el caso de los barcos se tardó un poco más en abandonar la máquina de vapor debido a la complejidad de diseño de los grandes motores. No fue hasta el año 1903 cuando el petrolero fluvial “Vandal” utiliza un motor diésel como propulsor, desde este momento comienza la evolución de los motores de combustión interna en el ámbito Marino. [4]



Ilustración 3. Petrolero Ruso "Vandal"

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

2. OBJETIVOS

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

2. OBJETIVOS

El objetivo General de este trabajo es conocer y analizar el impacto de la normativa de reducción de azufre en combustible en los sectores implicados.

Para alcanzar este objetivo General se han desarrollado los siguientes objetivos específicos:

- Llevar a cabo una investigación sobre las afecciones en el ecosistema y la salud humana debido a las emisiones de SO_2 .
- Analizar la normativa impuesta por OMI a través del convenio Marpol.
- Cumplir con la normativa expuesta.
- Conocer las consecuencias en los diferentes sectores del petróleo.
- Solucionar el problema de cara al futuro con energías alternativas.

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

3. IMPACTO EN EL ECOSISTEMA Y SALUD HUMANA

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

3. IMPACTO EN EL ECOSISTEMA Y SALUD HUMANA

El dióxido de azufre es liberado a la atmósfera debido a la combustión de hidrocarburos que contienen azufre en su composición, este gas es incoloro, de olor penetrante e irritante. Se comienza a percibir en cantidades muy pequeñas de entre 0,3 y 1,4 ppm. Hay que añadir que la principal fuente de emisiones de este gas es la combustión de productos petrolíferos por parte de las industrias terrestres y de los buques mercantes que operan a través de todo el mundo. [5]

La problemática ocasionada entorno a estas emisiones y por la que organizaciones como la OMS o la OMI regula las cantidades máximas que pueden ser emitidas, es debido a los problemas que producen sobre el medioambiente y la salud humana. Diversos estudios coinciden en que los días en que los límites de emisiones de SO_2 son superiores a los permitidos, los ingresos hospitalarios aumentan debido a cardiopatías y mortalidad, también los asmáticos sufren crisis obstructivas crónicas, causa irritación ocular, entre otras muchas patologías. [6]



Ilustración 4. Contaminación de SO_x por los buques

Un estudio realizado por la OMI basándose en las emisiones hasta el momento de SO_2 y en el impacto que se producirá entre los años 2020 y 2025 si no se lleva a cabo una normativa de reducción de azufre en los combustibles utilizados, aclara que esta contaminación se verá implicada en más de 570.000 muertes prematuras en el periodo de

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

retraso de la normativa en 5 años. Destacando que los principales afectados son niños y mayores con asma y personas con enfermedades pulmonares crónicas obstructivas y problemas cardiacos. Como cabe esperar, no solamente se ven afectadas personas con enfermedades ya diagnosticadas, este fenómeno hace que las personas sean más propensas a contraer infecciones relacionadas con el sistema respiratorio.

El SO_2 se encuentra en suspensión en el aire una vez que es emitido al exterior tras la combustión, al ser el doble de denso que el aire precipita llegando a la corteza terrestre. Al contrario de como se pensaba hace unos años, este gas no solo se introduce en el organismo a través del sistema respiratorio, sino que también puede introducirse por dilución en la saliva o incluso al estar en contacto con la piel por absorción de la misma. Además, uno de los problemas que más preocupa es el momento en el que este gas entra en contacto con la humedad del aire o con el agua de la lluvia formando el ácido sulfúrico (H_2SO_3) que precipita en lo que comúnmente conocemos como “lluvia ácida”. Este ácido es el causante de la acidificación del agua dulce de los ríos, acidificación de la tierra y la deforestación ya que este ácido afecta a la clorofila de la vegetación. [5]

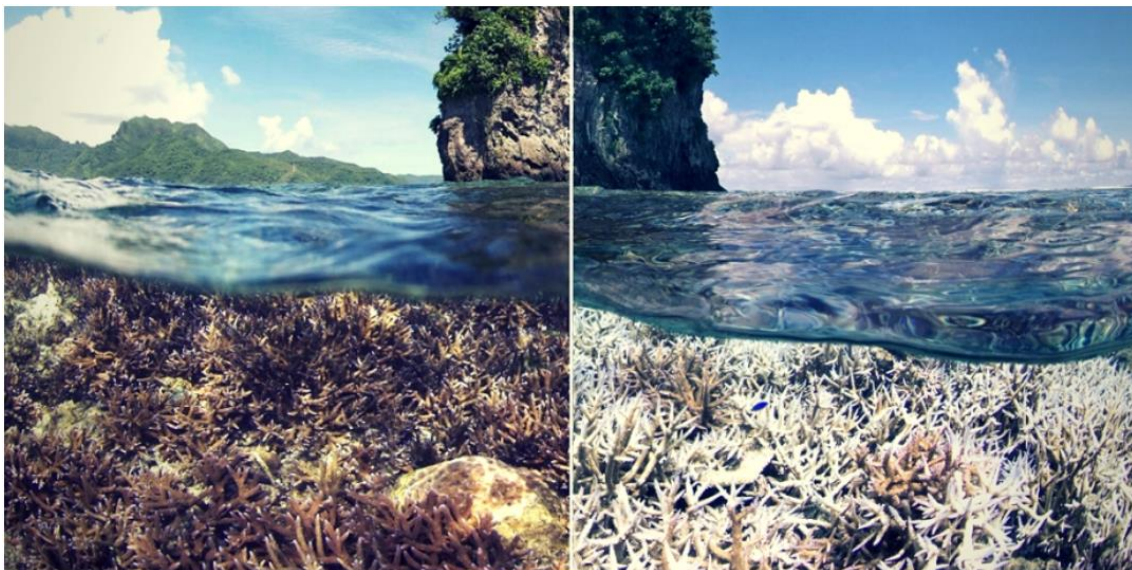


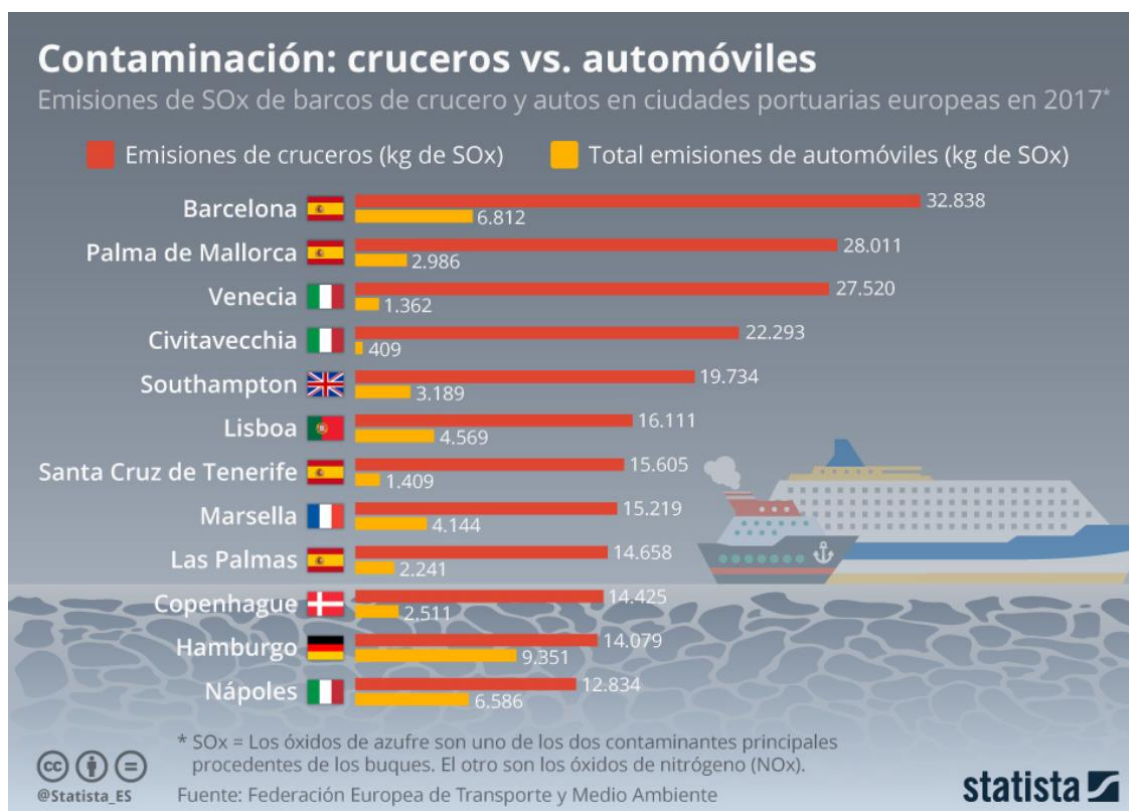
Ilustración 5. Acidificación de los océanos

Con la normativa propuesta por la OMI en la que se reduce el azufre en el combustible, se espera reducir en un rango de entre 8,5 y 8,9 millones de Toneladas métricas anuales el índice de azufre en estos hidrocarburos, lo que supone un 77% menos de emisiones de

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

azufre que se vierten al medioambiente. Con esta regulación se espera poder reducir también el impacto en las zonas costeras que son, en muchas ocasiones, las más afectadas por el SO₂ al ser los puntos de primer contacto con el mar y zonas portuarias. Se reduce de esta manera también los costes para evitar muertes prematuras que se encuentran entre el rango de 67 mil millones de dólares hasta los 1,13 mil millones de dólares. [7]

En la siguiente gráfica vemos reflejado la cantidad de SO_x emitido tanto por buques cruceros como por automóviles en algunas ciudades portuarias. De esta manera nos hacemos una idea de la contaminación que es producida por los buques en proporción a la producida por los automóviles.



Gráfica 1. Contaminación por emisiones de SO_x en ciudades portuarias

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

4. NORMATIVA

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

4. NORMATIVA

Las primeras regulaciones sobre contaminación en el mar comienzan cuando la OMI convoca la “Conferencia Internacional sobre Contaminación del Mar” que tuvo comienzo el día 8 de octubre finalizando el 2 de noviembre de 1973. De acorde a esta conferencia sale el primer convenio que regula la contaminación en el mar, llamado “Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques”.

Este convenio de 1973 requería modificaciones y aclaraciones que no fueron previstas durante su elaboración, por este motivo, más tarde se realiza el Protocolo de 1978 aprobado por la “Conferencia internacional sobre seguridad de los buques tanque y prevención de la contaminación”. Debido a la cantidad de accidentes ocasionados entre los años 1976-1977 y teniendo en cuenta que el Convenio de 1973 no había entrado en vigor, el Protocolo de 1978 absorbió este Convenio anterior. Conociéndose de esta manera con el nombre de MARPOL 73/78.

En el año 1997 se realiza un nuevo protocolo de gran relevancia ya que se incluyen nuevas enmiendas en el Convenio y se establece un nuevo ANEXO VI que entra en vigor el 19 de mayo de 2005. Donde se dictan las “Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques”.

Anterior a este ANEXO VI, se han establecido otros cinco Anexos que regulan la contaminación. Todos ellos a través del Convenio MARPOL.

Anexo I: Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos (entrada en vigor 2 de octubre de 1983)

Anexo II: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel (entrada en vigor: 2 de octubre de 1983)

Anexo III: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos (entrada en vigor 1 de julio de 1992)

Anexo IV: Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques (entrada en vigor: 27 de septiembre de 2003)

Anexo V: Reglas para prevenir la contaminación ocasionada por las basuras de los buques (entrada en vigor: 31 de diciembre de 1988) [8]

4.1 Primera regulación de las emisiones.

Con la incorporación del Anexo VI en el convenio MARPOL se comienza a reglar tanto el contenido de Azufre en los combustibles, como las emisiones de NO_x y la Materia Particulada. En definitiva, se comienza a controlar las emisiones producidas por los buques y los efectos perjudiciales que ocasionan al entorno.

La primera regulación adoptada por MARPOL a través del Anexo VI que hace referencia al control de las emisiones de Azufre, entra en vigor el 19 de mayo de 2005, teniendo como fecha límite para su implantación hasta el día 1 de Enero de 2012 limitando el contenido de Azufre en combustible en un 4,50% masa/masa. A partir de esta fecha, se endurece la normativa disminuyendo en un punto la cantidad de azufre permitida en combustible. De esta manera, desde el 1 de enero de 2012 en adelante la cantidad de azufre permitida en los combustibles pasa a ser de 3,50 % masa/masa.

4.2 Establecimiento de zonas ECA

Con la adhesión del Anexo VI al Convenio MARPOL se proponen unas áreas que resultan más sensibles a la contaminación por emisiones de SO_x debido a sus condiciones oceanográficas y ecológicas y por la cantidad de tráfico marítimo que las opera, y que, por tanto, había que proteger y crear una normativa donde el índice de contaminación atmosférica fuese mucho menor.

Las Zonas ECA han sido introducidas progresivamente tal y como muestra la siguiente tabla.

Anexo VI: Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques (Zonas de Control de las Emisiones)			
Zonas Especiales	Adopción	Entrada en vigor	Con efecto desde
Mar Báltico (SO _x)	26 sept 1997	19 may 2005	19 may 2006
Mar del Norte (SO _x)	22 jul 2005	22 nov 2006	22 nov 2007
ECA de Norteamérica (SO _x y materia particulada)	26 mar 2010	01 ago 2001	01 ago 2012
ECA del mar Caribe de los EEUU (SO _x y materia particulada)	26 jul 2011	01 ene 2013	01 ene 2014

Tabla 1. Establecimiento de Zonas ECA

Para estas zonas las cantidades de azufre en los combustibles es notablemente menor si lo comparamos con las cantidades establecidas fuera de las áreas de control de emisiones. El límite en cuanto a azufre hasta el 1 de julio de 2010 es de 1,50 % masa/masa en combustible. Una vez superada esta fecha, es decir del día 1 de julio de 2010 en adelante el límite disminuye hasta un 1,00 % masa/masa de azufre en combustible. La última restricción establecida por la OMI a partir del 1 de enero de 2015 es de 0,1 % masa/masa de azufre en los combustibles utilizados en las zonas ECA.

Para cumplir con esta normativa los buques que transiten durante su travesía por una zona ECA deberán cumplir una serie de requisitos establecidos para cumplir con dicha norma. Los buques pueden almacenar dos tipos de fuel, uno con un contenido en azufre que le permita cumplir con la norma y otro fuel oil con un contenido inferior al 0,1 % masa/masa en azufre para poder cumplir con la norma de las zonas ECA. [9]

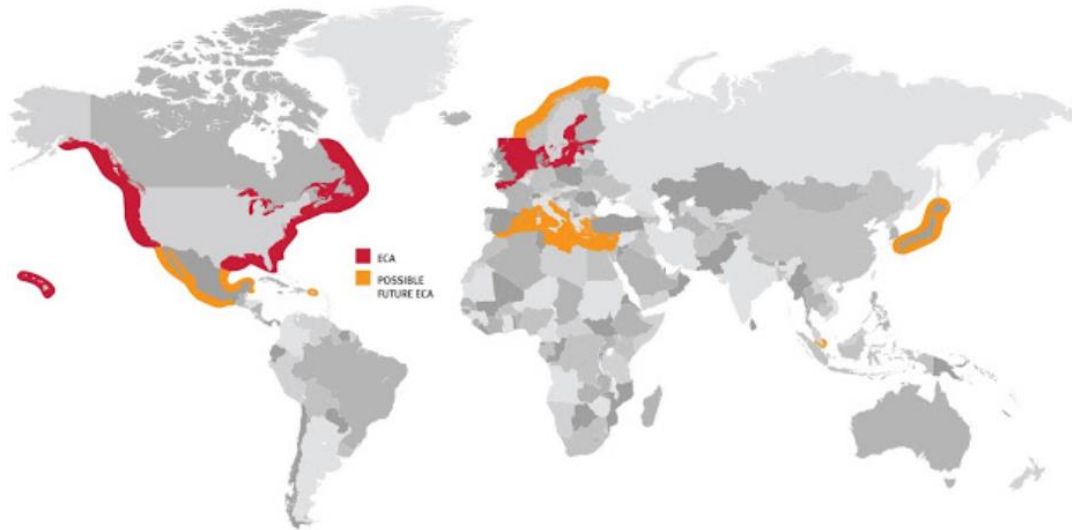


Ilustración 6. Mapa de Zonas ECA

Para ello se debe hacer un cambio de combustible con la antelación suficiente para una vez se haya ingresado en la zona de control de emisiones el combustible haya sido cambiado por completo y no haber restos del otro combustible en la línea. Al igual pasa en sentido contrario, cuando el buque abandona una zona ECA. Esta operación queda registrada por escrito indicando la maniobra de cambio de Fuel Oil, la fecha y la hora a la que se realiza el cambio, la situación del buque en ese momento y el volumen de combustible de bajo contenido en azufre en cada tanque.

El método secundario se basa en dotar al buque de un sistema de “lavadoras de gases” llamados en inglés *scrubbers*. De esta manera no hace falta llevar a bordo dos tipos de Fuel con distintos porcentajes de azufre, sino que, los gases son tratados antes de ser emitidos a la atmosfera. Con este sistema es necesario hacer comprobaciones periódicas de parámetros y emisiones, la otra alternativa para llevar un control y cumplir con la normativa es implementar un sistema que toma parámetros de manera continua de los gases que están siendo emitidos al exterior. Esto nos alarma de cuando el tratamiento de gases no está siendo el adecuado. [10]

4.3 Nueva normativa de obligado cumplimiento para Enero de 2020

La OMI comenzó a reducir las emisiones por SO_x a partir del año 2005 a través del convenio MARPOL, para ello, mediante sucesivas normativas cada vez más restrictivas ha ido disminuyendo progresivamente la cantidad de azufre en el fuel oil utilizado en los motores marinos.

La última normativa aplicada por la OMI, que entra en vigor el 1 de enero de 2020, estipula que el contenido en azufre en los combustibles utilizados a bordo no puede exceder de un 0,50% m/m de azufre. Esto significa que se produce una reducción del 3,00% del contenido en azufre que permitía utilizar en la actualidad.

Uno de los principales inconvenientes que se plantearon a la hora de aplicar esta normativa en el año 2020 o proponer un aplazamiento para el año 2025 fue la incertidumbre de si las empresas encargadas de producir Fuel serían capaces de suministrar este combustible con el contenido reducido en azufre que exige la propia normativa a toda la flota mundial. Para ello OMI encarga un estudio, con fecha límite el año 2018, de la cantidad de fuel necesario para poder establecer esta medida y de esta manera poder tomar decisiones para poder implantar dicha restricción en 2020 o proponer su aplazamiento a 2025.

Para ello, la empresa *CE Delft* (encargada de dicho informe) tuvo que basarse en:

1. Desarrollar estimaciones cuantitativas de la demanda de combustible según el límite mundial de azufre del 0,50% m/m, tanto a nivel mundial como para regiones del mundo, basadas en:
 - a Los volúmenes de combustible de 2012 notificados en el Tercer Estudio de GEI* de la OMI 2014.
 - b Factores de crecimiento adecuados para proyectar volúmenes de demanda de combustible para 2020.
 - c Variaciones en los supuestos de entrada, que representan el alto previsible a rangos bajos de cada suposición que dará lugar a rangos altos y bajos en la demanda.
2. Evaluar la capacidad de la industria de la refinería para abastecer la demanda proyectada:

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

a Construyendo un caso base para 2012.

b Modelando la oferta para 2020, teniendo en cuenta la demanda de combustible y las especificaciones de otros sectores.

- 3.** Comparar los escenarios de demanda y suministro con sus implicaciones con respecto a la disponibilidad de combustibles compatibles.

Teniendo en cuenta la demanda de combustible, haciendo una estimación de consumo de cara al año 2020 y basándose en datos obtenidos por el Tercer estudio del GEI 2014 sobre datos recogidos del año 2012. La empresa encargada del informe anteriormente mencionado, ha puesto de manifiesto que la demanda de destilación bruta pasará de 4.630 millones de toneladas en 2012 a 5.020 millones de toneladas en el mes de junio de 2019. Produciéndose este combustible en grandes refinerías situadas en las regiones de China, India y Oriente Medio. Se prevé también una expansión de las refinerías en otras regiones como América del Norte, América Latina, Rusia y África. De esta manera se pretende conseguir una organización y distribución más rápida y repartida del combustible. [10]

Por lo tanto, OMI estima que la futura demanda de combustible compatible para atender a la normativa será cubierta, teniendo en cuenta que muchos buques seguirán usando HFO ya que dispondrán de lavadoras de gases y otro porcentaje muy pequeño adecuará su flota al consumo de gas. Se estima que las refinerías del resto del mundo vayan ampliando sus infraestructuras para poder producir un fuel oil con un porcentaje de azufre por debajo de lo estipulado por la normativa.

4.4 Maneras de cumplir la normativa

Para hacer frente a esta nueva normativa la OMI propone cuatro alternativas viables. Cada una de ellas tiene facilidades e inconvenientes dependiendo del tipo de buque al que vaya a implantarse. Para ello, vamos a exponer los casos viables para cada tipo de buque en razón de su potencia, espacio en sala de máquinas y exteriores, ruta que realiza.

4.4.1 Reducir Azufre en FO

Una de las alternativas más viables y rápidas para cumplir con la normativa que se aproxima a pasos avanzados es la utilización de un Fuel Oil con un contenido de azufre de 0,5% m/m o menor. Para ello OMI realiza un estudio para verificar que esta normativa puede llevarse a cabo en los plazos propuestos, 1 de enero de 2020, y asegurar a las navieras que las refinerías existentes, más otros proyectos de ampliación de refinerías en todo el mundo son capaces de suministrar este tipo de combustible a la flota mundial.

Cabe destacar que consumir este tipo de combustible más reducido en azufre lleva consigo un incremento de precio, asociado al coste que conlleva la desulfuración del mismo. Esto se traduce en que muchos navieros optaran por consumir este tipo de Fuel Oil, mientras que otros, ya sea por las características de sus buques, aguas que transitan u obtención de este hidrocarburo, optarán por otro de los sistemas de reducción de emisiones de azufre para poder adecuarse a la normativa.

Son varios los procesos que se llevan a cabo para la desulfuración de los combustibles, pero el más importante es la hidrodesulfuración (HDS).

4.4.1.1 Hidrodesulfuración (HDS)

Para realizar este proceso de desulfuración es necesario una planta de hidrotratamiento que contenga un agente catalizador de lecho fijo, separadores tipo flash y un separador de purga. Con la ayuda de la ilustración 7 explicaremos el proceso que pasa el combustible, este caso el fuel oil, para eliminar el azufre de su composición.

Esta ilustración refleja el esquema de una refinería donde se ven todos los tratamientos y procesos por los que pasan los diferentes hidrocarburos hasta llegar a obtener los combustibles dulces (libres de azufre). En nuestro caso, vamos a centrarnos en el área delimitada en color verde que hace referencia a los combustibles más pesados, interesándonos de esta manea el Fuel Oil.

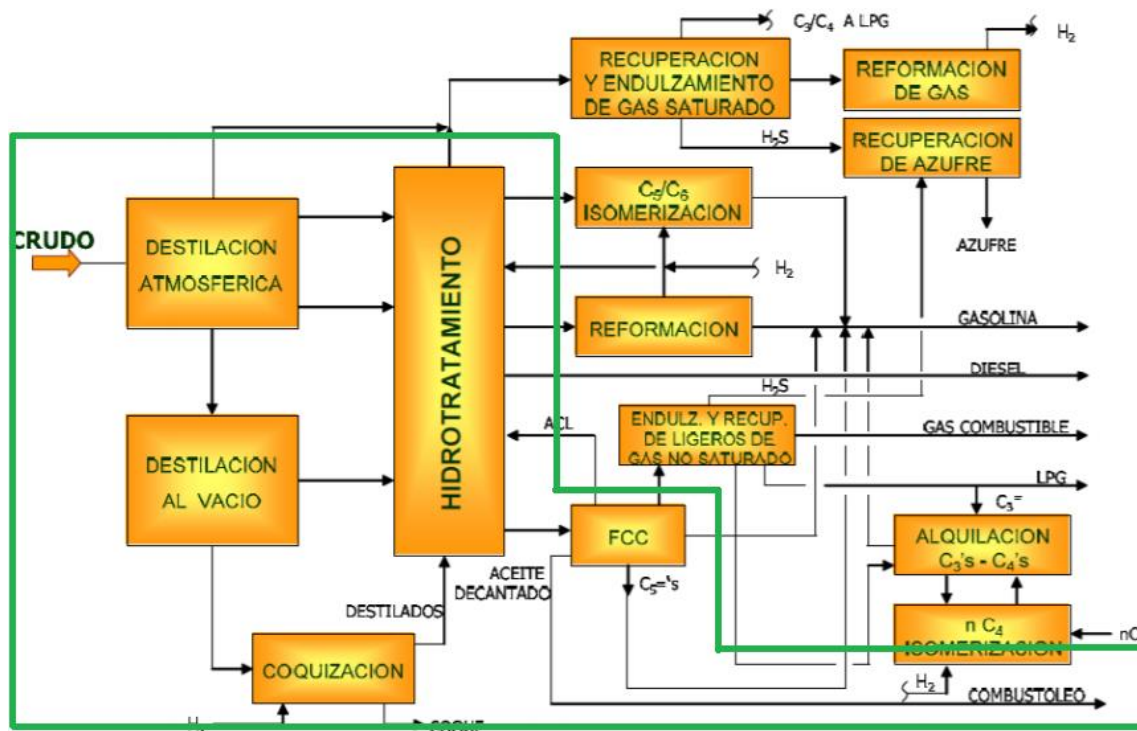


Ilustración 7. Planta de desulfuración del Fuel Oil por hidrotratamiento

Los procesos por los que se consiguen los diferentes combustibles son por destilación atmosférica, donde los hidrocarburos más ligeros se separan por sus diferentes puntos de ebullición a presión atmosférica. Sin embargo, la destilación por vacío se realiza disminuyendo la presión del recipiente donde se contiene el crudo, decreciendo de esta manera la temperatura de ebullición de cada hidrocarburo, evaporándose y separándose en los diferentes niveles de la torre de destilación.

Una vez separados los hidrocarburos pasan al proceso de hidrotratamiento donde un flujo líquido de hidrocarburo entra en el reactor catalítico junto a un flujo gaseoso de hidrógeno y hidrogeno en fase gaseosa de recirculación, al reaccionar el hidrogeno gaseoso con el hidrocarburo generan el combustible libre de azufre. [11]

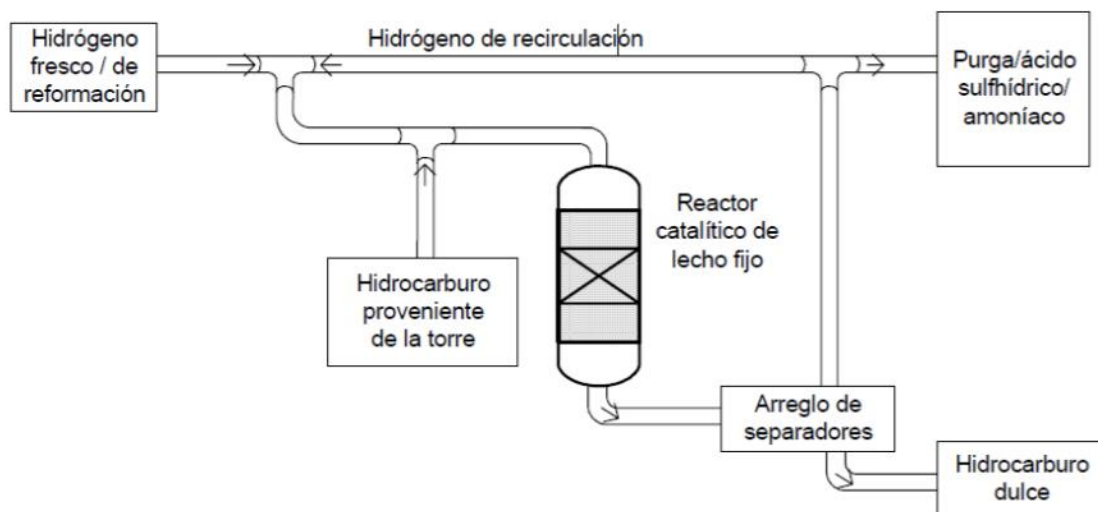


Ilustración 8. Estación de hidrotratamiento

A la salida del proceso de hidrotratamiento donde son tratados los hidrocarburos y eliminado el azufre, los productos más pesados pasan por un proceso catalítico en lecho fluido, denominado por sus siglas en inglés FCC. En esta sección se produce un proceso iónico en el que se suceden muchas reacciones simultaneas y consecutivas separando de esta manera los hidrocarburos que no pudieron desprenderse en la destilación atmosférica o en la torre de vacío.

Las reacciones más importantes que tienen lugar en este proceso son:

- Las reacciones de isomerización, donde la energía de activación se reduce en presencia del catalizador para que los cationes del carbono primarios se isomericen a secundarios y así sucesivamente.
- Las reacciones de ciclación se obtienen en presencia de un doble enlace del hidrocarburo formando un ciclo, generando anillos aromáticos.
- En las reacciones de transferencia de protones los carbocationes ceden un protón a una olefina formando olefina interior, haciendo que los naftenos se insaturen.

[11]

En la Ilustración 9 se muestra un esquema de funcionamiento de un reactor FCC.

En el reactor se produce el craqueo catalítico de los hidrocarburos explicado anteriormente.

El stripper tiene la función de eliminar con arrastre de vapor los hidrocarburos absorbidos por el catalizador.

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

En el regenerador se quema con aire el coque depositado sobre el catalizador, produciéndose el calor necesario para el craqueo.

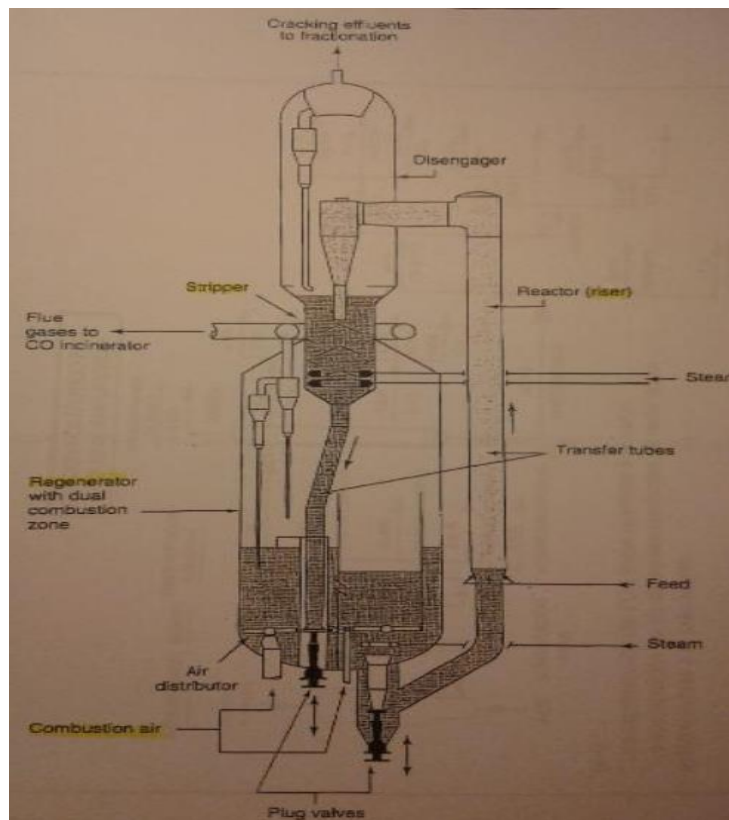


Ilustración 9. Reactor catalítico en lecho fluido (FCC)

En un horno exterior al reactor FCC se precalienta a 350°C el compuesto que se va a craquear y se mezcla en el reactor (riser) con el catalizador que se encuentra a 600°C, obteniéndose una mezcla de 500°C aproximadamente, temperatura a la que se produce el craqueo. A lo largo del reactor se produce la reacción, una vez llega a la salida del mismo se forma un ciclón que separa el catalizador de los vapores de hidrocarburos.

Una vez que sale del reactor, el catalizador pasa por el stripper donde se encuentra un lecho fluido con vapor, recuperando de esta manera los hidrocarburos absorbidos por el catalizador. Debido a que el catalizador tiene mayor densidad cae por gravedad a un lecho fluido por aire en el regenerador donde se produce la combustión del coque, calentando así el catalizador. En este momento termina el proceso y el catalizador es enviado al reactor para comenzar el ciclo.

Una vez que los hidrocarburos salen en forma de vapor de la sección de craqueo, son enfriados para eliminar el calor y que el craqueo no continúe.

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

De este proceso se obtiene en porcentaje:

- Gasolina: 47%
- Aceite cíclico: 17%
- Aceite decantado: 10%
- Coque: 5%

El resto de este porcentaje se trata de bajos porcentajes de carbono procedente del craqueo.

Una vez que sale del proceso de FCC el aceite decantado obtenido es lo que comúnmente llamamos fuel oil. [12]

4.4.2 Consumir MGO

El gas oil marino es considerado el fuel oil con menor índice de azufre (LSFO), con un contenido entre el 0,10 y el 1,50 % m/m. Esto hace que su obtención sea relativamente fácil comparándolo con la obtención del HFO que pasa por varios procesos antes de conseguir un combustible apto para producir energía.

Se trata de un compuesto homogéneo de hidrocarburos parafínicos, aromáticos y olefínicos. También en su composición contiene aceites en los que se encuentran compuestos aromáticos parafínicos formando 3 anillos de manera general, aunque también se pueden encontrar compuestos formando de 4 o 6 anillos. Por lo general contienen aditivos que mejoran la composición y le da estabilidad al compuesto como pueden ser antioxidantes, inhibidores de corrosión, mejoradores de flujo, disipadores de electricidad estática. [13]

La calidad del Gas Oil viene dada por el número de cetanos calculado teniendo en cuenta la densidad y el punto de ebullición. Este parámetro se consigue midiendo el tiempo que tarda desde que se inyecta el combustible hasta que comienza la combustión. A mayor número de cetanos, este tiempo se reducirá.

De manera usual este tipo de combustible se utiliza para alimentar motores de diesel de alta velocidad y pequeños motores auxiliares. No es un combustible pensado para ser utilizado por grandes motores, aun así su utilización en motores grandes es cada vez

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

mayor, su rendimiento y funcionamiento lo hacen un combustible apto. Estudiando la normativa este combustible es una alternativa viable para alimentar los motores principales, ya que su obtención es relativamente fácil si lo comparamos con el HFO de bajo contenido en azufre. [14]

Specifications for Distillates Fuels/ ISO 8217 2010	DMA
Density at 15° C Kg/m ³ max	890
Kinematic viscosity at 50° C mm ² /s max	
Viscosity at 40 °Cmm ² /s min	2
Viscosity at 40 °Cmm ² /s max	6
Flash point °C min	60
Pour point (upper) °C winter quality max	-6
Summer quality max	0
Cetane index min	40
Carbon residue, on 10% (V/V) distillation bottoms % (m/m) max	0,3
Ash % (m/M) max	0,01
Water % (V/V) max	
Sulphur % (m/m) max	1,5
Total sediment, existent % (m/m) max	
Total sediment, potential % (m/m)max	
Vanadium mg/kg max	
Aluminium plus silicom,mg/kg max	
Used lubricating oil (UOL) Zinc mg/kg max	
Phosphorus mg/kg max	
Calcium mg/kg max	

Ilustración 10. Especificaciones del Marine Gas Oil

En un estudio realizado por la OMI con vistas al año 2020, se espera que el 15% de la energía que consumen los buques que no tengan EGCS y no funcionen con GNL, lo hagan consumiendo MGO con un contenido de azufre del 0,10%. El resto lo harán consumiendo HFO con un porcentaje de azufre de entre el 0,10% y el 0,50% m/m. Este supuesto se obtiene valorando que aumentar la producción de MGO conlleva menos capacidad de hidrotratamiento y por tanto es más fácil de producir que aumentar la cantidad de HFO compatible.

4.4.3 Utilización GNL

Existen muchos tipos de combustibles alternativos, pero su utilización es tan baja que se considera despreciable. En este apartado se ha optado por elegir el GNL entre todos los combustibles alternativos ya que es el combustible que mayor cuota de mercado tiene. [10]

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

Se trata de un gas incoloro, inodoro, no produce toxicidad y solo se quema entrando en contacto con el aire en concentraciones de entre el 5% y el 15%. Una de sus ventajas principales es que su impacto ambiental es muy bajo comparado con otros combustibles, esto se debe a la alta relación hidrógeno-carbono de su composición. Además, en el caso de producirse un derrame, su temperatura aumenta y se evapora sin contaminar el entorno. Al combustionar no emite azufre ni partículas perjudiciales para el medio ambiente.

El GNL es un gas que ha sido tratado para poder ser transportado de manera más fácil y eficiente. Para poder licuar este gas y transportarlo a presión atmosférica se necesita bajar su temperatura hasta los $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ y conseguir reducir su volumen 600 veces. [15]

Uno de sus inconvenientes principales es que su uso como combustible de bunker solo está disponible en un número limitado de puertos. Aunque el número de instalaciones está creciendo paulatinamente y cada vez más puertos lo ofrecen como combustible de bunker, la realidad es que por el momento no está disponible de manera extendida.

El gas natural se obtiene mediante pozos perforados, este gas no se encuentra solo sino con él va asociado una serie de hidrocarburos gaseosos, hidrocarburos líquidos, una cantidad indeterminada de agua (dependiendo del pozo) y otros gases que puedan acompañar al gas natural. Una vez se extrae este gas del pozo pasa por varios procesos para eliminar aquellos productos que no aprovechables o de conveniencia ya que, en el caso del agua, por ejemplo, produce corrosión y congelación una vez que el gas pase al proceso de enfriamiento.

Estos procesos se inician con la deshidratación del gas, se trata de la eliminación del agua contenida en forma de vapor que acompaña al gas. Para ello, se hacen una serie de cambios en la temperatura y presión haciendo que se condense el vapor de agua y precipite en forma de agua líquida.

Una vez que el gas se ha deshidratado pasa a un proceso de desulfuración donde el azufre que contiene el gas es eliminado. El proceso más conocido para la eliminación de este componente es el tratamiento químico con aminas. Haciendo pasar el gas por una solución acuosa que reacciona con las partículas de azufre y las elimina.

Una vez que el gas natural ha sido tratado y se han eliminado el agua contenida en el mismo y el azufre que pudiese contener, se procede a la criogenización del gas natural para convertirlo en gas natural licuado. Para llevar a cabo este último proceso, se enfría

el gas hasta una temperatura por debajo de los $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ a presión atmosférica. Esto hace que el gas natural pase a estado líquido ocupando en 600 veces su volumen, de esta manera su transporte se hace mucho más viable. [16]

4.4.4 Lavadora de gases (Scrubbers)

Los “scrubbers” o comúnmente conocidas como lavadoras de gases es una alternativa para reducir las emisiones de SO_2 . Este sistema tiene como beneficio que se puede utilizar el mismo combustible que hasta el momento, realizando para ello un lavado de los gases de escape antes de ser emitidos a la atmósfera.

El sistema está compuesto por múltiples elementos, pero el elemento principal que hace el lavado de los gases de escape se denomina torre de lavado o su término en inglés “Scrubber”. Se trata de una torre empaquetada donde la absorción de la materia más pesada o contaminante puede hacerse de dos maneras.

En los **depuradores de rocío centrifugo** se hace entrar la columna de gases por la parte baja de la torre formando un ciclón, dentro de esta se rocía agua de manera centrifuga con un aspersor central formando una espiral de gotas de agua. De esta manera las gotas de agua atrapan las partículas presentes en el gas y la adhieren a las paredes de la torre formando una película húmeda que evita que estas partículas vuelvan a incorporarse al gas que es expulsado por la parte alta ya tratado.

Por otro lado, las partículas de desecho adheridas a las paredes de la torre deslizan por la misma y caen al fondo donde son expulsadas por una salida que las lleva al tanque de tratamiento de agua o al tanque de residuos.

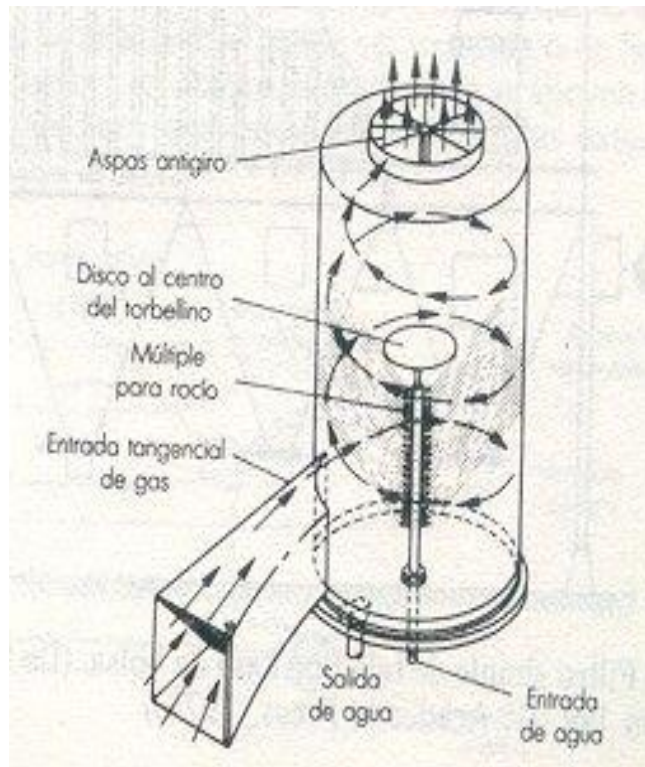


Ilustración 11. Torre de lavado por rocío

El otro sistema de depuración de gases es el de **efecto Venturi**, en este sistema se hace entrar el gas por la parte baja de la torre como en el caso anterior, pero, en la entrada se instala una tubería con efecto Venturi. Esto quiere decir que la tubería en una sección disminuye su diámetro haciendo que la velocidad del gas aumente en esta sección. En este momento se aprovecha para rociar agua sobre el gas adhiriéndose a las partículas y proyectada sobre las paredes de la torre una vez que entran en la misma, haciendo de esta manera que las partículas del gas en contacto con el agua queden pegadas a las paredes de la torre. [17]

Así se consigue que los gases libres de partículas salgan por la parte superior de la torre y las partículas contaminantes precipiten por las paredes de la torre para caer en el desagüe que las lleva a los filtros y plantas de tratamiento de agua.

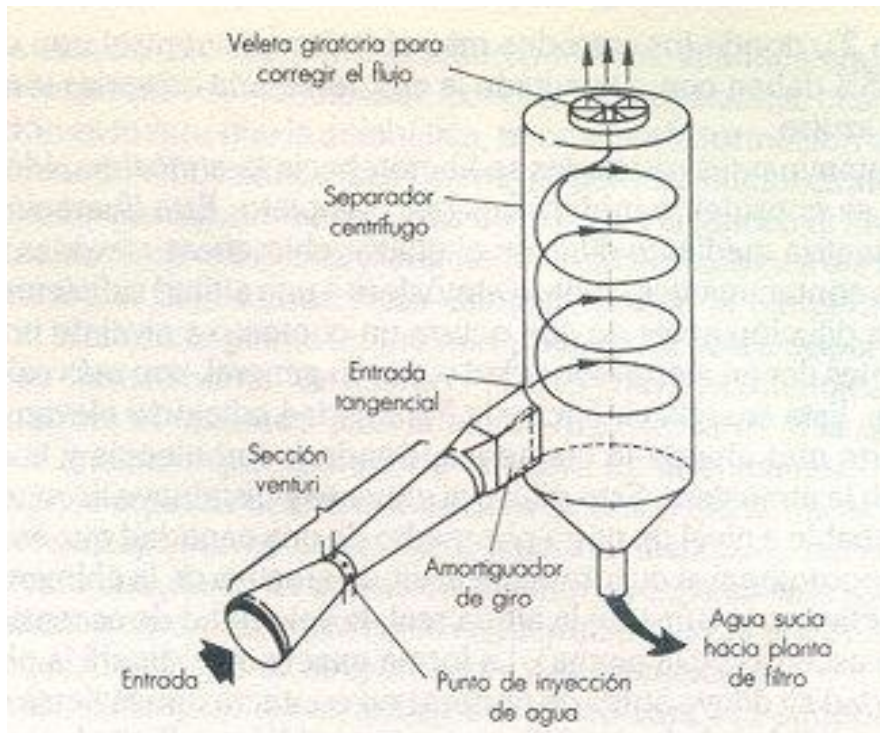


Ilustración 12. Torre de lavado efecto Venturi

Existen tres sistemas de lavadoras de gases.

4.4.4.1 Scrubber de ciclo abierto

Los “scrubbers” de ciclo abierto son los más económicos ya que su instalación es la más sencilla. Para ello es necesario una bomba de agua salada, un intercambiador de calor de placas, un tanque de circulación donde va agua dulce con aditivo alcalino, un sistema que monitoriza los valores de los gases y del agua a la salida del scrubber y un sistema de limpieza de agua.

En este sistema la desulfuración se hace con agua de mar extraída por una bomba neutralizando y eliminando el SO_2 . Para que esto suceda, los gases tienen que ser mezclados completamente con el agua salada. De esta manera conseguimos que los óxidos de azufre sean disueltos en la mezcla formando bisulfito y sulfito debido a la ionización del dióxido de azufre, oxidándose en sulfatos debido al oxígeno existente en el agua de mar.

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

Para llevar a cabo este sistema se hace entrar los gases por la parte inferior de la torre de lavado, con agua de mar se pulverizan estos gases que forman ácido sulfúrico. Con este sistema la alcalinidad del agua de mar neutraliza los ácidos.

Posteriormente, esta agua que se encuentra contaminada es tratada y monitorizada a la entrada y antes de ser desechada al mar para asegurar que no se contamina el medio marino. [18]

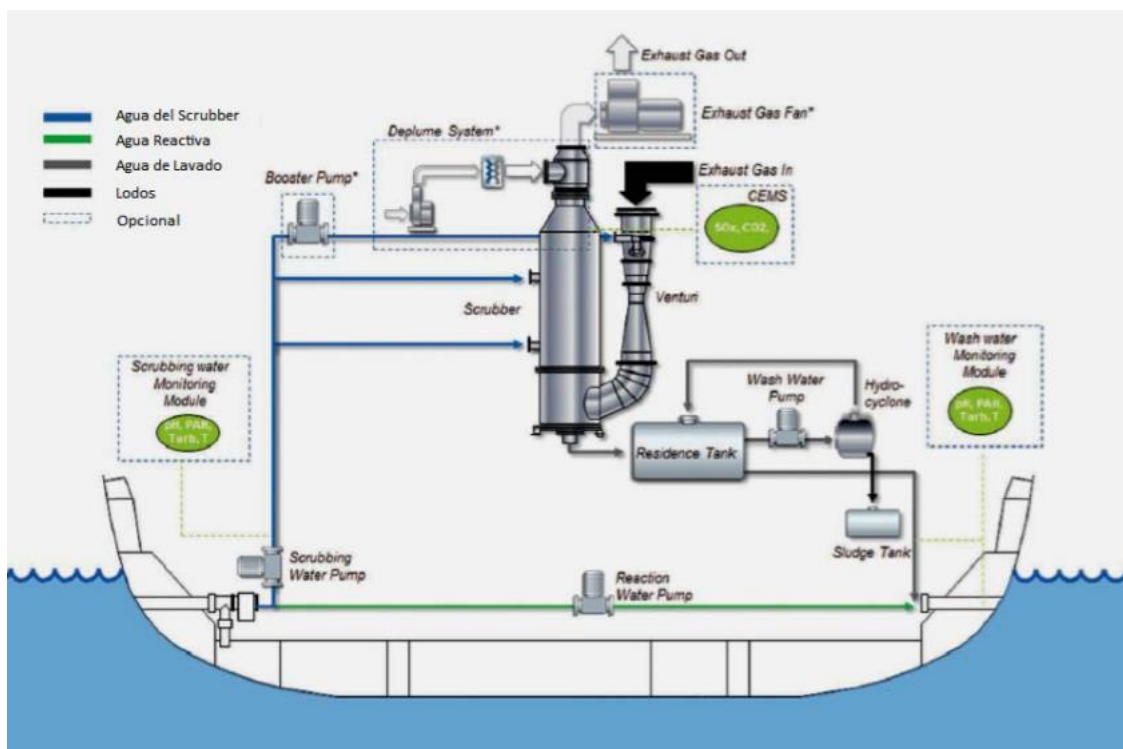


Ilustración 13. Esquema de un scrubber de ciclo abierto

4.4.4.2 Scrubber de ciclo cerrado

Los “scrubber” de ciclo cerrado son los menos utilizados por los buques, ya que es necesario disponer de un depósito de agua de mar mezclado con soda caústica (NaOH) que hace que reaccione con los gases de escape y neutraliza los contaminantes. En estos sistemas se extrae una pequeña muestra y tras un proceso de limpieza de acuerdo con la OMI, estos efluentes limpios pueden ser descargados al mar sin causar daños al medio ambiente.

Este sistema requiere un tanque adicional para almacenar toda la materia de desecho que se origina de la reacción de los gases de escape con el agua de mar con soda caústica, de

esta manera es llevada a puerto donde se procede a su recogida y limpieza de dicho tanque. [19]

4.4.4.3 Scrubber híbridos

Los “scrubber” híbridos son los más utilizados en los buques a día de hoy. Incluso hay empresas que tienen la opción de montar un lavador de gases de ciclo abierto con la posibilidad de adaptarlo en un futuro a un sistema híbrido. Esto se debe a que en el sistema de ciclo abierto se depende de la alcalinidad del agua del mar por el que se navega en ese momento. Cuando parte de la navegación se realiza en entornos de agua de río, estuarios o puertos en lugares de agua salobre, la salinidad del agua es menor, por tanto, la alcalinidad del agua disminuye haciendo que en la lavadora de gases no reaccione esta agua con los compuestos nocivos de los gases de escape y no se produzca la neutralización de los mismos.

La ventaja con la que cuenta este tipo de sistema es que puede funcionar en ciclo abierto cuando la alcalinidad del agua es la apropiada y pueda verter al mar el agua de desecho una vez tratada. Como también puede funcionar en ciclo cerrado cuando la alcalinidad del agua no sea suficiente o se encuentre en una zona restringida donde no está permitido devolver al mar el agua utilizada para la neutralización de los gases nocivos. Utilizando de esta manera el agua de mar con el aditivo de la soda cáustica para neutralizar los mismos. [20]

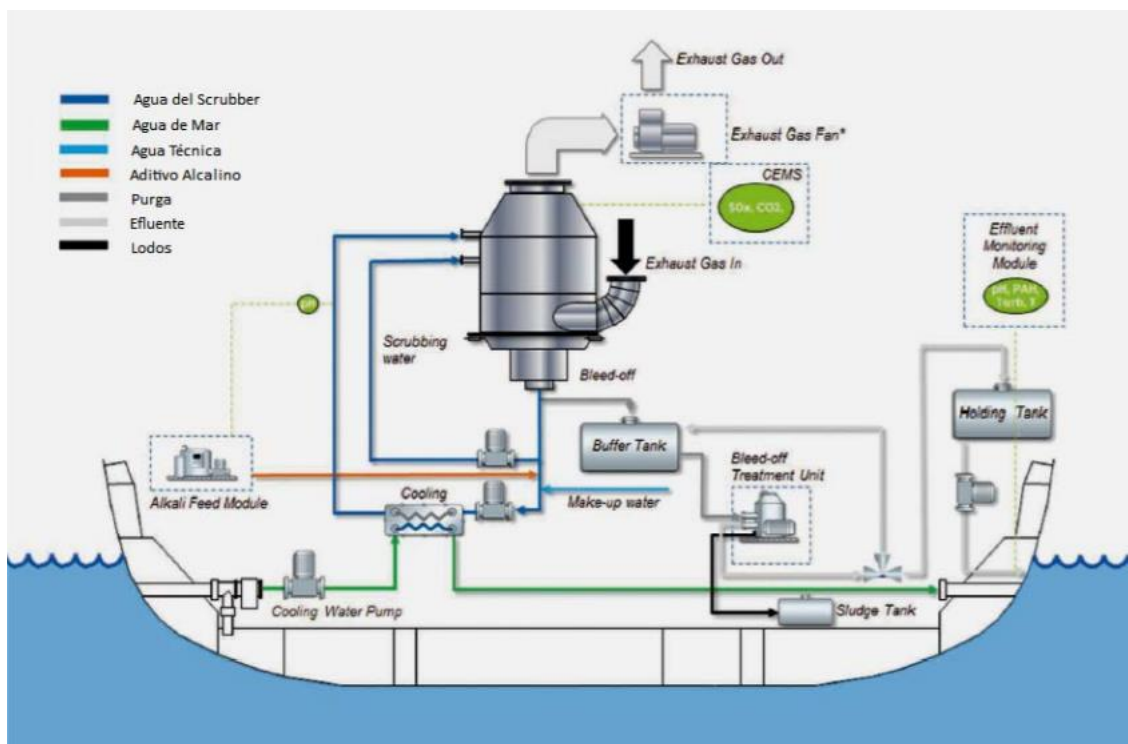


Ilustración 14. Esquema de un scrubber híbrido

4.5 Posible aplazamiento de la normativa

La OMI ya ha comunicado que este plazo para la aplicación de la normativa que entra en vigor el 1 de enero de 2020 no está sujeta a aplazamiento. A algunas empresas navieras las afloraban dudas sobre si habría suficiente combustible y si las refinerías serían capaces de producir esta demanda de fuel reducido en azufre para abastecer la flota mundial.

Para tomar esta decisión, OMI, encarga a desarrollar un estudio minucioso elaborado por la empresa CE Delft donde se detallan los países donde se refina este combustible y las posibilidades de cumplir con esta normativa. De esta manera, queda aclarado que las refinerías tienen capacidad para absorber la demanda futura de combustible apto para la navegación a partir de esta fecha. Cabe destacar, la elaboración de un documento rellenable donde se recogen datos, por si, en alguna circunstancia un buque va a cargar combustible y no hay existencia en ese momento. Se rellena este documento con los datos exigidos y es enviado para informar del suceso y que por el consiguiente debe cargar un combustible diferente.

Además, en otro estudio donde se muestra el daño que produce las emisiones de azufre sobre la salud humana y los ecosistemas se obtiene que la demora en la aplicación de los

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

límites mundiales de azufre del 2020 al 2025 contribuiría a más de 570.000 muertes prematuras adicionales en comparación con la aplicación en 2020. [7]

Por estos motivos, OMI no permite un aplazamiento de la fecha de implantación de la normativa.

Se pone de manifiesto que esta legislación afecta a todo tipo de buque, independientemente de su tamaño y actividad a la que se dedique. Solo los buques construidos antes de la fecha de entrada en vigor del Protocolo de 1997, así como a todo buque de arqueo igual o superior a 400 que realice viajes a puertos o terminales mar adentro sometidos a la jurisdicción de otras Partes tienen que tener un Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica, emitido por el Estado de abanderamiento del buque. Pero los barcos de todos los tamaños tendrán que usar fueloil reglamentario de 0.50% de contenido de azufre a partir del 1 de enero de 2020. [22]

El no cumplimiento de esta normativa llevará a sanciones no establecidas individualmente por las Partes en el Convenio MARPOL en calidad de los Estados de Abanderamiento y Estados rectores de puertos. No se establecen sanciones o multas concretas por parte de la OMI.

5. COMO AFECTA AL BUNKER

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

5. CÓMO AFECTA AL BUNKER

La normativa de reducción de azufre en los combustibles afecta a todos los sectores relacionados con el sector marítimo, desde las empresas extractoras de petróleo hasta finalmente, las navieras y armadores de los buques. Pasando durante este recorrido por las refinerías y empresas relacionadas con el bunker.

Este cambio en la normativa trae consigo consecuencias en las negociaciones y en los contratos ya existentes con los combustibles de bunker. Con la aplicación de la normativa hay una tendencia a que el combustible utilizado anteriormente, un fuel oil con un porcentaje de azufre de hasta el 3,5% m/m, baje su precio por debajo incluso del precio del crudo de Brent. Mientras que el combustible compatible de manera progresiva aumenta su precio. Con esta inestabilidad en el precio del combustible se hace complicado pactar con los armadores contratos a largo plazo, incluso se están produciendo renegociaciones de contratos pactados a largo plazo de HSFO por miles de millones de dólares, existentes antes de conocer esta nueva normativa.



Ilustración 15. Proceso de "Bunkering"

Con datos como los facilitados por la AIE, que predicen que la demanda de HSFO bajará de 3,2 millones de barriles por día a 1,3 millones de barriles por día en el plazo que la normativa empiece a hacerse efectiva, las grandes refinerías de Oriente Medio, Rusia y

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

América, no se atreven a cargar fuel bajo demanda ya que no tienen un margen considerable en los volúmenes, estableciéndose una responsabilidad peligrosa al no encontrar un mercado confiable al que vender su producto.

Para lograr fijar los precios de los transportes de combustible, se toma como referencia los datos obtenidos del año anterior en cuanto a los precios dependiendo del combustible a transportar. Esto pasa con el Fuel Oil con contenido de 3,5% m/m, al disminuir su precio considerablemente no hay referencia real de cuál va a ser el precio que cobrar.

Para poder establecer una tarifa de acuerdo al nuevo combustible equivalente de 0,5% m/m, Worldscale Association ha tenido que basarse en el cálculo de mezclas de combustible de varios lugares, seleccionando proveedores donde cada uno tiene sus metodologías de cálculo. [23]

Con datos obtenidos de diferentes estudios y haciendo referencia a los buques que han montado sistema de limpieza de gases se estima que el 19% de los buques existentes consumirán, como hasta ahora, HFO con un contenido medio de azufre de 2,7% m/m, habiendo montado los correspondientes sistemas de limpieza de gases. Los demás buques utilizarán combustibles de bunker compatibles.

Teniendo como referencia lo anterior, se estima que un porcentaje considerable de la flota que no tiene sistema de limpieza de gases consuma MGO. Otro porcentaje muy alto de los buques tendrá que consumir un Fuel Oil compatible para hacer frente a la normativa. Esto no es tarea fácil para las refinerías, ya que, su inversión para convertir el fuel oil en destilado es bastante costoso, entorno a mil millones de dólares por refinería con un tiempo de implementación que está entre los 5 y los 7 años. [24]

6. IMPLANTACIÓN POR PARTE DE LAS NAVIERAS

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

6. IMPLANTACIÓN POR PARTE DE LAS NAVIERAS

Con este cambio drástico en la normativa las empresas navieras se ven obligadas a realizar cambios en sus combustibles o a incorporar en sus buques algún sistema de limpieza de gases para poder cumplir con la reducción de las emisiones de SO_x.

En este apartado expondremos los costes para cada tipo de alternativa a la que pueden acogerse, ya sea un cambio de combustible, montaje de lavadora de gases o adecuación de un buque a gas. De esta manera mostramos los gastos iniciales y de mantenimiento que les suponen a las empresas este cambio.

6.1 Diferencia de precio en los combustibles

En esta etapa de transición y con la aparición de una normativa regulatoria en cuanto al uso de combustibles con una reducción en el contenido de azufre. Se le da más relevancia a un combustible que pueda ser compatible, pero a la vez cumpla o se acerque en precio al combustible, en este caso Fuel Oil con un contenido de azufre de máx. 3,5% m/m. Para ello, se intenta conseguir un Fuel Oil con un contenido de azufre inferior, esto se consigue de dos maneras, o bien mediante desulfuración por métodos mencionados en el apartado 4.4.1.1 de este trabajo o por mezcla de combustibles.

Al ser un combustible sin mercado actual, el precio de este nuevo combustible toma como punto de referencia los precios del MGO 0,10% m/m S como cota superior y como cota inferior se toma como referencia el precio del Fuel Oil 1% m/m S. Estableciéndose de esta manera un precio intermedio para este nuevo combustible.

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

Producto	2010	2012	2014	2016	2018	2020
MGO 0,10% m/m SUL	672	997	896	452	552	616
Fuel Oil 0,50% m/m SUL	-	-	-	-	-	595
Fuel Oil 1% m/m SUL	625	918	809	390	497	569
Fuel Oil 3% m/m SUL	521	741	616	252	377	466
Crudo Brent (USD/bbl)	80	112	99	49	63	77

Tabla 2. Precios de los combustibles (USD/Tm excepto Brent)

Observando la tabla, vemos que la diferencia que supone para una naviera consumir un Fuel Oil con un 3% m/m S, a consumir un Fuel Oil con un 0,5% m/m S es de 129 \$/Ton. [10]

Haciendo una simulación con un buque petrolero actual del que obtenemos datos de su consumo por parte de la naviera, analizamos el coste económico en combustible que le supone a la naviera.

Para esta simulación elegimos el buque “Tinerfe” de la compañía *Distribuidora Maritima Petrogas S.L.U.* Se trata de un buque petrolero con las siguientes características:

En cuanto a la propulsión:

Eslora total	144,06 m.
Eslora (perpendiculares)	136,00 m.
Manga de trazado	22,60 m.
Puntal	12,50 m.
Calado	9,20 m.
Arqueo bruto	11.259 GT
Arqueo neto	5.265 NT
Peso muerto	17.539 DWT
Desplazamiento	22.541 T
Velocidad	13 Knots
Fecha construcción	nov-09

Tabla 3. Especificaciones básicas del buque “Tinerfe”

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

Motor Principal	MAN B&W 8S 35MC 5.950 kW 173 rpm
Fuel	HFO 380 cSt 179 g/kW h
Motores auxiliares	YANMAR 3 x 745 kW x 900 rpm (193 g/kW h)
Motor de emergencia	VOLVO PENTA 160 kW x 1.800 rpm
Alternador de cola	
Calderas	Vapor 1 x 14.000 kg/h 7 bar (1.082 Kg/h FO full)
Economizador	900 kg/h 7 bar (aliment. gases escape M. Principal)

Tabla 4. Motor Principal y Motores Auxiliares del buque "Tinerfe"

Este buque tiene como motor principal un motor de 8 cilindros alimentado con un fuel pesado de 380 cSt. La compañía del buque nos ofrece también una tabla de consumo, de esta tabla nos basamos para hacer los cálculos de los precios del combustible. [25]

CONSUMOS	
Carga/descarga F.O.	
Carga/descarga D.O.	3,68 Tm/día // 7,50 Tm/día (sin gas inerte)
Calefacción carga F.O.	1,08 Tm/hora (Carga completa 14 tanques + slops)
Limpieza tanques F.O.	0,9 Tm/hora (a pleno régimen de limpieza)
Navegación cargado F.O.	19,27 Tm/día (MP) + 1,9 Tm/día (MMAA)
Navegación cargado D.O.	
Navegación lastre F.O.	19,27 Tm/día (MP) + 1,9 Tm/día (MMAA)
Navegación lastre D.O.	

Tabla 5. Consumos del buque "Tinerfe"

Con los datos facilitados por la naviera y sabiendo el precio estimado del combustible compatible podemos hacer una aproximación de los gastos que adicionales que habrán de cara a la normativa.

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

Consumo de FO durante la navegación	Precio HFO 3% m/m S	Precio HFO 0,5% m/m S
19,27 Tm/día (MP) + 1,9 Tm/día (MMAA)	466 \$/Tm	595 \$/Tm
TOTAL	8.979,82 \$/día + 885,4 \$/día	11.465,65 \$/día + 1.130,5 \$/día
DIFERENCIA	2.730,93 \$/día	

Tabla 6. Diferencia de precio de los combustibles para buque "Tinerfe"

Tomando los valores de la Tabla anterior observamos que el cambio de combustible actual respecto a un combustible compatible para cumplir con la normativa hace que al día se genere una diferencia notable en el precio del combustible utilizado.

Este cambio de precio en el combustible no solo afecta a la naviera sino también al costo asociado a la mercancía que se transporta, se trata de un bucle en el que se ve involucrado todo el sector.

6.1.1 Compatibilidad de los combustibles

Con esta era de cambios es complicado para las refinerías desulfurar todo el combustible necesario para abastecer a la flota mundial. Como alternativa se está analizando la posibilidad de mezclar combustibles con bajo contenido de azufre con otro combustible para reducir de esta manera el contenido en azufre.

En el caso de querer mezclar un MGO con un HFO los problemas de compatibilidad aparecerían debido a que estamos mezclando un combustible más aromático con bajo contenido en azufre con otro combustible que es más parafínico pudiendo originar lodos que obstruyen los filtros. [26]

A día de hoy, a pocos meses de que entre en vigor la normativa, todavía no existe una tabla de compatibilidades de los diferentes combustibles, así como tampoco existe una especificación estándar ISO para asegurar la calidad y compatibilidad de los nuevos

combustibles con bajos niveles de azufre. De esta manera se asegura que los combustibles sean aptos para el consumo de los buques. [27]

También cabe destacar que un cambio en el combustible utilizado lleva consigo un cambio en los lubricantes utilizados y comprobar del mismo modo la compatibilidad que existe entre ellos. Esto se traduce en incremento de costes para la naviera. [24]

6.2 Coste estimado montaje Scrubbers.

El montaje de lavadoras de gases es una de las alternativas que se valoran para el cumplimiento de la normativa, existen tres sistemas de scrubbers como vimos en el apartado 4.4.4 de este trabajo, de ciclo abierto, de ciclo cerrado e híbridos.

En este apartado vamos a valorar el coste que supone para las navieras el montaje de este sistema de reducción de emisiones dependiendo del tipo de lavadora de gases que se quiera instalar. Esto depende de muchos factores como las consideraciones económicas, limitaciones técnicas y operativas, disponibilidad de ECGS y capacidad de instalación.

Estos costes también vienen asociados a si la embarcación es de nueva construcción o por el contrario el buque es existente y se le quiere hacer un reequipamiento para incorporarlos. También depende el tipo de ECGS que quiera montarse (los ECGS de ciclo cerrado e híbridos son más caros ya que requieren bombas adicionales, tanques de lodos, tuberías adicionales, etc.) y el tamaño del motor al que vaya a acoplarse. Cabe destacar que para embarcaciones de nueva construcción las empresas encargadas del montaje de estos sistemas hacen un descuento entorno al 3% del precio total.

Con la ayuda de diferentes empresas dedicadas al sector de montaje de sistemas de lavados de gases, se ha obtenido una estimación de los costes de inversión para la adquisición e instalación de los mismos.

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

Tipo EGCS	Costes fijos de inversión (millones de USD)	Costes variables de inversión (USD por kW de potencia del motor)
Ciclo abierto, reequipamiento	2.3	55
Ciclo abierto, nueva construcción	1.9	38
Híbrido, reequipamiento	2.8	58
Híbrido, nueva construcción	2.4	44

Tabla 7. Coste montaje de Scrubbers

Esta tabla hace referencia a los costes de inversión fijos para los sistemas de ciclo abierto como para los sistemas híbridos dependiendo si se trata de un buque de nueva construcción o por el contrario es un reequipamiento de un buque existente.

Otro problema que preocupa a los armadores a la hora de decidirse por el tipo de sistema a utilizar son los tiempos de amortización de estos. Para ello, se diferencia entre buques al que se le realiza un reequipamiento, donde se tiene en cuenta el ahorro en combustible y la suma anual de los gastos operativos. Para los buques de nueva construcción se realiza comparando la anualidad de la inversión con el ahorro de costes de combustibles. Donde la anualidad se basa en los costes de inversión, la tasa de descuento y la vida económica.

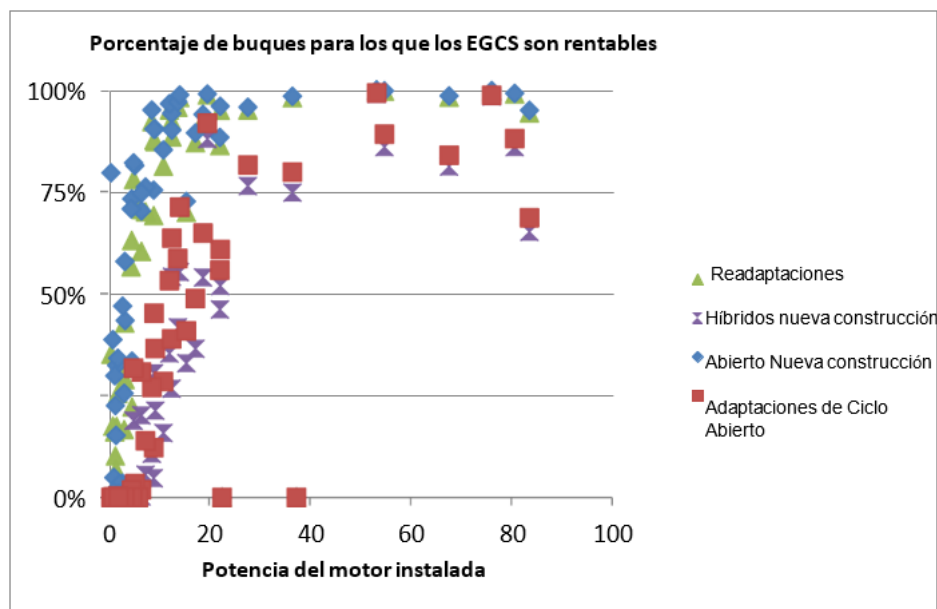
Nuevas construcciones: tasa de descuento	3%
Nuevas construcciones: vida económica	10 años
Reacondicionamientos: período de amortización	3 años

Tabla 8. Parámetros financieros Scrubbers

Como cabe esperar, el montaje de este sistema de lavadora de gases no es rentable para todo tipo de buque. Para los buques con una potencia de hasta 5MW, comparando el precio y consumo de combustible, montar un sistema de scrubber no es rentable. En cambio, empieza a ser rentable en buques con motores con potencia comprendida entre los 5 y los 20MW. Para buques de más de 20MW esta opción es rentable para casi todos los buques para cumplir con la normativa de reducción de emisiones de azufre.

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

En la siguiente gráfica podemos ver el porcentaje de buques a los que le es rentable montar scrubbers dependiendo si son de nueva construcción o reacondicionados y dependiendo también de la potencia del motor. [10]



Gráfica 2. Buques donde es rentable montar scrubbers.

Una de las valoraciones a tener en cuenta es el tiempo que se tarda en la instalación de estos sistemas de reducción de emisiones de SO_x . Ya que se necesita que el barco entre en dique seco para llevar a cabo la instalación. Aparte, otro de los inconvenientes es tener disponibilidad en el astillero para poder varar el buque. Por este motivo, las empresas están diseñando un sistema de lavadora modular, en el que el scrubber se ensambla fuera del buque y se instala directamente. Esto hace que el tiempo de montaje se reduzca más o menos en 1/3 del tiempo que se tarda en montar una lavadora de gases convencional. Este tipo de montaje hace que el buque pase el menor tiempo posible en el astillero. Teniendo en cuenta estos datos, este tipo de montaje, aunque sea más caro el aparato en sí, los costes de instalación se reducen debido a que el buque pasa menos tiempo en astillero y está menos días inoperativo. [29]

Hay ejemplos de empresas, como la naviera danesa “DFDS Seaways” que invierte en pruebas con scrubber teniendo previsto realizar una inversión de 100 millones de euros para instalar depuradores de azufre en sus 21 buques para poder adaptarse a esta normativa mediambiental. Esto quiere decir que el coste medio de la instalación es de 5,4 millones de euros por buque. [30]



Ilustración 16. Instalación scrubber en buque de la Naviera "DFDS Seaway"

6.3 Coste adecuación a gas.

Cuando hablamos de combustible como gas, nos referimos principalmente al LNG, ya que el resto de los gases utilizados como combustibles son tan minoritarios que no se consideran. Actualmente, un porcentaje muy pequeño de buques utilizan el LNG como fuente de alimentación para sus motores, los principales consumidores son los propios buques gaseros que cuentan con el gas a bordo durante el transporte y es más fácil consumir ese producto que otro.

Con este cambio de normativa, se espera que la flota de buques gaseros aumente a partir de 2020 entre un 20% y un 30% con respecto al año 2012. Esto se debe a que cada vez más barcos empiezan a consumir LNG, aparte del consumo que supone la incorporación de estos nuevos buques transportistas de gas.

Con la ayuda de un modelo GloTraM, donde se valora varios factores como el desarrollo socioeconómico, los precios del LNG, costes que suponen los motores LNG, tanques necesarios para el almacenamiento y equipos adicionales requeridos, costos de tecnologías requeridas (depuradores), espacios para alojar los tanques de LNG, impacto

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

en la autonomía, la potencia que requiere el buque y el cumplimiento de la normativa necesario.

Cogiendo como guía los factores señalados anteriormente y basándonos en el modelo generado por GloTraM, podemos concluir que no es rentable reacondicionar un buque a consumir LNG ya que los costes de inversión son muy elevados. Esto requiere una modificación de las tuberías existentes, tanques destinados a almacenar el LNG licuado que se va a consumir, motores adaptados para poder quemar este combustible, entre otros muchos factores, que no hacen de la adaptación una opción viable.

En todo caso, lo más rentable será instalar estos sistemas en buques de nueva construcción. Donde se distribuyan de manera inicial los espacios destinados para estos sistemas adicionales que lleva consigo el uso de LNG como combustible. En la siguiente tabla obtenemos el coste que supone la implantación de sistemas de gas en buques de nueva construcción.

Descripción	Costes de inversión
Motores de doble combustible de GNL + sistema de almacenamiento de GNL	1,40 millones de USD por MW

Tabla 9. Costes de instalación de sistemas de LNG para buques de nueva construcción

Si tenemos en cuenta el espacio que ocupan estos sistemas, se estima que la reducción de espacio es tal, que se perderán en torno a 0,09 toneladas de capacidad de carga por MWh de energía almacenada. Este dato es relevante ya que afecta al rendimiento energético y económico del buque. Teniendo estos datos en cuenta el parámetro financiero que se obtiene para las nuevas construcciones de LNG son muy elevados. [10]

Tasa de descuento	5%
Tiempo de vida	30 años
Período de amortización	3 años

Tabla 10. Parámetros financieros para nuevas construcciones de LNG

Aparte de los costes asociados a la implantación de los sistemas para consumir gas, otro de los problemas previstos son las restricciones en la potencia de los motores. Para el caso

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

de grandes petroleros y cruceros esta opción no es viable debido a la potencia que estos motores desarrollan, un motor de gas tiene una limitación de utilización de más o menos 35MW. [31]

Con lo expuesto anteriormente, podemos resumir que los principales consumidores de LNG van a seguir siendo los buques encargados de su transporte. Los buques existentes que quieran consumir este combustible tendrán que disponer de espacios suficientes para albergar todos los sistemas asociados, además de tener que pagar un precio elevado por la adquisición, instalación y mantenimiento de estos sistemas. Por lo tanto, disponer de LNG como un combustible de bunker todavía no es viable.

7. LA NAVEGACIÓN DE CARA AL FUTURO

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

7. LA NAVEGACIÓN DE CARA AL FUTURO

Dadas las regulaciones cada vez más estrictas de las emisiones emitidas a la atmósfera y la futura escasez de los combustibles fósiles ya que son una fuente agotable y del que realmente no sabemos cuál es su periodo de duración, debemos ir optando por sistemas que incluyan parcial o totalmente energías renovables para mover los grandes buques. En este apartado hemos puesto cara al futuro valorando este tipo de energías que poco a poco van introduciéndose en el mercado naviero.

7.1 Barco con velas

Una empresa española ha querido dar solución al problema del consumo del combustible basándose en que los 16 buques más grandes del mundo emiten tantas emisiones de azufre como la flota mundial de coches.

Para ello, han diseñado un sistema de velas rígidas orientables, donde la vigilancia por parte de la tripulación no es necesaria. El sistema implementado para dicha vela es capaz de hacer un estudio del viento en ese mismo instante y se orienta para un aprovechamiento total del mismo. Además, estas velas son retráctiles, ya sea para disminuir la superficie de vela expuesta o para pasar por debajo de obstáculos.

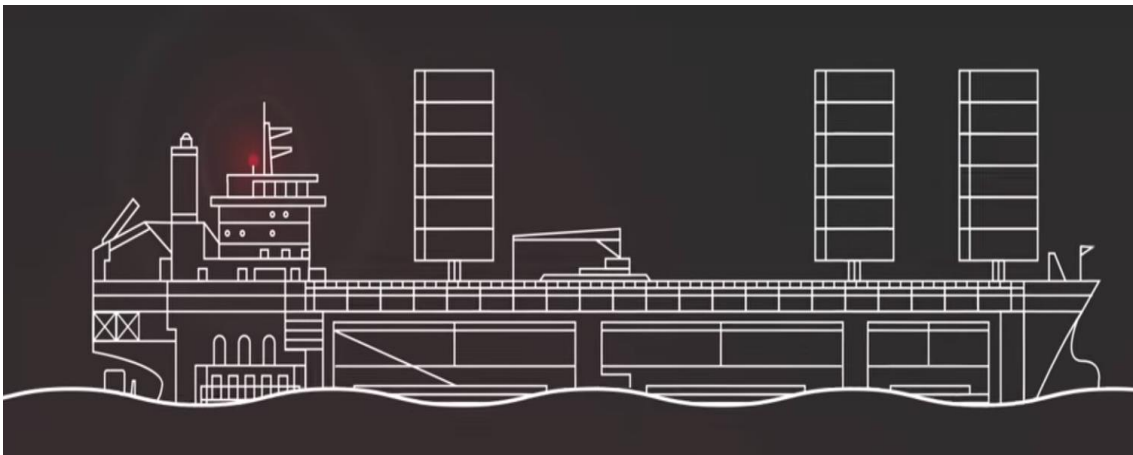


Ilustración 17. Buque con velas orientables

Esta empresa según un estudio realizado, ofrecen reducciones entre el 10% y el 40% del combustible, dependiendo del tamaño del barco, la carga que lleve en ese momento y las condiciones climatológicas. Aseguran, que este sistema propuesto puede instalarse en el 85% de la flota mundial.

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

Esta empresa ya ha empezado con su proyecto instalando este tipo de sistema de velas en un buque pesquero de Vigo, donde su armador, debido al inestable precio de los combustibles a encontrado una vía de escape con este tipo de energía alternativa.



Ilustración 18. Barco pesquero con vela orientable

Otro de sus proyectos es el barco “*la Fura dels Baus*”, se trata de un buque de 70 metros de eslora perteneciente a una compañía de teatro que realiza sus giras y actuaciones a bordo. [32]



Ilustración 19. Simulación del carguero "La Fura dels Baus" con velas

7.2 Barcos eléctricos

En la actualidad vemos vehículos terrestres eléctricos, lo que hacen unos años nos parecía impensable. Hoy en día, podemos incluso a hablar de que empiezan a aparecer los primeros barcos eléctricos.

Una compañía holandesa ha desarrollado un sistema de buque portacontenedor totalmente eléctrico, y que además, la recarga de sus baterías se realiza con energía verde. Estos barcos realizarán la ruta entre el puerto de Amberes, Ámsterdam y Rotterdam pudiendo transportar hasta 24 contenedores.



Ilustración 20. Barco eléctrico portacontenedores

Con el avance tecnológico que estamos experimentando cada vez es más fácil conseguir propósitos que hace una década eran inimaginables. Se ha desarrollado un tipo de batería, que instalada en los buques, representa solamente el 1% de su peso total y además se ha incrementado su capacidad de carga. Ahora un buque puede ir consumiendo energía de una batería desde Inglaterra a Francia de manera ecológica.

Estos avances tardarán más en llegar a los grandes buques para rutas transoceánicas, ya que no se contempla la idea de tener que atracar regularmente para cargar las baterías del buque para continuar con la travesía. Pero con los avances que se están consiguiendo no se descarta esta idea de cara al futuro. [33]

Cabe destacar que en el momento que se produzca este paso al avance de los buques eléctricos no va a ser fácil, ya que, debe existir una cooperación por parte de los puertos para montar infraestructuras para poder realizar la recarga de los barcos, al igual que un compromiso por parte de los navieros para operar con buques 100% eléctricos, lo que supondrá cambios en sus rutas comerciales, que a su vez supondrá un costo que tendrá que ser subvencionado y recibir incentivos fiscales para llevar a cabo este cambio. [34]

7.3 Barcos alimentados con placas solares

Al igual que pasa con las energías en procesos de desarrollo, el uso de placas solares para alimentación de los barcos es una realidad para pequeños buques, pero una incertidumbre de cara al futuro. Estas energías tienen que desarrollarse y buscar métodos efectivos para poder utilizarlas de manera funcional y aportando ciertas seguridades.

En la actualidad, hay empresas, en este caso españolas, que apuestan por el uso de pequeñas embarcaciones que sirven para realizar recorridos turísticos por diferentes ríos, pantanos o puertos. Esto permite conocer transitar el lugar sin producir un impacto en la naturaleza, tanto acústico o contaminación.



Ilustración 21. Barco solar Pantano del Tranco (Jaén)

Los paneles solares le proporcionan a este barco una energía de 4650 Wp, dirigida a los motores directamente o al almacenamiento en las baterías para su consumo los días que

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

los rayos de sol no incidan sobre las placas solares. Con esta potencia consigue desarrollar una velocidad de 7 nudos y transportar un total de 60 personas a bordo.

A lo largo de su vida útil, alrededor de 25 años, este barco dejara de consumir 1000 Toneladas de diésel. [35]

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

8. CONCLUSIONES

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

8. CONCLUSIONES

Debido al impacto medioambiental que producen las emisiones de azufre, se ha tenido que elaborar una normativa que permita disminuir la cantidad de este contaminante que se emite a la atmósfera.

Puesto que los buques son uno de los principales culpables de las emisiones de azufre, la *Organización Marítima Internacional*, ha tomado la decisión, respaldado por diferentes organismos, de hacer una reducción significativa en el porcentaje de azufre en los combustibles consumidos por la flota mundial.

Con estas regulaciones, aparte de mejorar el entorno se reducirán el número de fallecimientos y de enfermedades cardiovasculares y pulmonares producidas por el contacto con el SO_x al que la población está expuesta.

Los armadores de los buques tienen que adaptarse, tomando decisiones sobre que alternativa expuesta es más rentable y eficaz de acuerdo con su flota, para atender a la normativa y que esto no le lleve a pérdidas millonarias.

Por otra parte, las refinerías deben ampliar sus infraestructuras para poder hacer frente a la futura demanda de combustibles, relativamente nuevos, que hoy en día no producen. Suponiendo costes elevados en su instalación y periodos de amortización de medio a largo plazo.

Las evidencias mostradas anteriormente demuestran que la normativa impuesta por la OMI es necesaria desde el punto de vista ecológico, ya que realmente afecta a la salud de las personas.

Como respuesta a la pregunta formulada, que da título a este trabajo. “¿Estamos preparados?”.

Se debe tener en cuenta el plazo reducido de tiempo en el que los armadores deben adecuar sus buques, también el plazo en el que las refinerías tienen que ampliar sus infraestructuras y la capacidad que tienen los astilleros para poder albergar a los buques que quieren cumplir la normativa instalando lavadora de gases.

Por lo tanto, podemos concluir, que la normativa puede llevarse a cabo siempre y cuando los medios permitan a los armadores estar preparados en el momento que entre en vigor la normativa el 1 de enero de 2020.

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

9. CONCLUSIONS

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

9. CONCLUSIONS

Due to the environmental impact produced by sulphur emissions, it has been necessary to draw up regulations to reduce the amount of this pollutant emitted into the atmosphere.

Since ships are one of the main culprits of sulphur emissions, the International Maritime Organisation has taken the decision, supported by different bodies, to make a significant reduction in the percentage of sulphur in the fuels consumed by the world fleet.

With these regulations, in addition to improving the environment, the number of deaths and the number of cardiovascular and pulmonary diseases produced by contact with SO_x to which the population is exposed Will be reduced.

Shipowners have to adapt, making decisions about wich alternative is more profitable and efficient according to their fleet, to comply with the regulations and that this does not lead to losses of millions.

On the other hand, refineries need to expand their infrastructure in order to meet future demand for relatively new fuels that they do not currently produce. Assuming high installation costs and médium to long term amortization periods.

The evidence shown above shows that the regulation imposed by the IMO is necessary from an ecological point of view, as it actually affects people's health.

In response to the question asked, which gives title to this work. “Are we ready?”.

Account must be taken of the reduced time taken by shipowners to adapt their ships, the time taken by refineries to expand thair insfrastructure and the capacity of shipyards to accomodate ships that want to comply with the regulations by installing gas scrubbers.

Therefore, we can conclude that the regulation can be carried out as long as the means allow shipowners to be ready when the regulation enters into force on 1 January 2020.

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

BIBLIOGRAFÍA

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

BIBLIOGRAFÍA

Páginas web

- [1] LARA. V. “La historia de la primera torre de extracción de petróleo”. [online] Hipertextual. Disponible en: <https://hipertextual.com/2015/04/torre-de-extraccion-historia>
- [3] "Motores De Combustión Interna: Una Historia De Ayer Contada Hoy", *Mundo del motor*. [online]. Disponible en: <https://www.mundodelmotor.net/motores-de-combustion/>
- [4] "Motor diésel marino - NAVEGACIÓN", *Sites.google.com*. [online]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/lanavegacionyelmar/home/el-barco/motor-diesel-marino>
- [8] "Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL)", *Imo.org*. [online]. Disponible en: [http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
- [9] "Zonas ECA", *Ingmaritima.blogspot.com*. [online]. Disponible en: <http://ingmaritima.blogspot.com/2017/06/zonas-eca.html>
- [12] IMANOL "Refino del petróleo (VII): Craqueo Catalítico, FCC", *Ingenieriaquimica.net*, 2013. [online]. Disponible en: <http://www.ingenieriaquimica.net/articulos/320-refino-del-petroleo-vii-craqueo-catalitico-fcc>
- [17] ESTRUCPLAN "Scrubbers – Estructplan", *Estructplan.com.ar*, 2003. [online]. Disponible en: <https://estructplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p-efluentes-liquidados-y-gaseosos/scrubbers/>
- [18] WÄRTSILÄ "Wärtsilä Open Loop Scrubber System", *Wartsila.com*. [online]. Disponible en: <https://www.wartsila.com/marine/build/exhaust-treatment/sox-abatement/wartsila-open-loop-scrubber-system>
- [19] WÄRTSILÄ "Wärtsilä Closed Loop Scrubber System", *Wartsila.com*. [online]. Disponible en: <https://www.wartsila.com/marine/build/exhaust-treatment/sox-abatement/wartsila-closed-loop-scrubber-system>

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

[20] WÄRTSILÄ "Wärtsilä Hybrid Scrubber System", *Wartsila.com*. [online]. Disponible en: <https://www.wartsila.com/marine/build/exhaust-treatment/sox-abatement/wartsila-hybrid-scrubber-system>

[22] OMI “Azufre 2020: reduciendo las emisiones de oxido de azufre”, *imo.org*. [online]. Disponible en: <http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/Sulphur-2020.aspx>

[23] NED M. “IMO 2020 effect disrupts fuel oil contract renewals”, *petroleum-economist.com*. [online]. Disponible en: <https://www.petroleum-economist.com/articles/midstream-downstream/transport/2019/imo-2020-effect-disrupts-fuel-oil-contract-renewals>

[24] EXXONMOBILE. “What does IMO’s 0,50% Sulphur cap decisión mean for the bunker supply chain?”, *exxonmobile.com*. [online]. Disponible en: <https://www.exxonmobil.com/en/marine/technicalresource/news-resources/imo-sulphur-cap-and-mgo-hfo>

[26] NICHOLAS K. (21 mayo 2019) “Uncertainty over fuel compatibility “keeping marine engineers awake at night”, says S&P Global Platts”. *Bunkertrust.com*. [online]. Disponible en: <http://bunkertrust.com/uncertainty-over-fuel-compatibility-keeping-marine-engineers-awake-at-night-says-sp-global-platts/>

[27] NICHOLAS K. (27 junio 2019) “ICS concerned about the lack of an ISO Publicly Available Specification for IMO-2020 grade fuels”. *Bunkertrust.com*. [online]. Disponible en: <http://bunkertrust.com/ics-concerned-about-the-lack-of-an-iso-publicly-available-specification-for-imo-2020-grade-fuels/>

[29] SPANISHPORTS (11 mayo 2018) “Wärtsilä trabaja en un kit para la instalación rápida de scrubbers en los buques”. *Spanishports.es*. [online]. Disponible en: <http://www.spanishports.es/texto-diario/mostrar/1077134/wrtsil-trabaja-kit-instalacion-rapida-scrubbers-buques>

[31] ALFALAVAL, “Los combustibles marinos en la era baja en azufre”. *Alfalaval.es*. [online]. Disponible en: <https://www.alfalaval.es/industrias/marina-y-transporte/marina/tratamiento-de-aceite/fuel-line/marine-fuels-in-the-low-sulphur-era/>

[33] JESS S. (20 marzo 2018) “¿Son los buques eléctricos el futuro del transporte marítimo?”. Dw.com. [online]. Disponible en: <https://www.dw.com/es/son-los-buques-el%C3%A9ctricos-el-futuro-del-transporte-mar%C3%ADtimo/a-43050817>

[34] RAUL V. (29 septiembre 2017) “ “BUQUE DEL FUTURO”: Gas Natural (LNG) o “ELECTRICIDAD” ”. Exponav.org. [online]. Disponible en: <https://www.exponav.org/buque-del-futuro-gas-natural-lng-o-electricidad/>

[35] SOLEMAR (02 agosto 2016) “Barcos impulsados por energía solar”. Saclimafotovoltaica.com. [online]. Disponible en: <http://www.saclimafotovoltaica.com/barcos-solares-2/>

Trabajos y Tesis doctoral

[2] S. CHOW, "I. HISTORIA DEL PETRÓLEO", *Bibliotecadigital.ilce.edu.mx*, 2019. Disponible en:

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_7.html

[5] J. MARTINEZ y I. BELTRÁN, "Riesgos de la contaminación atmosférica en la salud", *Repositorio.ual.es*, 2013. Disponible en: <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/2472/Trabajo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[11] L. CEBALLOS, KEYDI J., M^a. DUGARTE, M. GUTIERREZ, CINTIA P. “Proyecto de química industrial I”. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Disponible en: http://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Quimica_Industrial/16.pdf

[14] MIHAELA SIN. “análisis de la implementación de combustibles con bajo contenido en azufre en el tráfico marítimo en el Mar del Norte”. (2012). Facultat de Nàutica de Barcelona. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19594/TFC_MihaelaSin_DMN.pdf

[15] CHRISTIAN RAMOS, GARY J., EDUARDO PEÑA. “Obtención de GNL y regasificación”. Santa Cruz de Bolivia: Universidad Autónoma “Gabriel Rene Moreno”. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/230569918/Obtencion-de-GNL-y-Regasificacion>

[16] WENDY J. PLATA “Planta de procesamiento de Gas Natural”. Facultad de Ingeniería. Universidad Mayor de San Andrés. Disponible en: <https://es.slideshare.net/wendyplatacruz/procesamiento-de-gas-natural>

Revistas

[30] PUERTOS Y NAVIERAS, “La UE subvenciona a la naviera DFDS para que instale scrubbers en sus buques”, *puertosynavieras*, [revista online]. Jun 2014. Disponible en: <http://www.puertosynavieras.es/noticias.php/La-UE-subvenciona-a-la-naviera-DFDS-para-que-instale-scrubbers-en-sus-buques-cl.-union-europea-azufre/42801>

[32] MARUXA R. “Los barcos del futuro volverán a ser veleros”. *Elfuturoesapasionante.elpais.com*. [revista online]. Mar 2018 disponible en: <https://elfuturoesapasionante.elpais.com/los-barcos-del-futuro-volveran-veleros/>

Informes

[6] Centro Nacional del Medio Ambiente, "Efectos del SO₂ en la salud de las personas", Chile. Disponible en: http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2015/proyectos/VI_Efectos_del_SO2_en_la_salud_de_las_personas.pdf

[7] J. CORBETT, J. WINEBRAKE, E. CARR, J.P. JALKANEN, L. JOHANSSON, M. PRANK, M. SOFIEV, "Health Impacts Associated with Delay of MARPOL Sulphur Standars", Finnish Meteorological Institute, Finland, MEPC 70, INF. 34, 2016. Disponible en: <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/Finland%20study%20on%20health%20benefits.pdf>

[10] J. FABER, A. SINGH, "Assessment of fuel oil availability - final report", CE Delft, código de publicación 16.7G68.71, 2016. Disponible en: <https://umas.co.uk/LinkClick.aspx?fileticket=gvy87tn5wdU%3d&portalid=0>

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

[13] *Datos de Seguridad Gas Oil Marino*, Edición nº3. SHELL España, Madrid, 2004.

Disponible en: <http://www.ecosmep.com/cabecera/upload/fichas/4902.pdf>

[25] *Especificación técnica buque*, Doc.00.6 Rev.: 000. Distribuidora Marítima Petrogas, S.L.U., Santa Cruz de Tenerife, España. Disponible en:

<http://www.petrogas.es/flota/pdf/TINERFEweb.pdf>

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. E. Drake junto a la primera torre de extracción de petróleo. Fuente: <https://hipertextual.com/2015/04/torre-de-extraccion-historia>

Ilustración 2. Primer Motor Rudolf Diesel. Fuente: <http://pepeworks.blogspot.com/2010/07/rudolf-diesel-biografia-cronologia-obra.html>

Ilustración 3. Petrolero Ruso “Vandal”. Fuente: <https://www.microsiervos.com/archivo/tecnologia/barcos-electricos.html>

Ilustración 4. Contaminación de SO_x por los buques. Fuente: <http://ingmaritima.blogspot.com/2018/11/regulacion-omi-azufre-2020.html>

Ilustración 5. Acidificación de los océanos. Fuente: <https://porelclima.es/equipo/2360-acidificacion-de-los-oceanos-un-grave-problema#>

Ilustración 6. Mapa de Zonas ECA. Fuente: <http://ingmaritima.blogspot.com/2017/06/zonas-eca.html>

Ilustración 7. Planta de desulfuración del Fuel Oil por hidrot ratamiento. Fuente: http://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Quimica_Industrial/16.pdf

Ilustración 8. Estación de hidrot ratamiento. Fuente: http://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Quimica_Industrial/16.pdf

Ilustración 9. Reactor catalítico en lecho fluido (FCC). Fuente: <http://www.ingenieriaquimica.net/articulos/320-refino-del-petroleo-vii-craqueo-catalitico-fcc>

Ilustración 10. Especificaciones del Marine Gas Oil. Fuente: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19594/TFC_MihaelaSin_DMN.pdf

Ilustración 11. Torre de lavado por rocío. Fuente: <https://estrucplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p-efluentes-liquidos-y-gaseosos/scrubbers/>

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

Ilustración 12. Torre de lavado efecto Venturi. Fuente: <https://estrucplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p-efluentes-liquidados-y-gaseosos/scrubbers/>

Ilustración 13. Esquema de un scrubber ciclo abierto. Fuente: www.egcsa.com

Ilustración 14. Esquema de un scrubber híbrido. Fuente: www.wartsila.com

Ilustración 15. Proceso de “Bunkering”. Fuente: <https://www.puentedemando.com/el-sector-del-bunkering-de-ibia-se-reune-en-tenerife/>

Ilustración 16. Instalación scrubber en buque de la Naviera “DFDS Seaway”. Fuente: <https://www.slideshare.net/jornw1/aalborg-industries-presentation-scrubber>

Ilustración 17: Buque con velas orientables. Fuente: https://www.youtube.com/watch?time_continue=162&v=fjj-bOIhoSE

Ilustración 18. Barco pesquero con vela orientable. Fuente: <https://www.farodevigo.es/economia/2018/08/09/sera-pesquero-gallego-convertira-primer/1942211.html#>

Ilustración 19. Simulación del carguero “La Fura dels Baus” con velas. Fuente: <https://innovadores.larazon.es/es/not/una-vela-rigida-para-la-nueva-gira-en-barco-de-la-fura-del-baus>

Ilustración 20. Barco eléctrico. Fuente: <https://www.dw.com/es/son-los-buques-el%C3%A9ctricos-el-futuro-del-transporte-mar%C3%ADtimo/a-43050817>

Ilustración 21. Barco solar Pantano del Tranco (Jaén). Fuente: <http://www.saclimafotovoltaica.com/barcos-solares-2/>

ÍNDICE DE TABLAS

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Establecimiento de Zonas ECA. Fuente propia

Tabla 2. Precios de los combustibles (USD/Ton excepto Brent). Fuente: <https://stratasadvisors.com/>

Tabla 3. Especificaciones básicas del buque “*Tinerfe*”. Fuente: www.petrogas.es

Tabla 4. Motor Principal y Motores Auxiliares del buque “*Tinerfe*”. Fuente: www.petrogas.es

Tabla 5. Consumos del buque “*Tinerfe*”. Fuente: www.petrogas.es

Tabla 6. Diferencia de precio de los combustibles para buque “*Tinerfe*”. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Costes montaje de Scrubbers. Fuente: <https://www.ce.nl/>

Tabla 8. Parámetros financieros Scrubbers. Fuente: <https://www.ce.nl/>

Tabla 9. Costes de instalación de sistemas de LNG para buques de nueva construcción. Fuente: <https://u-mas.co.uk/LinkClick.aspx?fileticket=gvy87tn5wdU%3d&portalid=0>

Tabla 10. Parámetros financieros para nuevas construcciones de LNG. Fuente: <https://u-mas.co.uk/LinkClick.aspx?fileticket=gvy87tn5wdU%3d&portalid=0>

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

ÍNDICE DE GRÁFICAS

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Contaminación por emisiones de SO_x en ciudades portuarias. Fuente: <https://es.statista.com/grafico/18395/emisiones-de-cruceros-y-automoviles-en-ciudades-portuarias-europeas/>

Gráfica 2. Buques donde es rentable montar scrubbers. Fuente: <https://www.ce.nl/>

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

ACRÓNIMOS

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”

ACRÓNIMOS

EGCS: Exhaust Gas Cleaning System

GEI: Gases Efecto Invernadero

OMS: Organización Mundial de la Salud

OMI: Organización Marítima Internacional

MARPOL: Convenio Internacional para prevenir la Contaminación por los Buques

FMI: Fondo Monetario Internacional

GloTraM: Global Transport Model

GNL: Gas Natural Licuado

MEPC: Comité de Protección del Medio Marino

EEDI: Energy Efficiency Design Index

HDT: Hidrotratamiento

FCC: Fluid Catalytic Cracking

HDS: Hidrodesulfuración

AIE: Agencia Internacional de la Energía

MGO: Marine Gas Oil

HFO: Heavy Fuel Oil

HSFO: Heavy Sulphur Fuel Oil

OPEP: Organización de Países Exportadores de Petróleo

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

MP: Motor Principal

MMAA: Motores Auxiliares

LSFO: Low Sulphur Fuel Oil

VLSFO: Very Low Sulphur Fuel Oil

“RETO OMI 2020. ¿ESTAMOS PREPARADOS?”