



Escuela Politécnica Superior de Ingeniería
Sección de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval.

**Trabajo de Fin de Grado para la obtención del
título de Tecnologías Marinas.**

Cambio de combustible según normativa OMI. Buque Volcán de Taburiente.

Edgar Hernández Martín

Junio 2020

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.

La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Dr. D. Alexis Dionis Melián, Profesor titular del Área de Construcción Naval, perteneciente al Departamento de Ingeniería Agraria Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna certifica que:

D. Edgar Hernández Martín con DNI 54113419-P, ha superado las asignaturas de los cuatro cursos del grado en Tecnologías Marinas, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado:

Cambio de combustible según normativa OMI. Buque Volcán de Taburiente

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife, a 24 de junio del 2020

Fdo: Alexis Dionis Melián

Director de Trabajo Fin de Grado

3

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Dr. D. Alexis Dionis Melián, Profesor titular del Área de Construcción Naval, perteneciente al Departamento de Ingeniería Agraria Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna certifica que:

D. Edgar Hernández Martín con DNI 54113419-P, ha superado las asignaturas de los cuatro cursos del grado en Tecnologías Marinas, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado:

Cambio de combustible según normativa OMI. Buque Volcán de Taburiente

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife, a 24 de junio del 2020

Fdo: Alexis Dionis Melián

Director de Trabajo Fin de Grado

5

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

ÍNDICE

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

ÍNDICE	7
Índice de ilustraciones.....	7
Índice de tablas.....	8
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Introducción.....	14
1.2. Abstract.....	14
II. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo General	19
2.2. Objetivos específicos	19
III. REVISIÓN Y ANTEDECENTES.....	22
3.1 Origen del Dióxido de Azufre.....	22
3.2 Combustible Marino.....	22
3.2.1. Tipos de combustible marino.....	23
3.3. Reducción de emisiones de azufre. Alternativa.....	23
3.3.1. Cambio de combustible.....	23
3.3.2. Torre de lavado.....	23
3.3.3. Hidrotratamiento del combustible.....	23
IV. MATERIAL Y METODOLOGÍA	31
4.1. Material.....	32
4.1 Descriptiva de la Sala de máquinas Buque “Volcán de Taburiente”.....	32
4.2 Metodología.....	31
V. RESULTADOS.....	41
5.1 Plan de adaptación de la normativa vigente.....	41
5.1.1. Comportamiento y cuidado del combustible.....	42
5.2 Elementos y sistemas de combustible del buque.....	42
5.2.1 Tanques de Almacenamiento de combustible.....	42
5.2.2. Purificación de combustible.....	42
5.3.3. Módulo de Combustible.....	42
5.3.4 Bomba de inyección.....	41
5.3.5 Inyector.....	42
5.4. Evaluación del sistema de combustible respecto al cambio.....	41
5.5. Cambios realizados para la adaptación a la normativa OMI.....	41
5.6. Averías o mejoras posteriores a la adaptación al cambio.....	42
5.6.1 Filtros de combustible.....	42
5.6.2. Parámetros previos y posteriores al cambio.....	41
	10

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
 La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

5.6.3. Mejoras en Inyectores.....	42
VI. CONCLUSIONES.....	42
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	42

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: "Buque propulsado por un combustible marino FO"	22
Ilustración 2: "Instalación de una Torre de lavado en un buque tipo ro-ro"	23
Ilustración 3: "Ciclo de Hidrotratamiento de Naftas"	23
Ilustración 4: "Buque Volcán de Taburiente"	32
Ilustración 5: "Disposición general del buque"	31
Ilustración 6: "Cubierta 1 del Buque Volcán de Taburiente"	32
Ilustración 7: "Cubierta 2 del Buque Volcán de Taburiente"	32
Ilustración 8: "Sección longitudinal de la Sala de Máquinas y salida de exhaustación"	31
Ilustración 9: "Motor principal"	31
Ilustración 10: "Motor auxiliar"	32
Ilustración 11: "Plano de válvulas de consumo y trasiego de Fuel-oil"	31
Ilustración 12: "Depuradora de Fuel-oil"	32
Ilustración 13: "Módulo de combustible"	32
Ilustración 14: Significado márgenes parciales	41
Ilustración 15: Curvas límites CCAI	42
Ilustración 16: Especificaciones del fuel oil pesado	41
Ilustración 17: Viscosidad hoja de temperatura	42
Ilustración 18: Plano de Servicio de trasiego y purificación combustible	41
Ilustración 19: Bombas y línea de Trasiego	42
Ilustración 20: Bomba de alimentación de depuradora FO	41
Ilustración 21: Parte superior depuradora FO	41
Ilustración 22: Depuradora de FO	41
Ilustración 23: Plano alimentación de combustible	41
Ilustración 24: Panel módulo de combustible	42
Ilustración 25: Bombas de alimentación del módulo	41
Ilustración 26: Bomba booster del módulo	41
Ilustración 27: Despiece bomba de inyección	41
Ilustración 28: Despiece de un inyector	42
Ilustración 29: Interior tanque de combustible	41
Ilustración 30: Residuos tanque de combustible	41
Ilustración 31: Plano modificado del sistema de combustible	41
Ilustración 32: Línea trasiego sin modificación	41
Ilustración 33: Línea trasiego con modificación	41
Ilustración 34: Modificación aspiración bomba de combustible de la depuradora	41
Ilustración 35: Filtros dúplex de combustible Motores Auxiliares	41
Ilustración 36: Filtro nuevo de combustible para Motores Auxiliares	41
Ilustración 37: Limpieza de un inyector usado	42
Ilustración 38: Picada en una válvula de escape de una culata de MMAA	42

Índice de tablas

Tabla 1: "Características principales del buque Volcán de Taburiente"	32
Tabla 2: "Características del motor principal"	32
Tabla 3: "Características del motor auxiliar"	31
Tabla 4: Valores límites permitidos para el servicio de fuel oil en motores MaK	41
Tabla 5: Capacidad tanques de FO.....	42
Tabla 6: Capacidad de Tanques DO.....	42
Tabla 7: "Características básicas del VLSFO 0,5%"	41
Tabla 8: Parámetros previos y posteriores al cambio de combustible MMPP.	41
Tabla 9: Parámetros previos y posteriores al cambio de combustible MMAA.....	41

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

I. INTRODUCCIÓN

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.

La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

1.1. Introducción.

El trabajo realizado trata de representar una nueva forma de adaptación a la normativa implantada por la OMI para la reducción del contenido de azufre hasta 0,5% en los combustibles de los buques valorando la importancia y el impacto que implica cumplir dicha normativa.

En la primera parte se da paso a la comprensión acerca de los combustibles marinos y las distintas formas de poder adaptarse al nuevo cambio de normativa implantada a partir del 1 de enero del 2020 por la OMI.

La segunda parte recoge de una manera más detallada el tipo de buque al que se le va a realizar la adaptación a la nueva normativa, exponiendo los diferentes elementos existentes en la sala de máquinas. Se presentarán los sistemas y elementos de combustibles más importantes respecto a la adaptación al cambio de normativa.

Finalmente, el último capítulo recoge los resultados donde se presentará el proceso llevado a cabo para la adaptación al nuevo cambio, estudiando los elementos más afectados del sistema del combustible y observando las consecuencias obtenidas una vez cumplida la adaptación a la nueva normativa.

1.2. Abstract.

The degree project try to represent a new form of adaptation to the regulations introduced by the IMO for the reduction of sulphur content to 0.5% in ship fuels, assessing the importance and impact of complying with these regulations.

In the first part, we will understand marine fuels and the different ways to adapt to the new regulations introduced by the IMO as of 1 January 2020.

The second part includes a more detailed description of the type of ship that will be adapted to the new regulations, explaining the different elements that exist in the engine room. The most important systems and fuel elements will be presented with regard to adaptation to the change in regulations.

Finally, the last chapter includes the results where the process carried out for the adaptation to the new change will be presented, studying the most affected elements of the fuel system and observing the consequences obtained once the adaptation to the new regulations is completed.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

II. OBJETIVOS

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.

La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

2.1. Objetivo General.

El objetivo principal del trabajo de esta forma es la adaptación de un buque al nuevo convenio, cumpliendo la normativa aplicada a partir del año 2020 y consiguiendo así una reducción efectiva de las emisiones de óxidos de azufre.

2.2. Objetivos específicos.

1. Estudio de la adaptación óptima para el cumplimiento de la normativa OMI.
2. Enumerar los elementos y sistemas más afectados por la aplicación del cambio.
3. Modificación realizada para el cumplimiento de la normativa una vez realizado el estudio.
4. Posibles averías o mejoras obtenidas una vez realizado la adaptación a la normativa.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.

La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.

La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

3.1 Origen del Dióxido de Azufre

El dióxido de azufre es un gas incoloro, irritante, inflamable, ni explosivo, este gas es muy soluble, debido a que su contacto con el agua genera el ácido sulfúrico. Este gas tiene como vida media en la atmósfera de 2 a 4 días, por lo tanto, una parte de estas emisiones regresará a la superficie, mientras que otra parte se transformará en iones sulfato. Se convierte en trióxido de azufre si este está en contacto con el aire y la humedad. Durante su proceso de oxidación, este gas puede formar sulfatos. Además, es el responsable de la lluvia ácida y de importantes riesgos para la salud debido a los ácidos derivados del SO_2 .

El origen del SO_2 , es antropogénico. Se trata de un gas que es producido a través de la combustión de los diferentes hidrocarburos o combustibles fósiles con contenido en azufre. Es por eso por lo que la mayoría de las emisiones de este gas provienen del sector industrial. Además, en la naturaleza podemos encontrar grandes contenidos en las proximidades a los volcanes o en lugares donde se ha producido una erupción debido a que se liberan grandes cantidades. [1] [2]

3.2 Combustible Marino.

El combustible marino es denominado en la actualidad con el término 'bunkers' que es el utilizado en el inglés para denominar a los combustibles utilizados en los buques para su propulsión y consumo. [3]

Ilustración 1: "Buque propulsado por un combustible marino FO"



Fuente: [\(Ing. Marítima, s.f.\)](#)

24

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

3.2.1. Tipos de combustible marino.

- Combustible Residual: Es el obtenido una vez es realizado el proceso de refinación, donde se obtienen productos como el propano, butano, gasolina, gasóleo, aceites lubricantes, etc. Entre estos está el fuelóleo un líquido denso y difícil de manipular utilizado en buques.
- Combustible destilado: Es referido al Diesel o gasóleo, puesto que se trata de un combustible más limpio, más ligero y con una amplia facilidad para su uso. Como consecuencia su costo es prácticamente el doble del combustible residual. [3]

Podemos encontrar diferentes tipos de combustibles marinos dentro de estos dos tipos, como pueden ser el Fuelóleo pesado, Gasoil marino y el VLSFO entre otros.

- Fuelóleo pesado (HFO): es el término utilizado para denominar a los combustibles con una alta viscosidad y densidad. Es un combustible utilizado en el ámbito marino, principalmente en motores Diesel diseñados para media y baja velocidad. [4]
- Gasoil Marino (MGO): es perteneciente a los combustibles marinos destilados, que son los provenientes del crudo que ha sido fraccionado mediante un método de evaporación y condensación en fracciones líquidas, este componente es una mezcla de varios destilados y puede ser almacenado a temperatura ambiente sin ser calefactado. [5]
- Fuelóleo con bajo contenido en azufre (VLSFO): Es comprendido como un fuelóleo con un bajo contenido en azufre siendo el límite 0,5%. Perteneciente al tipo de hidrocarburos destilados y residuos de los combustibles, originados a través de crudos, fracciones desulfuradas, fracciones agrietadas, pesadas y ligeras, fracciones hidrotratadas y residuos de combustibles mezclados con destilados para cumplir con la normativa del límite de azufre. [6]

3.3. Reducción de emisiones de azufre. Alternativa.

3.3.1. Cambio de combustible.

El uso de un combustible con un menor contenido en azufre puede ser la solución principal, pero en ello recaen diferentes factores económicos y técnicos, que pueden ocasionar grandes problemas si la compatibilidad del combustible no es la adecuada para el uso en el motor.

3.3.2. Torre de lavado.

Una torre de lavado o Scrubber es un dispositivo instalado en el sistema de escape del motor, capaz de tratar los gases de escape con diferentes sustancias como el agua de mar, agua dulce tratada químicamente o sustancias secas, de esta forma se consigue eliminar la mayor cantidad posible de SO_x y partículas en suspensión (PM) en los gases de escape. [7]

Ilustración 2: “Instalación de una Torre de lavado en un buque tipo ro-ro”

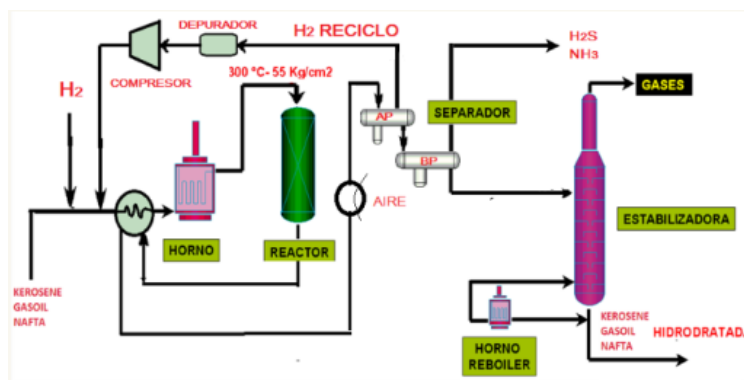


Fuente: (Laval, s.f.)

3.3.3. Hidrotratamiento del combustible.

Se trata de un proceso químico catalítico usado principalmente para la reducción del azufre en productos obtenidos del petróleo y gas natural, aunque pueda remover contaminantes como el nitrógeno, oxígeno y metales. El hidrotratamiento es utilizado en la industria petroquímica principalmente, para tratamientos con el hidrógeno (H₂) y junto a la presencia de un catalizador y en condiciones óptimas para el proceso, se obtienen productos de mayor calidad y más ligeros. [8]

Ilustración 3: “Ciclo de Hidrotratamiento de Naftas”



Fuente: (El petroleo y sus avances, s.f.)

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

IV. MATERIAL Y METODOLOGÍA

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

4.1. Material.

Para el desarrollo del estudio del cambio de combustible según la normativa OMI hemos tomado el buque Volcán de Taburiente de la compañía Naviera Armas como modelo. Este es un barco de tipo Ro/Ro dedicado al transporte de pasaje y vehículos entre otros, en las Islas Canarias.

Ilustración 4: “Buque Volcán de Taburiente”



Fuente: (Trabajo de campo)

Tabla 1: “Características principales del buque Volcán de Taburiente”

Fecha de Construcción	Junio 2006
Matrícula	Santa Cruz de Tenerife
Número IMO	9348558
Indicativo / MMSI	ECKH – 224277000
Eslora total / perpendiculares, m	130,45 Mtrs
Manga de trazado, m	21,60 Mtrs
Puntal cubierta principal / superior, m	7,50 Mtrs
Rango de GM	1,5 a 3 Mtrs
Peso en rosca, t (acta estabilidad)	5779,6 Tns
Arqueo Bruto, GT / Arqueo neto, NT	12895 GT
Potencia MMPP (100% MCR)	4 x 4500 Kw
Hélices en Popa	2 variables

31

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
 La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

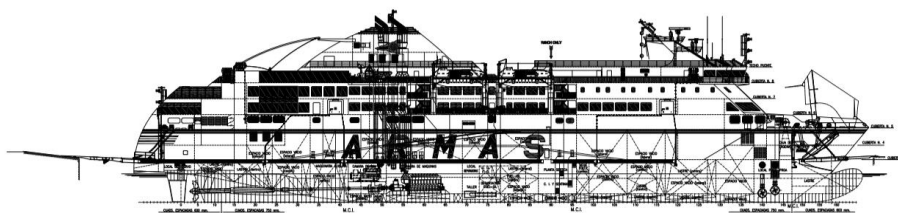
Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Hélices de proa	2 x 720 Kw
Velocidad MAXIMA	24 nudos
Generadores principales / emergencia, kW	900 kW
Timones (High angle and lower angle)	2
Estabilizadores	SI
Agua dulce, m³	62
Bombas Contraincendios principales	2
Bombas contraincendios emergencia	1
Botes de rescate	2
Botes salvavidas pescante, personas	4 x 150 PAX
M.E.S	2 Estribor + 2 Babor
Tripulación mínima / máxima	16 /34
Máxima carga	305 coches / 28 Trailers y 103 coches
Numero máximo de personas a bordo	1500

Ilustración 5: “Disposición general del buque”



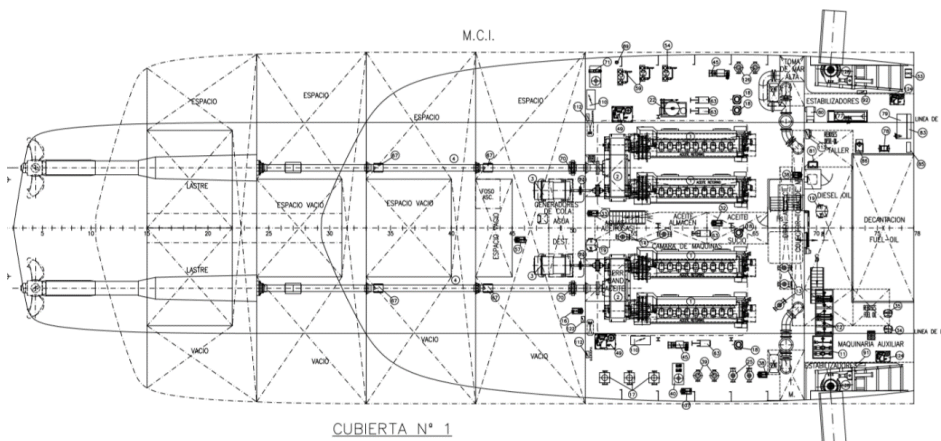
Fuente: (Hijos de J. Barreras S.A)

A continuación, se hará una breve descripción de la sala de máquinas del buque, lugar donde se focalizará el trabajo en su totalidad.

4.1 Descriptiva de la Sala de máquinas Buque “Volcán de Taburiente”.

En la cubierta 1, podemos encontrar los generadores de cola, acoplados a los motores principales mediante unas reductoras, además de los diferentes tanques de combustible, los estabilizadores y la diferente máquina auxiliar.

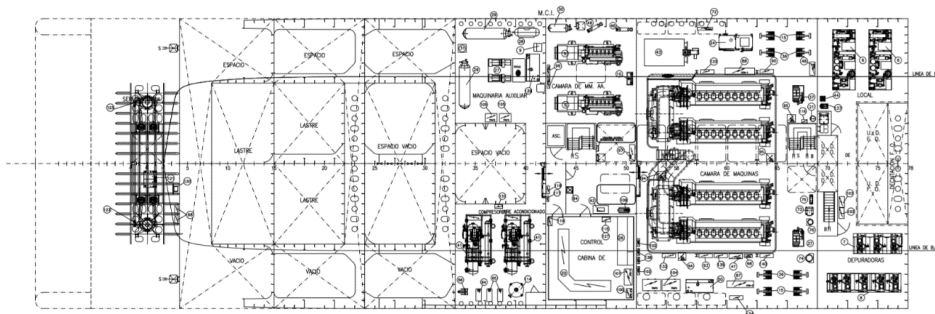
Ilustración 6: “Cubierta 1 del Buque Volcán de Taburiente”



Fuente: (Hijos de J. Barreras S.A)

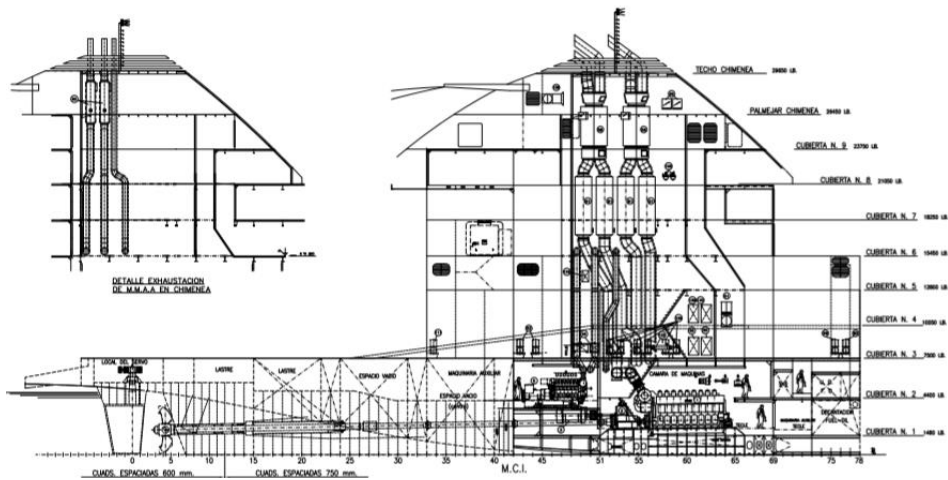
En la cubierta 2, podremos ver representado los dos motores auxiliares, conjunto con la zona de máquinas auxiliares que engloba a los compresores de aire de arranque y acondicionado, además de las depuradoras, el módulo de combustible y la cabina de control.

Ilustración 7: “Cubierta 2 del Buque Volcán de Taburiente”



Fuente: (Hijos de J. Barreras S.A)

Ilustración 8: “Sección longitudinal de la Sala de Máquinas y salida de exhaustación”



Fuente: (Hijos de J. Barreras S.A)

Teniendo en cuenta la disposición de la sala de máquinas, nos focalizaremos brevemente en mostrar los sistemas más importantes de la sala de máquinas con relación al combustible.

Empezamos con los motores principales y auxiliares, que en este caso el buque contará con 4 principales y 2 auxiliares con las especificaciones técnicas siguientes:

Ilustración 9: “Motor principal”



Fuente: (Trabajo de campo)

Tabla 2: “Características del motor principal”

Fabricante	Mak – Caterpillar
Modelo	M32C
RPM	600 rpm
Potencia Máxima	4500 kW
Nº de Cilindros	9 en línea
D. cilindros	320 mm
Carrera	480 mm
Cilindrada por cada cilindro	38.7 l

Fuente: Trabajo de campo

Ilustración 10: “Motor auxiliar”



Fuente: (Trabajo de campo)

Tabla 3: “Características del motor auxiliar”

Fabricante	Wärtsilä
Modelo	4L20
RPM	1200 rpm
D. cilindros	200 mm
Carrera	280 mm
Presión media efectiva	25 bar
Velocidad del pistón	11,2 m/s
Potencia nominal a 1000 rpm	1200 kW

Fuente: (Trabajo de campo)

En cuanto a sistemas relacionados con el sistema de combustible, nos encontramos la disposición de las válvulas de consumo y trasiego, con sus bombas correspondientes, que serán las encargadas de aspirar del tanque de almacén y llevarlo al tanque de sedimentación.

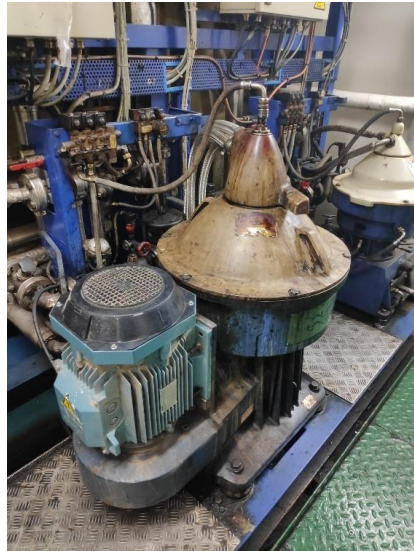
Ilustración 11: “Plano de válvulas de consumo y trasiego de Fuel-oil”



Fuente: (Trabajo de campo)

Una vez en el tanque de sedimentación, las depuradoras serán las encargadas de aspirar y llevar el combustible más purificado al tanque de diario.

Ilustración 12: “Depuradora de Fuel-oil”



Fuente: (Trabajo de campo)

Finalmente, nos encontramos con el módulo de combustible, encargado de aspirar del tanque de diario y llevarlo a los motores principales o auxiliares.

Ilustración 13: “Módulo de combustible”



Fuente: (Trabajo de campo)

4.2 Metodología.

La metodología tomada en el trabajo se ha llevado a cabo como alumno de máquinas del buque Volcán de Taburiente, puesto que, en dicho momento, he podido acceder a la información acerca de la adaptación del buque para cumplir la normativa OMI, exigida en el año 2020.

De esta forma he sido capaz de estar en casi todo el proceso del cambio de combustible obteniendo la información in situ mediante la ayuda de los oficiales, el jefe de máquinas y los manuales a bordo del buque.

Consiguiendo así un estudio y un entendimiento capaz de exponerlo como trabajo.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

V. RESULTADOS

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.

La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

En este capítulo, hablaremos sobre la adaptación que llevara a cabo el buque Volcán de Taburiente para cumplir la normativa establecida por el Anexo VI del convenio Marpol, para ello, como alumno de máquinas de dicho buque, expondré el trabajo de campo realizado para llegar a cabo dicho proceso y así poder cumplir con la normativa.

Es la regla 14 del Anexo VI del convenio Marpol “Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques” la que representa un cambio que se debe llevar a cabo a partir del 1 de enero del año 2020. Este cambio indica la obligación de disminuir las emisiones contaminantes de SOx por debajo de 0,5% fuera de las zonas ECAS.

Por este motivo, se llevará a cabo un plan de adaptación en el buque capaz de conseguir cumplir la normativa de mejor manera posible.

Como alumno de máquinas de este buque en la época en la que se produce dicho cambio, presentaré la adaptación y procedimientos que se han llevado a cabo en la sala de máquinas para conseguir dicho proceso. Además, se verán reflejados los posibles comportamientos de los diferentes sistemas tras la adaptación a la normativa.

Esta adaptación consistirá en aplicar un cambio en los tanques de combustible y en la línea de este, para ello se contará con un taller especializado, bajo la supervisión de los diferentes oficiales y jefe de máquinas para verificar el trabajo.

5.1. Plan de adaptación de la normativa vigente.

Para llevar a cabo el plan de adaptación y el motivo de la elección del cambio de combustible tenemos que estudiar y comprender porque se ha elegido este aspecto.

El buque Volcán de Taburiente está enfocado para el transporte de pasaje y carga rodada entre las Islas Canarias, por este motivo empezando a estudiar la adaptación, podemos encontrar una posible solución, como podría ser la implantación de una torre de lavado en la salida de los gases de escape.

Esta solución cobra inviabilidad en el momento que implica la instalación de un sistema que sobrepasa los límites de la capacidad y el espacio que existen en el buque, además del tiempo empleado provocando un retraso en la línea que lleva a cabo el buque. A la larga, podría cobrar viabilidad gracias al ahorro económico que esto supone, haciendo empleo de un IFO más barato, aunque la instalación del sistema sea más costosa.

Esta opción queda fuera desde el primer lugar, encontrando los motivos de capacidad como un mayor impedimento provocando buscar soluciones más sencillas.

El cambio a un combustible más limpio como el Gasoil marino, que cumpliría perfectamente la normativa podría ser un factor viable, pero al igual que el nuevo combustible VLSFO que se trata de un Fuel-oil bajo en azufre, habría que preparar todos los sistemas, limpiando los tanques de combustible y cambiando de la misma manera la línea del sistema.

De esta forma quedaría el enfrentamiento entre ambos combustibles, que al tener que realizar el mismo proceso para ambos, y ser el VLSFO más rentable económicamente. Para ello se hará un estudio del comportamiento de los combustibles en el motor y la estructura del sistema de combustible del buque.

5.1.1. Comportamiento y cuidado del combustible.

Para conocer el posible comportamiento de un nuevo combustible, hay que entender previamente las especificaciones del fabricante del motor acerca del uso del combustible en el mismo.

En los motores marinos Caterpillar / Mak solo están permitido dos tipos de combustibles: fuel oil pesado y el combustible destilado.

En cuanto al Fuel oil pesado, se denominan a los combustibles que están constituidos por aceites residuales y que se obtienen con la elaboración de aceites minerales.

En primer lugar, como requisito el combustible deberá ser una mezcla homogénea procedente de la elaboración del petróleo, no podrá estar compuesto por otro tipo de componente, como pueda ser (p. ej. Ácidos minerales, álcalis). Sí están permitidas pequeños aditivos que sirva para la mejora de la calidad del combustible. [9]

En segundo lugar, se debe conocer la estimación del comportamiento de encendido denominado CCAI (Calculates Carbon Aromaticity Index). Este indicador útil, se determina a partir de la densidad de (kg/m^3 para 15°C) y viscosidad V (mm^2/s ó cSt para 50°C) obteniendo la siguiente relación:

$$\text{CCAI} = D - 141 \log (V + 0,85) - 81$$

Cuanto más alto sea el CCAI, peor será el comportamiento de encendido. El CCAI no se trata de una medida del comportamiento de encendido sino de una ayuda, por lo que no se podrá indicar los valores límites absolutos.

A partir de la viscosidad, situación de equipamiento o la densidad podremos obtener una curva límite CCAI. De esta forma, podemos obtener la densidad aceptable permitida o la máxima de un combustible en función de su viscosidad.

La temperatura de referencia para los datos de viscosidad de un fuel oil pesado deberá ser 100°C.

Hay que tener en cuenta de esta forma, que existen limitaciones respecto a la densidad permitida de acuerdo con las curvas límites correspondientes CCAI.

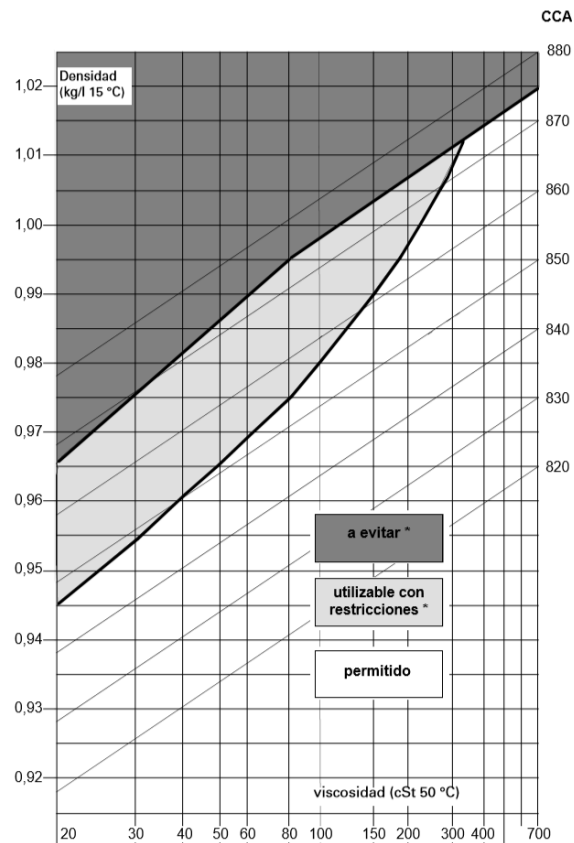
En la siguiente ilustración vemos como las diferentes características del combustible y el motor, nos definirán una curva límite CCAI inferior y otra superior, representando así el diagrama con sus diferentes significados. [9]

Ilustración 14: Significado márgenes parciales

	<p>Margen permitido ilimitado. Limitaciones por falta de calidades de encendido no esperables.</p>
	<p>Características de encendido en general aceptables. Combustibles problemáticos no pueden excluirse.</p>
	<p>Margen a evitar. Debe contarse con dificultades y hasta daños del motor.</p>

Fuente: (Manual técnico MAK serie 32C, Capítulo 4)

Ilustración 15: Curvas límites CCAI



Fuente: (Manual técnico MAK serie 32C, Capítulo 4)

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Ilustración 16: Especificaciones del fuel oil pesado

CIMAC – REQUIREMENTS FOR RESIDUAL FUELS for diesel engines (as delivered) – ANFORDERUNGEN an RUCKSTANDS-KRAFTSTOFF für Dieselmotoren (wie geliefert)															
Characteristic	Designation: Bezeichnung:		CIMAC A 10	CIMAC B 10	CIMAC C 10	CIMAC D 15	CIMAC E 25	CIMAC F 25	CIMAC G 35	CIMAC H 35	CIMAC K 35	CIMAC H 45	CIMAC K 45	CIMAC H 55	CIMAC K 55
	Related to ISO8217 (98)-F-	Limit	RMA 10	RMB 10	RMC 10	RMD 15	RME 25	RMF 25	RMG 35	RMH 35	RMK 35	RMH 45	RMK 45	RMH 55	RMK 55
Density at 15 °C Dichte	kg/m ³	max	950 ²⁾		975 ³⁾	980 ⁴⁾		991		991	1010	991	1010	991	1010
Kin. viscosity at 100 °C Kin. Visk. bei 100 °C	cSt ¹⁾	max	10			15	25		35			45			55
Flash point Flammpunkt	°C	min	60			60	60		60			60			60
Pour point (winter) Stockpunkt (summer)	°C	max	0		24	30	30		30			30			30
Carbon Residue (Conradson) Kohlenrückstand	% (m/m)	max	12 ⁵⁾		14	14	15	20	18	22			22		22
Ash Asche	% (m/m)	max	0.10			0.10	0.10	0.15	0.15	0.15 ⁷⁾			0.15 ⁷⁾		0.15 ⁷⁾
Total sedim. after ageing Totaler Sedimentantill. nach Alterung	% (m/m)	max	0.10			0.10	0.10		0.10			0.10			0.10
Water Wasser	% (V/V)	max	0.5			0.8	1.0		1.0			1.0			1.0
Sulphur Schwefel	% (m/m)	max	3.5			4.0	5.0		5.0			5.0			5.0
Vanadium	mg/kg	max	150		300	350	200	500	300	600			600		600
Aluminium + Silicon	mg/kg	max	80			80	80		80			80			80

1) An indication of the approximate equivalents in kinematic viscosity at 50 °C and Redw. l sec. 100 °F is given below:
 Kinematic viscosity at 100 °C mm²/s (cSt)
 Kinematic viscosity at 50 °C mm²/s (cSt)
 Kinematic viscosity at 100 °F Redw. l sec.

Eine ungefähre Zuordnung der kin. Viskositäten bei 50 °C sowie in Redw. l sec. bei 100 °F enthält die nachstehende Tabelle:
 7 10 15 25 35 45 55
 30 40 60 100 150 200 300
 200 300 600 1500 3000 5000 7000

2) ISO : 975
 3) ISO : 981
 4) ISO : 985
 5) ISO : not limited
 nicht begrenzt
 6) ISO : Carbon Residue
 Kohlenrückstand 10
 7) ISO : 0.10

Fuente: (Manual técnico MAK serie 32C, Capítulo 4)

En la ilustración anterior, podemos observar las diferentes especificaciones del fuel oil pesado. De esta forma, conjunto con una tabla de especificaciones de valores límites permitidos para el servicio con fuel oil pesado en motores Caterpillar/Mak, obtendremos las posibles opciones válidas para nuestro motor M32. [9]

De esta forma obtenemos:

Tabla 4: Valores límites permitidos para el servicio de fuel oil en motores MaK

Especificación del valor límite	M32
CIMAC A10	X
CIMAC B10	X
CIMAC C10	X
CIMAC D15	X
CIMAC E25	X
CIMAC F25	X
CIMAC G35	X
CIMAC H35	X
CIMAC K35	(X)
CIMAC H45	X
CIMAC K45	(X)

CIMAC H55	X
CIMAC K55	(X)

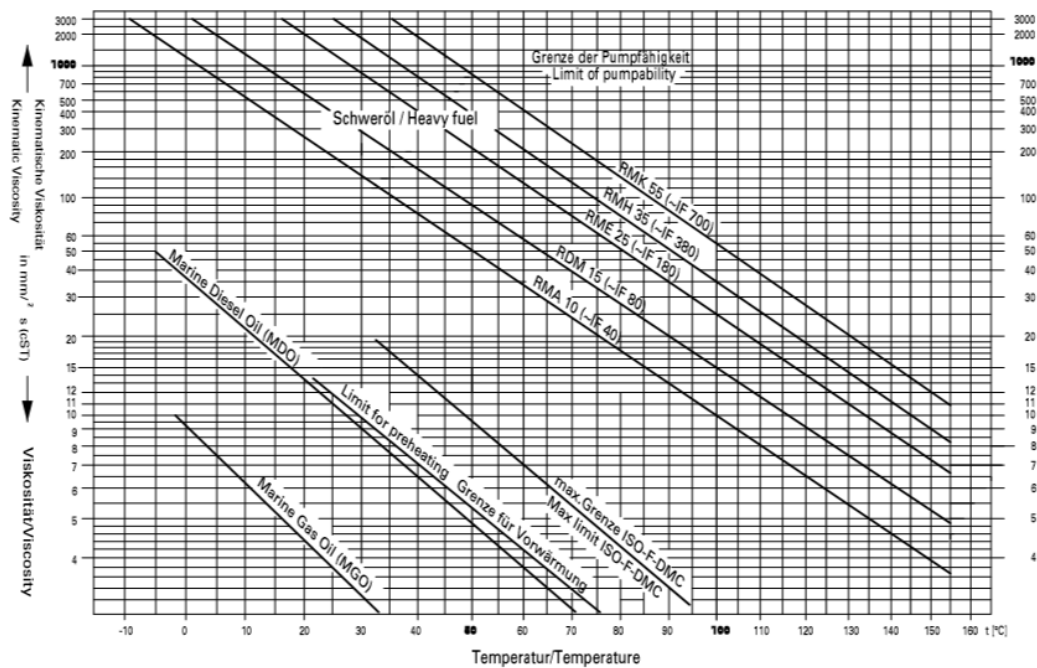
Fuente: (Manual técnico MAK serie 32C, Capítulo 4)

X: permitido

(X): permitido conjuntamente con una instalación de tratamiento adecuada.

Una vez obtenidos los valores límites de densidad, a través del tipo de motor y de la viscosidad. Este diagrama nos permite representar el cálculo de la temperatura a través de la viscosidad y el tipo de combustible a usar. De esta forma obtendremos una curva que nos determina la temperatura de precalentamiento necesaria para conseguir la viscosidad de inyección en el motor. [9]

Ilustración 17: Viscosidad hoja de temperatura



Fuente: (Manual técnico MAK serie 32C, Capítulo 4)

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
 La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

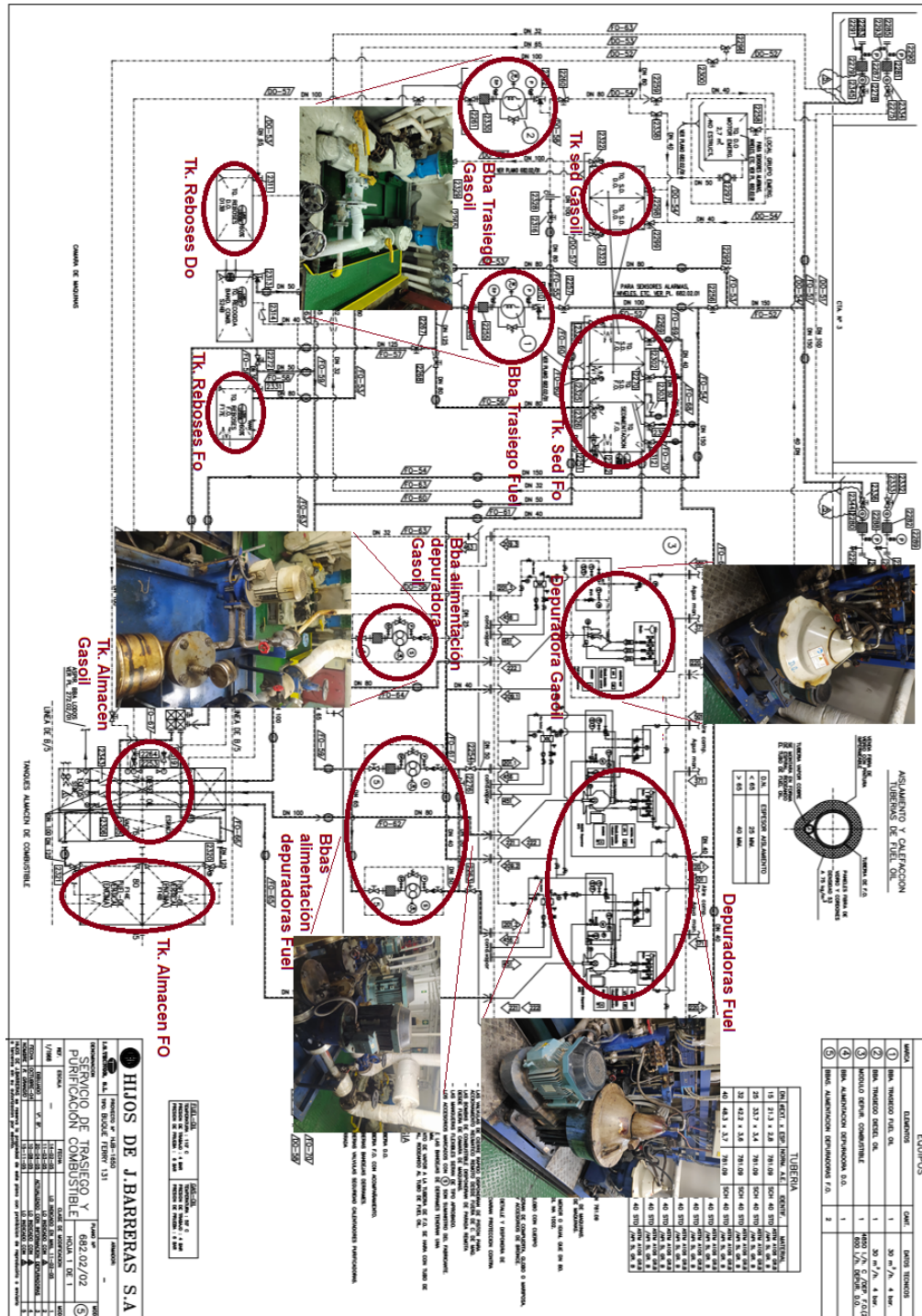
Fecha: 11/06/2020 18:03:05

5.2 Elementos y sistemas de combustible del buque.

Antes de comenzar la explicativa del cambio del diseño de combustible habrá que comprender, los diferentes elementos que constituyen el sistema de combustible comenzando desde el momento en el que se almacena en primera instancia el combustible, hasta que es inyectado en el motor. Así, se podrá entender de mejor forma la adaptación al cambio que se producirá en el sistema para cumplir la normativa.

En la siguiente ilustración se representará el plano de servicio de trasiego y purificación de combustible del buque, el cual nos indica los diferentes elementos y sistemas que se encuentran en la línea de combustible.

Ilustración 18: Plano de Servicio de trasiego y purificación combustible



Fuente: (Hijos de J. Barreras S.A)

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

5.2.1. Tanques de Almacenamiento de combustible.

En la ilustración 18, se ve reflejado el servicio de trasiego y purificación de combustible, observando de esta manera los diferentes tanques de combustible pertenecientes al FO y Gasoil.

Para comenzar, se encuentran los tanques de combustible pertenecientes al FO, donde se identifican dos tanques de almacén F14B y F14E con 100m³ de capacidad cada uno, que se encargan de recibir el FO del suministro de combustible en tierra o mediante una gabarra para posteriormente almacenarlo.

Desde los tanques de almacén parte el sistema de combustible, donde se pasa a un tanque de sedimentación mediante una bomba de engranajes helicoidales AZCUE de caudal 30 m³/h a 2 bar. El Fuel almacenado en el tanque de sedimentación con una capacidad de 120m³ será sujeto de un proceso de purificación al salir de dicho tanque, pues serán las depuradoras de Fuel las encargadas de aspirar del tanque de sedimentación y así de eliminar las impurezas sólidas y el agua que contiene el combustible.

Este proceso se lleva a cabo de manera previa al almacenamiento del Fuel en los tanques diarios donde ha pasado por dichos procesos obteniendo el mejor resultado posible, el buque está dotado de dos tanques diarios de FO (D12B/D12E y F16B/F16E), que será el último paso previo a la entrada al módulo de combustible y finalmente al motor.

Ilustración 19: Bombas y línea de Trasiego



Fuente: (Trabajo de campo)

Tabla 5: Capacidad tanques de FO

Tanque	Capacidad en m ³
Tanque Almacén F14B	100 m ³
Tanque Almacén F14E	100 m ³
Tanque Sedimentación	120 m ³
Tanque Diario F16E	22 m ³
Tanque Diario F16B	22 m ³
Tanque Reboses FO	10 m ³

Fuente: (Trabajo de campo)

En cuanto a los tanques de combustible pertenecientes al DO, se identifica un solo tanque de almacenamiento con una capacidad de 40m³ donde posteriormente pasa a un tanque de servicio diario o tanque de emergencia a través de una bomba de las mismas características que la de Fuel, siendo esta una bomba de engranajes helicoidal AZCUE con un caudal de 30 m³/h o también utilizando la depuradora de gasoil como bomba de trasiego a los tanques nombrados anteriormente. El uso más común es la depuradora de Gasoil aprovechando así el proceso de purificación en la labor de trasiego.

Una vez ejecutado el trasiego se almacenará el combustible en dos tanques diarios de DO con una capacidad de 7m³ cada uno. El uso principal de DO en el buque es para la alimentar a la caldera cuando esta está en funcionamiento.

Tabla 6: Capacidad de Tanques DO

Tanque Almacén DO	40 m ³
Tanque Diario D12E	7 m ³
Tanque Diario D12B	7 m ³
Tanque DO Motor Emergencia	2,7 m ³

Fuente: (Trabajo de campo)

5.2.2. Purificación de combustible.

La purificación del combustible es una parte primordial del sistema de combustible, ya que se encarga principalmente de extraer las partículas sólidas del líquido y el agua contenida en el Fuel o DO. El buque está dotado de 2 depuradoras de FO y 1 de DO, debido a que la capacidad de FO es mayor a la de DO, por lo tanto, habrá más cantidad de combustible a purificar.

Serán 2 separadoras centrífugas de alta velocidad las encargadas de purificar el FO, estas son de tipo Alfa Laval SA 841. Solo hay una en funcionamiento, preparada para su puesta en marcha en caso de que falle de la que está operativa.

Las purificadoras son alimentadas de FO a través de una bomba que aspira del tanque de sedimentación, de este tanque el combustible viene con buena temperatura, pero pasa previamente por calentadores de vapor para conseguir la temperatura óptima previa a la entrada de la depuradora.

Ilustración 20: Bomba de alimentación de depuradora FO



Fuente: (Trabajo de campo)

Además de la línea de alimentación, este elemento está provisto de una línea de evacuación de condensado que procede del purgador, también una línea de agua, que será la encargada de realizar las operaciones de maniobra y conseguir el movimiento interior en la depuradora y por último una línea de aire comprimido encargada de accionar las válvulas de tres vías de forma neumática.

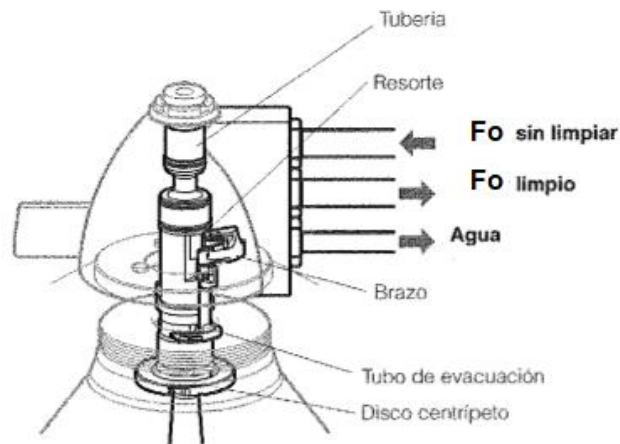
Se trata de una separación centrífuga, en el que un rotor gira a gran velocidad, donde la gravedad queda sustituida por la fuerza centrífuga, cuyo efecto es mucho mayor. La separación y sedimentación se producen de manera continua y muy rápida.

La fuerza centrífuga es capaz de lograr en unos segundos lo que consigue un tanque de sedimentación por gravedad en muchas horas. Diferencia de viscosidad, temperatura o caudal pueden influir en la eficacia de la separación.

La siguiente ilustración nos representa la parte superior de la depuradora, encargada de recibir la entrada de FO y agua además de expulsar el combustible y agua sobrante después de la maniobra.

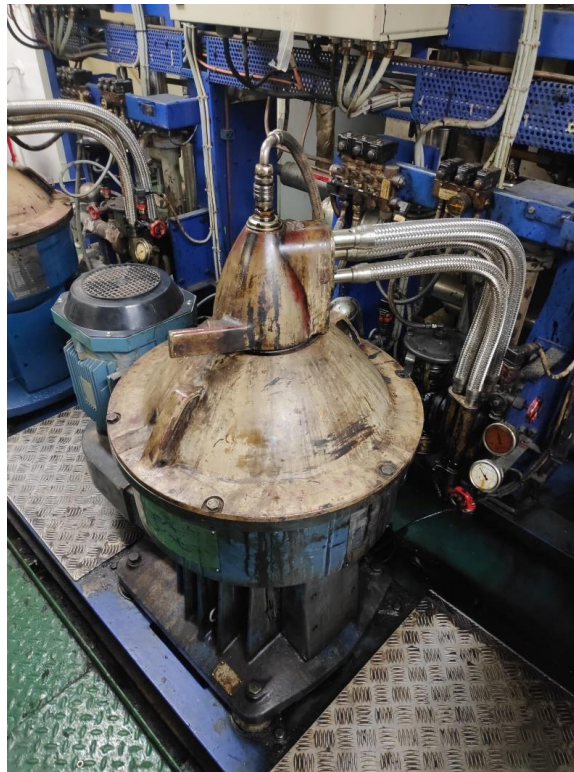
El combustible purificado es enviado por la línea hacia los tanques de servicio diario de FO.

Ilustración 21: Parte superior depuradora FO



Fuente: (Manual Alfa Laval SA 841)

Ilustración 22: Depuradora de FO

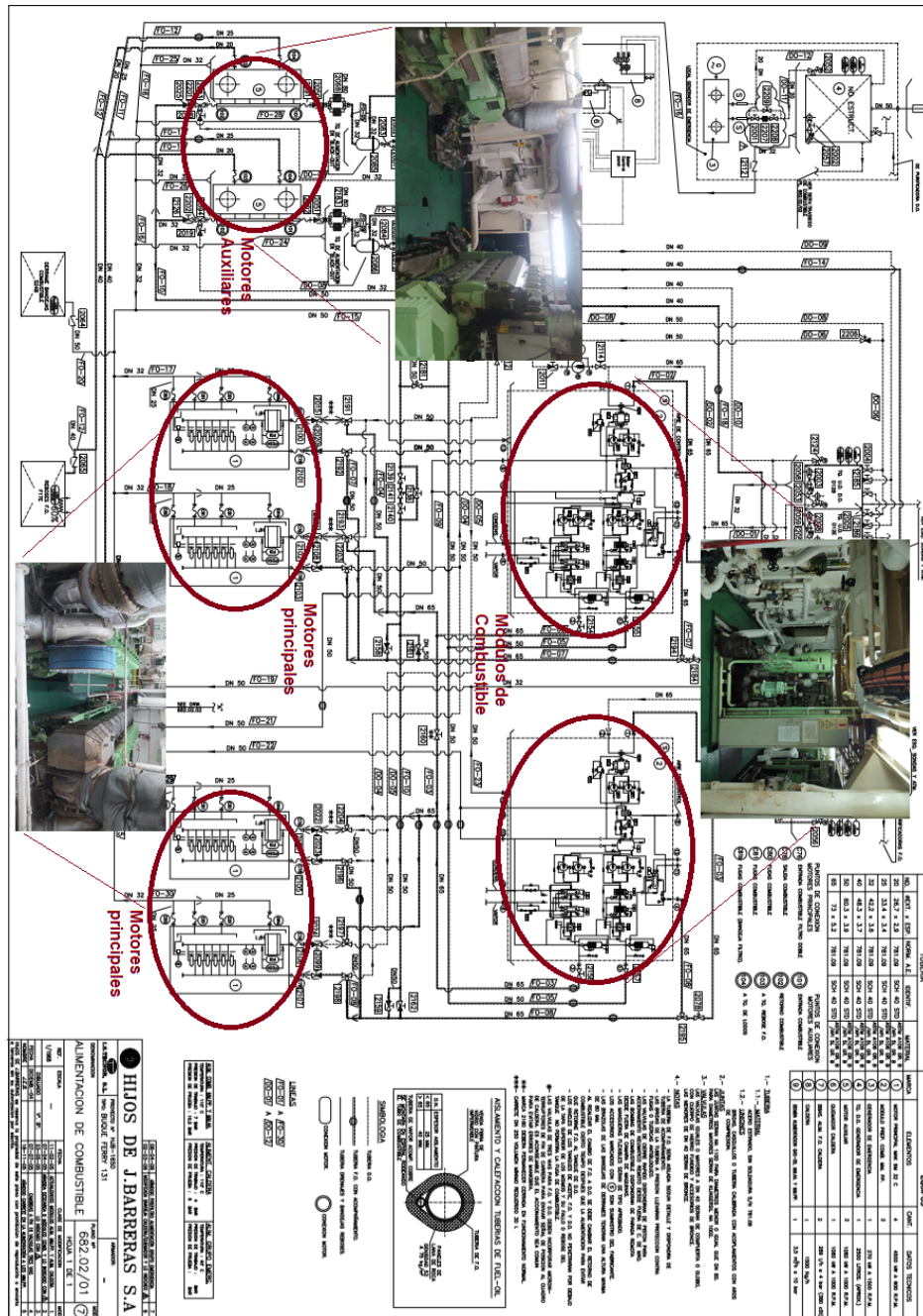


Fuente: (Trabajo de campo)

El principio de la depuradora de DO es el mismo, comenzando con una bomba de alimentación que aspira del tanque almacén de DO y se encarga de suministrar de combustible la depuradora, sin un previo calentamiento para su posterior purificación y depósito en los tanques diarios de DO o en el tanque de emergencia.

En la siguiente ilustración se representa el plano de servicio de alimentación de combustible, profundizando un poco más en la entrada del combustible en el motor.

Ilustración 23: Plano alimentación de combustible



Fuente: (Hijos de J. Barreras S.A)

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

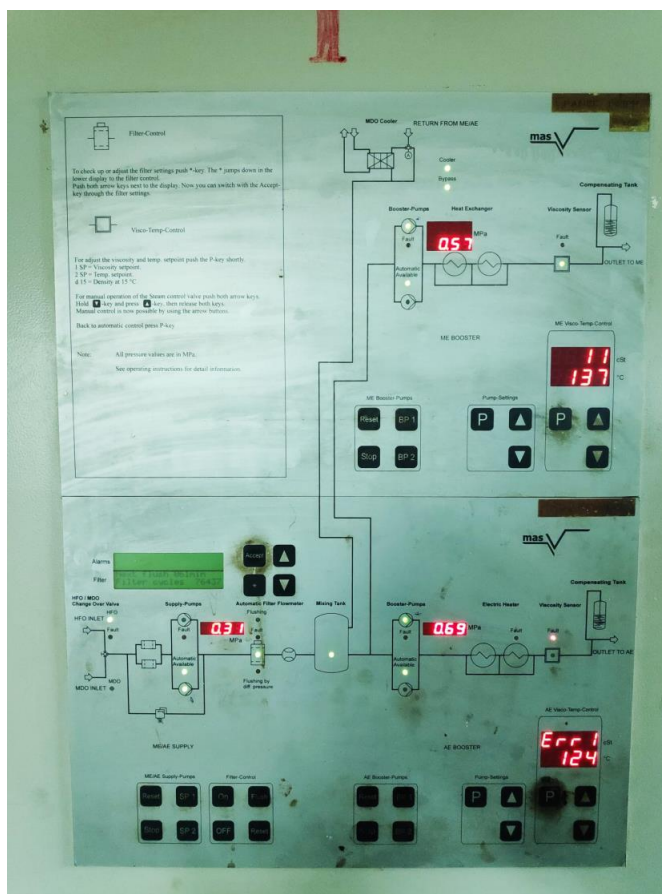
Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

5.3.3. Módulo de Combustible.

Ilustración 24: Panel módulo de combustible



Fuente: (Trabajo de campo)

El módulo de combustible representa el paso previo a la inyección del combustible en los motores auxiliares y principales.

El sistema está equipado con dos bombas de alimentación que aspiran del tanque de servicio diario de combustible, son dos bombas instaladas en paralelo, de esta forma solo estará una en uso y la otra entrará en funcionamiento en caso de fallo. A continuación, pasarán por unos filtros de disparo automático y serán calefactados a una temperatura óptima para que la viscosidad del combustible sea la adecuada antes de inyectarse en el motor.

Ilustración 25: Bombas de alimentación del módulo



Fuente: (Trabajo de campo)

Las bombas Booster serán las encargadas de alimentar las bombas de inyección a la presión y temperatura adecuadas para que este alcance la presión necesaria en el inyector.

Ilustración 26: Bomba booster del módulo



Fuente: (Trabajo de campo)

5.3.4. Bomba de inyección.

El motor está equipado con una bomba de inyección por cilindro. La bomba de inyección presuriza el combustible en la línea de inyección. Tiene un mecanismo de regulación para aumentar o disminuir la cantidad de alimentación de combustible dependiendo de la carga del motor y velocidad.

El émbolo, empujado hacia arriba por el árbol de levas a través del taque y tirado hacia atrás por el resorte que actúa sobre el mismo, recicla en el elemento, en una carrera predeterminada para alimentar el combustible bajo presión.

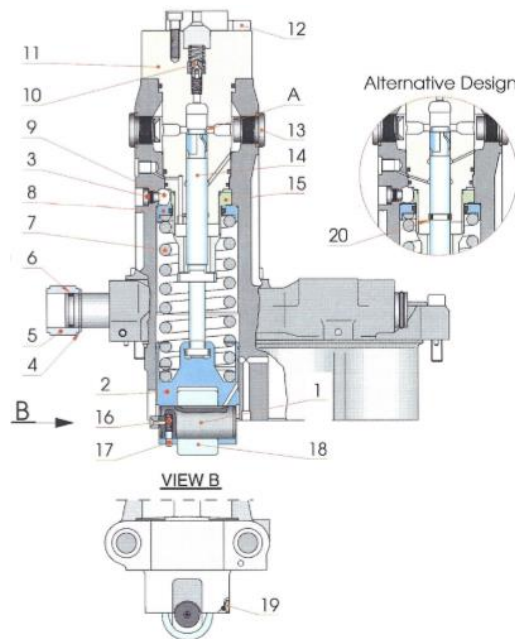
El émbolo controla la cantidad inyectada. Cuando este está en la posición más baja o en el punto muerto inferior, el combustible fluye a través de la boca de entrada hacia

el orificio del elemento. La rotación del árbol de levas mueve el émbolo de nuevo hacia arriba. Cuando el borde superior del escalón del embolo está alineado con los puertos este se encargará de aplicar presión al combustible.

La carrera del émbolo encargada de aplicar presión al combustible se llama carrera efectiva. La cantidad de combustible inyectada se aumentará o disminuirá girando el émbolo un cierto ángulo, de esta forma se aumentará o reducirá la carrera efectiva.

Una vez obtenga la presión adecuada, se encargará de llevar el combustible presurizado al tubo de inyección que alimentará a su vez al inyector. [9]

Ilustración 27: Despiece bomba de inyección



Fuente: (Manual técnico MAK serie 32C, Capítulo 4)

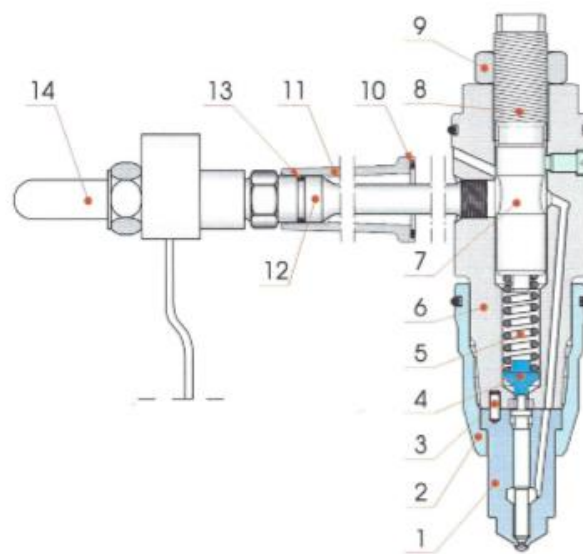
5.3.5. Inyector.

Esta está situada en el centro de la culata está constituido por una tobera (1) y una porta toberas (6). El combustible entra lateralmente a través de una conexión atornillada en el cuerpo del inyector.

Las toberas reciben el combustible a alta presión del tubo de inyección e inyectan el combustible en la cámara de combustión en forma de pulverización muy fina. La presión a la que funciona la tobera se puede corregir girando el tornillo de ajuste (8) del inyector.

[9]

Ilustración 28: Despiece de un inyector



Fuente: (Manual técnico MAK serie 32C, Capítulo 4)

5.4. Evaluación del sistema de combustible respecto al cambio.

Una vez procesada toda la información respecto al sistema de combustible del buque y evaluando las posibles soluciones para adaptarse a la nueva normativa. La opción más viable es la utilización de un combustible FO con bajo contenido en azufre, es decir el VLSFO.

La decisión en este buque es simple puesto que ya una vez está descartada la opción de la torre de lavado debido al poco espacio disponible, se pasa al estudio del combustible más adecuado para su uso. El DO es un combustible más limpio, sin necesidad de uso de sistemas de vapor, calefacción por lo tanto habría un gran ahorro de espacio y una disminución de mantenimientos en el sistema de combustible, pero es cierto que el almacenamiento de los tanques de DO comparado con los de FO, hacen la labor del cambio mucho más difícil, puesto que se tendría que hacer un cambio mucho más exhaustivo y costoso, algo que no es viable en un buque de estas características.

De esta forma, se opta por la opción del cambio a un combustible FO con un contenido de azufre permisible según la normativa OMI.

El nuevo combustible denominado VLSFO (Very low sulphure Fuel Oil) será suministrado por CEPSA y será el encargado de protagonizar la adaptación a la nueva normativa implantada por la OMI.

Tabla 7: "Características básicas del VLSFO 0,5%"

Estado físico	Líquido
Punto de fusión	<30°C
Punto de inflamación	Vaso cerrado: 60°C
Densidad	0,991 g/cm ³ [15°C (59°F)]
Viscosidad	Cinemática (50°C): máx. 380 mm ² /s (cSt)
Estabilidad química	Estable

Fuente: (Trabajo de campo)

La nueva adaptación al combustible VLSFO nos llevará a una modificación mucho más simple comparada con un cambio de combustible a DO, que podría aumentar la cantidad de recursos a preparar o cambiar.

5.5. Cambios realizados para la adaptación a la normativa OMI.

Para la adaptación al cambio de normativa OMI, se tuvo que realizar ciertas modificaciones en la línea de combustible, permitiendo de esta forma conseguir el cambio de combustible por debajo del 0,5% de contenido en azufre.

El VLSFO 0,5% fue la opción tomada por la naviera como nuevo combustible compatible con la normativa aplicada el 1 de enero del 2020.

La idea fue segregar la aspiración de cada depuradora, es decir, que una de las depuradoras de FO aspirará única y exclusivamente del tanque almacén elegido, en este caso se eligió el tanque de almacén ER, que será utilizado para el almacenamiento del combustible con 0,5% de azufre. También se hará uso de un tanque de servicio diario, en este caso el de ER.

Para el almacenamiento del fuel con bajo contenido en azufre en los tanques nombrados, se tuvo que realizar una limpieza interior para ambos tanques de combustible F14E y F16E. Un taller externo fue el encargado de las labores de limpieza de los tanques. En la siguiente ilustración se muestra el interior de uno de ellos.

Ilustración 29: Interior tanque de combustible



Fuente: (Trabajo de campo)

En primer lugar, se abrieron los dos tanques y se dejaron airear durante 24 horas con buena ventilación, consiguiendo así la reducción de gases en su interior.

En segundo lugar, se hizo una limpieza en su interior con bombas de gasoil, espátulas, trapos, consiguiendo así llegar a las zonas más complicadas en los mamparos.

Por último, se le hizo una limpieza final con Gasoil consiguiendo aclarar lo máximo posible el tanque y se dejó airear otras 24 horas para su posterior uso.

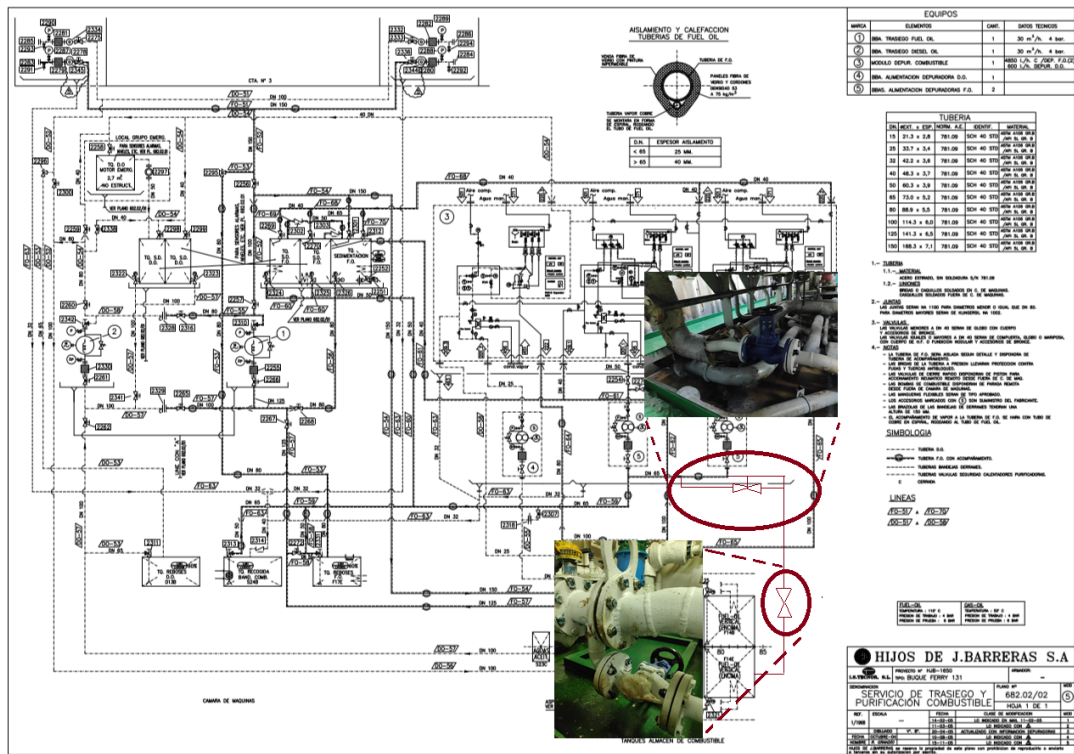
Ilustración 30: Residuos tanque de combustible



Fuente: (Trabajo de campo)

El interior está contenido de una gran cantidad de residuos sólidos que dificultan notablemente las labores de limpieza de los tanques.

Ilustración 31: Plano modificado del sistema de combustible



Fuente: (Trabajo de campo)

En la ilustración 30, se muestra la modificación en el plano representado con líneas finas rojas, afectando principalmente a la línea de trasiego y de alimentación de las bombas de combustible de las depuradoras.

La nueva línea instalada permite que una depuradora aspire del tanque de almacén con el combustible de 0,5% en azufre, sin que se mezcle con el otro combustible con mayor contenido, puesto que este no pasa por el tanque de sedimentación y se suministra finalmente en el tanque de servicio diario que se ha preparado para la maniobra.

En la siguiente ilustración, se muestra la línea de trasiego sin la modificación realizada para el cambio de combustible.

Ilustración 32: Línea trasiego sin modificación.



Fuente: (Trabajo de campo)

A continuación, se muestra la ilustración con la modificación en la línea de trasiego que permite la aspiración del tanque que se desee, en este caso el tanque de almacén de estribor.

Ilustración 33: Línea trasiego con modificación.



Fuente: (Trabajo de campo)

Esta línea contiene una válvula de compuerta que nos permitirá abrir o cerrar dependiendo del objetivo que busquemos, nos da la opción de realizar el trasiego al tanque de sedimentación de manera normal o aspirar combustible del tanque de almacén que se desee.

Ilustración 34: Modificación aspiración bomba de combustible de la depuradora



Fuente: (Trabajo de campo)

Este cambio nos permite que la bomba de las depuradoras aspire del tanque de sedimentación para su posterior purificación y suministro a los tanques de servicio diario o por lo contrario poder cerrar la válvula de aspiración del tanque de sedimentación y abriendo la observada en la imagen aspirar del tanque de almacén deseado.

Finalmente, para conseguir el proceso de adaptación al cambio se empezará a consumir el combustible con alto contenido en azufre, consiguiendo así que el tanque de sedimentación baje lo máximo posible y progresivamente ir mezclando ambos combustibles (con la mayor cantidad mínima posible de combustible 3.5%).

La mezcla de combustible se efectuará cuando el combustible entre en el módulo y este adquiera la viscosidad necesaria y es enviada a los motores principales y auxiliares, posteriormente retorna al módulo de nuevo a un tanque de mezcla.

De esta forma habrá un aporte mayor del combustible en bajo contenido en azufre y conseguir así consumir el combustible con 3,5% de azufre existente en la línea y demás sistemas de combustible del buque vaya diluyéndose hasta que solo quede el contenido bajo en azufre.

Este proceso se hizo con 1 mes de antelación para asegurarse de que el combustible con 3,5% de azufre ya se hubiera consumido lo suficiente y no generará problemas con el nuevo combustible.

5.6. Averías o mejoras posteriores a la adaptación al cambio.

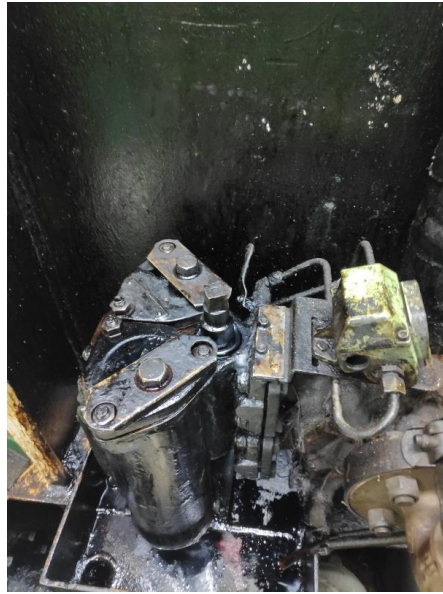
Una vez realizado el proceso del cambio de combustible para la adaptación a la nueva normativa OMI, el sistema de combustible se puede ver afectado por diferentes problemas consecuencia del nuevo combustible por motivos de compatibilidad, características, etc.

Es importante estar preparado para cualquier imprevisto que surja una vez esté en uso el nuevo combustible VLSFO 0,5% en la línea de combustible.

5.6.1 Filtros de combustible.

Los filtros de combustible han sido los más afectados en este proceso de cambio en los primeros días. La mezcla generada entre el VLSFO 0,5% y el resto existente en la línea del anterior combustible con mayor contenido en azufre provocó la aparición de parafinas ocasionando una gran cantidad de obstrucciones diariamente en los filtros de combustible, principalmente en los auxiliares.

Ilustración 35: Filtros dúplex de combustible Motores Auxiliares



Fuente: (Trabajo de campo)

Cuando el combustible con 3,5% de contenido en azufre era utilizado en el sistema de combustible los filtros de combustible se cambiaban con una frecuencia de 2 semanas. Una de las consecuencias del cambio, produjo que los filtros de combustibles se obstruyeran con mayor frecuencia generando un diferencial de presión de 0.6 (límite en el que hay que suplir el filtro usado por otro nuevo o limpio). Esto ocasionó el hecho de realizar limpiezas y cambios de los filtros con mayor constancia.

Durante 2 semanas la limpieza y cambio de filtros se realizó con una frecuencia de 2 o 3 días, generando un problema respecto a la cantidad de filtros existentes en el buque.

Se tomó la necesidad de limpiar los filtros de una manera más eficaz, utilizando métodos como la limpieza por ultrasonidos o utilizando vapor generado en el mismo buque para así obtener una limpieza exhaustiva y óptima para su nuevo uso.

Ilustración 36: Filtro nuevo de combustible para Motores Auxiliares.



Fuente: (Trabajo de campo)

5.6.2. Parámetros previos y posteriores al cambio.

A continuación, se realizará una comparativa ante los parámetros expuestos por los motores principales y auxiliares previo y posterior al cambio observando de esta forma los factores en los que ha incidido con mayor importancia.

Tabla 8: Parámetros previos y posteriores al cambio de combustible MMPP.

	Previo	Posterior
P. Aceite Lubricación	4,4 bar	4,5 bar
P. Inyección	5 bar	5,2 bar
T. Aceite	59 °C	60 °C
T. Agua	78 °C	80 °C
T. Turbosoplante	485-355 °C	480-355 °C

72

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

T. Media Gases Escape	430 °C	430 °C
P. Colector de barrido	2,2 bar	2 bar
T. Combustible	130°C	120° C

Fuente: (Trabajo de campo)

Tabla 9: Parámetros previos y posteriores al cambio de combustible MMAA.

	Previo	Posterior
P. Combustible	6,5 bar	6.2 bar
P. Aceite	5 bar	5 bar
T. Aceite	62 °C	62 °C
T. Agua	90 °C	90 °C
T. Aire	50 °C	50°C
T. Media Gases Escape	360 °C	350 °C
T. Media Turbo	380°C	380° C
T. Combustible	120 °C	110 °C

Fuente: (Trabajo de campo)

Las tablas observadas representan una media de los parámetros obtenidos a lo largo de 30 días antes y después del cambio de combustible.

Con los resultados obtenidos podemos concluir que el VLSFO 0,5% ha afectado de manera notable solamente a la temperatura del combustible, puesto que anteriormente la temperatura que necesitaba el combustible de 3,5% de azufre era de 130°C en los motores principales y 120°C en los motores auxiliares, para conseguir de esta forma alcanzar el set point de la viscosidad adecuada para la inyección en los motores. Posteriormente al cambio, la temperatura necesaria del combustible para alcanzar dicho set point es 10°C más baja, siendo una media de 120°C en los motores principales y 110°C en los motores auxiliares.

Esto provoca considerables mejoras a la hora del uso y mantenimiento de los elementos de vapor utilizados para calefactar el combustible en el módulo, además de la inyección del combustible a más baja temperatura.

5.6.3. Mejoras en Inyectores.

Los inyectores presentan un aspecto mucho mejor debido al cambio de combustible y bajada de temperatura del mismo, esto provocó que los inyectores tuvieran un mantenimiento periódico más bajo, presentando menos cantidad de problemas a lo largo del tiempo.

Además, su limpieza era mucho más sencilla y eficiente debido al cambio de estado de estos al ser extraídos de la culata.

Ilustración 37: Limpieza de un inyector usado.

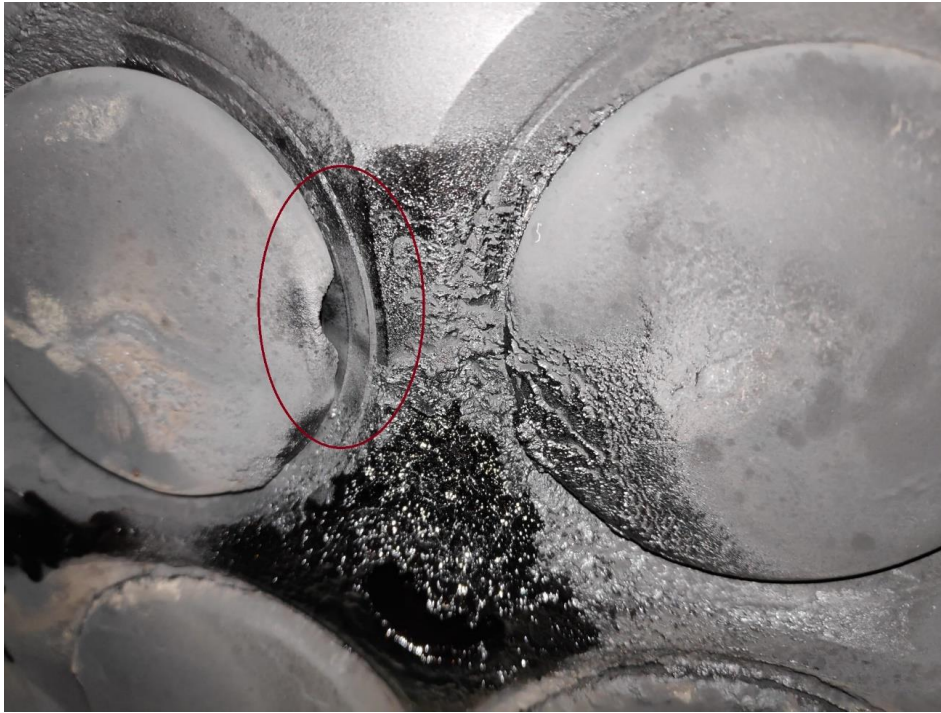


Fuente: (Trabajo de campo)

Una temperatura más baja en el combustible permite que los inyectores aguanten más tiempo sin provocar problemas como una mala pulverización provocando situaciones complicadas en los cilindros de los motores, como puedan ser un aumento de la temperatura.

Estas situaciones pueden provocar una picada en las válvulas de la culata como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 38: Picada en una válvula de escape de una culata de MMAA.



Fuente: (Trabajo de campo)

Esta situación genera un aumento de gases de escape en el interior del cilindro produciendo un aumento de la temperatura en el mismo y por lo tanto un aumento de temperatura de los gases de escape.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

VI. CONCLUSIONES

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Las conclusiones obtenidas a través de la realización del trabajo una vez expuestos los resultados son:

- La importancia que tiene en la actualidad el uso de un combustible marino limpio provocando la disminución de las emisiones contaminantes en una atmósfera que está actualmente sufre un calentamiento global.
- La necesidad de que organizaciones como la OMI y similares sean capaz de promover el incentivo de la creación de nuevas normativas capaz de mejorar el impacto medioambiental reduciendo las emisiones contaminantes.
- La mejora medioambiental promoviendo la desaparición de combustibles con alto contenido en azufre y por lo tanto desapareciendo del todo y provocando a obtener adaptaciones a combustibles más limpios como el Gasoil.
- Comprobar que un buque tipo ro-ro como el elegido para la adaptación a la normativa está capacitado para acoger un cambio de combustible sin generar problemas notables en los distintos sistemas de combustible, consiguiendo así el objetivo de disminuir las emisiones contaminantes.
- Una vez obtenido los resultados posteriores a la adaptación, es de vital importancia la adaptación a un cambio efectivo respecto a los agentes contaminantes generados por los buques, consiguiendo así una disminución de estos a lo largo del tiempo y una revisión periódica necesaria para que los parámetros negativos contaminantes generados vayan desapareciendo.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

VII. BIBLIOGRAFÍA

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.

La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05

7.1 Bibliografía

- [1] <http://www.ptrr-es.es/SOx-oxidos-de-azufre,15598,11,2007.html>
- [2] <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/dioxido-azufre.aspx>
- [3] Nigel Draffin. (2008). An Introduction to Bunkering. Reino Unido.
- [4] <https://www.oiltanking.com/es/publicaciones/glosario/detalles/term/fueloleo-pesado-hfo.html>
- [5] <https://powerplants.man-es.com/fuels/diesel>
- [6] <https://www.alfalaval.es/industrias/marina-y-transporte/marina/tratamiento-de-combustible/fuel-line/marine-fuels-in-the-low-sulphur-era/>
- [7] ABS. Exhaust Gas Scrubber Systems. Status and Guidance.
- [8] <https://elpetroleoyusavances.wordpress.com/2016/12/01/hidrotratamiento/>
- [9] (Manual técnico MAK serie 32C, Capítulo 4)

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2545668 Código de verificación: fqeKW+CY

Firmado por: Alexis Dionis Melián
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 11/06/2020 18:03:05