

ESCUELA DE DOCTORADO Y ESTUDIOS DE POSGRADO

***“Análisis del Mantenimiento del Sistema de Combustible en Buque Modelo del Tráfico Interinsular Canario tras la Implantación de IMO-2020”***

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
MASTER EN GESTIÓN EN TECNOLOGÍAS MARINAS



Autor:

**David Dionis Moreno**

Enero de 2024

Tutor/a:

**Prof. D<sup>a</sup> Lidia Paola Padilla Cruz**

**Escuela Politécnica Superior de Ingeniería  
Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval**  
Universidad de La Laguna; Escuela de Doctorado y Estudios de Posgrado

---

**D<sup>a</sup> Lidia Paola Padilla Cruz-**, Profesora CII de la UDE de Ingeniería Marítima del Departamento de Ingeniería Civil, Náutica y Marítima de la Universidad de La Laguna, certifica que:

**D. David Dionis Moreno**, con DNI 42.242.191-T, ha realizado bajo mi dirección el Trabajo Fin de Master titulado *“Análisis del Mantenimiento del Sistema de Combustible en Buque Modelo del Tráfico Interinsular Canario tras la Implantación de IMO-2020”* para la Obtención del Título de Master en Gestión en Tecnologías Marinas por la Universidad de La Laguna.

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 certificado en Santa Cruz de Tenerife a la fecha de la firma electrónica.

D<sup>a</sup> Lidia Paola Padilla Cruz  
Directora del Trabajo Fin de Master

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<u>Pág.</u>
I. INTRODUCCIÓN .....	4
ABSTRACT.....	5
II.OBJETIVOS .....	6
III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES .....	7
3.1. Normativa IMO 2020 .....	7
3.2 Transporte Marítimo y Combustibles.....	8
3.2. Buque modelo .....	10
3.6. Elementos genéricos de un circuito de combustible de un buque convencional	12
3.6.1. Circuito de combustible del Volcán de Taburiente .....	13
IV. METODOLOGÍA .....	16
V.RESULTADOS .....	17
5.1. Combustibles Usados en el Período de Estudio .....	17
5.2 Análisis del Mantenimiento del circuito de combustible.....	18
5.2.1. Engrase de Cremalleras de Motores Principales .....	19
5.2.2. Limpieza de Canaletas de Motores Principales <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
5.2.3. Filtros Duplex de Combustible de Motores Principales... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
5.2.4. Tren Alternativo de Motores Principales .....	22
5.2.5. Bombas de Inyección de Motores Principales.....	23
5.2.6. Inyectores de Motores Principales .....	24
5.2.7. Culatas de Motores Principales .....	25
5.2.8. Tubo de Inyección de Motores Principales.....	26
5.2.9. Drenaje de Fugas de Fuel de Motores Principales .....	27
5.2.10. Depuradoras de Fuel de motores principales .....	28
5.2.11. Filtro de la Toma de Consumo F.O. .... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
5.2.12. Filtros módulos (automático y manual).....	30
VI. CONCLUSIONES.....	31
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	33

# I. INTRODUCCIÓN

Después del 01 de enero de 2020, la IMO (International Maritime Organization) situó el límite mundial del contenido de azufre de los combustibles usados en el Transporte Marítimo en un 0,50 %, reduciendo el límite que hasta ese entonces tenían los combustibles y que se situaba en un 3,50%. esto es lo que comúnmente se ha llamado normativa IMO 2020.

Durante los años 2020-2023, el autor del presente Trabajo de Investigación estuvo embarcado, entre otros, en el buque modelo seleccionado, estando presente en el periodo de transición de los combustibles para adaptarse a la citada normativa IMO 2020. Este período de transición trajo consigo una serie de problemas de adaptación de los equipos del sistema de combustible de fuel, lo que dio lugar al Trabajo de investigación que concluyó en el Trabajo Fin Grado del Autor.

Partiendo de la base del estudio realizado en el TFG del propio autor, nos hemos planteado en este Trabajo Fin de Master, ver cómo ha afectado al mantenimiento de los equipos esenciales del sistema de combustible de fuel, el cambio de combustible.

Se han escogido dos años, 2018 y 2023, como muestra del mantenimiento de los citados equipos del sistema de combustible, alejados más o menos de forma equidistante de la fecha de imposición del cambio de combustible por IMO 2020, el 01/01/2020, para que no hubiera dudas que las variaciones en el número de actuaciones en el mantenimiento de los citados equipos eran producto del periodo de transición del cambio de combustible.

De esta forma, tras una breve Revisión y Antecedentes, se muestran en el capítulo de Resultados, los datos obtenidos en el mantenimiento de los 13 equipos del sistema de combustible analizados.

Se ha estudiado la frecuencia y desarrollo de los mantenimientos realizados en los citados equipos tanto los programados (recomendados por la casa de fabricantes), como las actuaciones extraordinarias tenidas fuera de los anteriores.

# ABSTRACT

After January 1st, 2020, the International Maritime Organization (IMO) set the worldwide limit for the sulfur content of fuels used by vessels in maritime industry at 0.50%, reducing the limit that fuels have had until at 3.50%. This is what is commonly referred to as the IMO 2020 standard.

In the years 2020-2023, the author of the present Research Work was on board as an Marine Engineer, in the selected model ship, being present in the fuel transition period to adapt to the mentioned IMO 2020 regulations. This transition period brought with it a series of problems of adaptation of the fuel oil fuel system equipment, which gave origin to the research work that concluded in the Author's Final Degree Project (FDP).

Based on the study carried out in the author's own FDP, we have considered in this Master's Thesis, to see how the fuel change has affected the maintenance of the essential equipment of the fuel oil system.

Two years, 2018 and 2023, have been chosen as a sample of the maintenance of the aforementioned fuel system equipment, more or less equidistant from the date of imposition of the fuel change by IMO 2020, 01/01/2020, so that there would be no doubt that the variations in the number of maintenance actions on the aforementioned equipment were a product of the fuel change transition period.

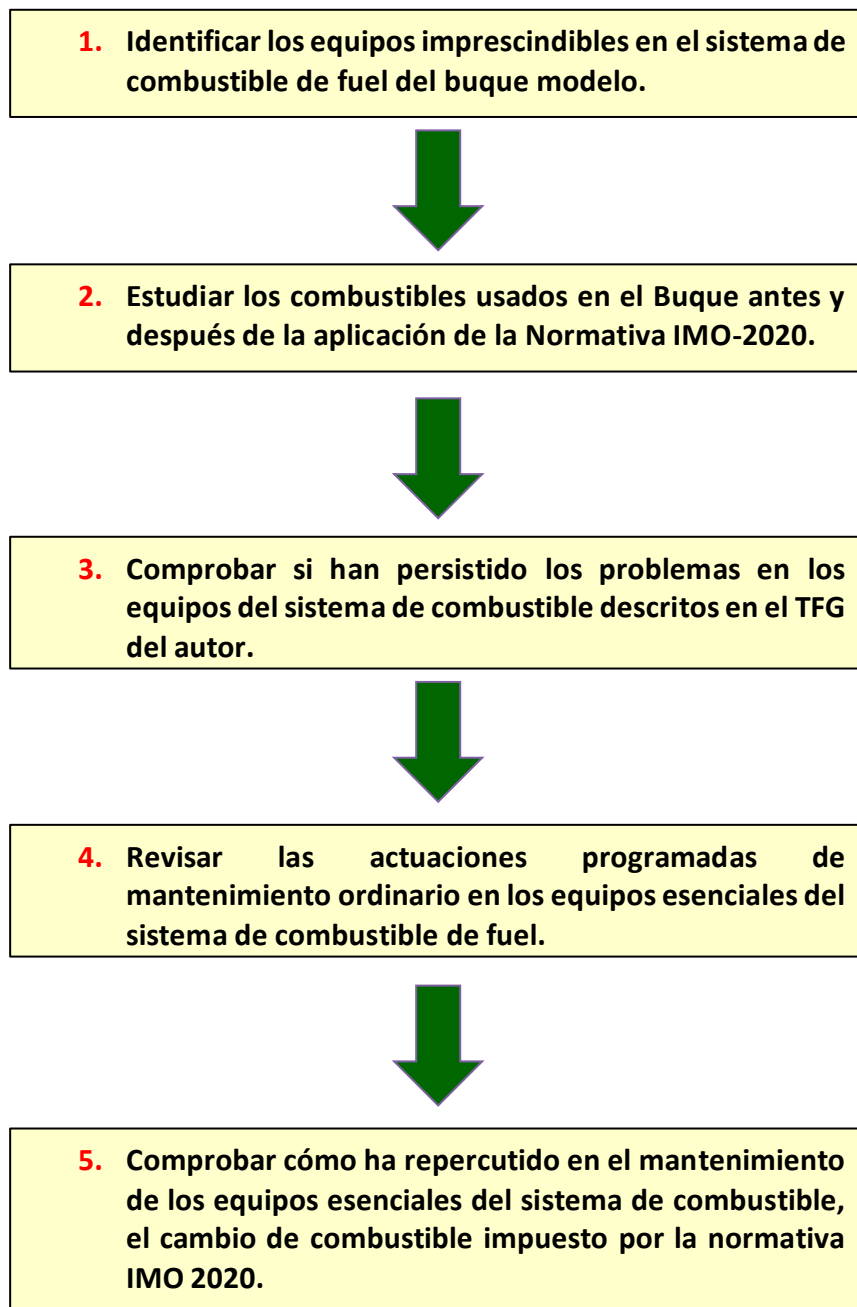
Thus, after a brief Review and Background, the Results chapter shows the data obtained in the maintenance of the 13 fuel system equipment analyzed.

We have studied the frequency and development of the maintenance carried out on the aforementioned equipment, both scheduled (recommended by the manufacturer), as well as the extraordinary actions taken outside the previous ones.

## II.OBJETIVOS

En este segundo capítulo de este TFM, vamos a plasmar los objetivos que nos hemos planteado en este Trabajo.

Los objetivos específicos que nos vamos a plantear en este TFM:



# III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

## 3.1. NORMATIVA IMO 2020

La normativa IMO 2020 que entró en vigor el pasado 01/01/2020 se ha establecido para cumplir con la normativa del Anexo VI en el Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques (Convenio Marpol) bajo el amparo de la Organización Marítima Internacional (IMO) organismo de las Naciones Unidas especializado en elaborar y adoptar normas para prevenir la contaminación provocada por los buques.

De esta forma, se limita el contenido de azufre del combustible de los buques al 0,50% desde un 3,50% que tenían como límite anteriormente, según la regla número 14 del anexo VI, llamada “Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques”.

Con la entrada en vigor de esta regla, la IMO se ha marcado como objetivo reducir el 77% de las emisiones totales producidas por los buques, lo que equivaldría, si se logra dicho objetivo, a una reducción de 8,5 ton de SOx (Óxidos de Azufre).

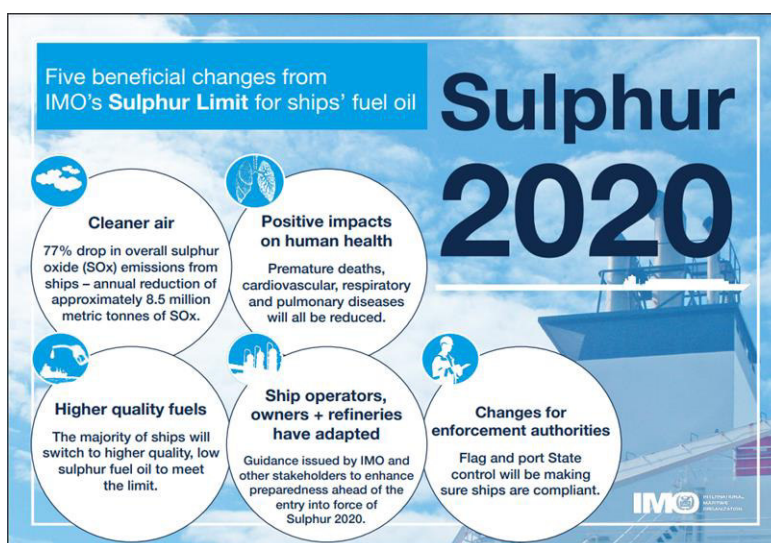


Ilustración SEQ Ilustración \\*  
ARABIC 1: IMO - 2020  
Fuente: <https://wwwcdn.imo.org/>  
[17]

### 3.2 TRANSPORTE MARÍTIMO Y COMBUSTIBLES

La entrada en escena de la normativa sobre combustibles IMO 2020 el pasado 01/01/2020 con el límite máximo en azufre del 0,5%, ha llevado consigo a las grandes navieras comerciales a adoptar iniciativas que contengan los sobrecostos derivados del uso de combustibles fósiles que se adapten a la citada normativa.

Esta normativa sobre los contenidos de azufre en los combustibles marinos, con precios inestables y nuevas propuestas energéticas puede llegar a provocar alteraciones en el transporte marítimo.

Desde 2019, se planteaba el uso de MGO (Marine Gas Oil) como combustible estrella de sustitución del clásico y estigmatizado HFO (Heavy Fuel Oil). Además de la adopción del citado MGO, muchas navieras se han decidido por instalar *scrubbers* y expandir el uso del GNL como combustible en sus flotas.

Ya en verano del mismo año 2019 entraba en escena el combustible VLSFO (combustible con muy bajo contenido en azufre – *Very Low Sulphur Fuel Oil*).

La Organización Internacional para la Normalización (ISO) publicaba en septiembre del 2019, su especificación para combustibles marinos que cumplan los requisitos de la nueva normativa IMO 2020. Dicha especificación relaciona y asesora desde el punto de vista técnico, características específicas sobre su viscosidad cinemática, flujo en frío, estabilidad, residuos catalíticos, etc., así como información sobre compatibilidad entre combustibles, principalmente durante el proceso de cambio.

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:pas:23263:ed-1:v1:en>

Aunque no es objeto de estudio en este trabajo como afecta desde el punto de vista económico a la norma IMO 2020, no se nos escapa que la misma ha “agitado” la industria marítima con sobrecostos y volatilidad en el precio de la energía de los buques.

En octubre de 2022 se dio luz verde al reglamento “*FuelEU Maritime*”. En el texto adoptado se aumentan a partir de 2035 los % de reducción de la intensidad de carbono, con la principal novedad que se añade a la obligación de que la mezcla de combustible usada en los buques contenga al menos un 2% de combustibles Alternativos de Origen no biológico (*Renewable Fuels of Non-Biological Origin - RFNBOs*) a partir de 2030.



El citado Reglamento acepta, a propuesta de España (ANAVE) que los viajes a regiones ultra periféricas como es el caso de las Islas Canarias, únicamente será exigido, a partir de 2030 el 50% de la energía usada en buques sujetos a obligaciones de servicio público.

El futuro a medio plazo del uso de combustibles fósiles, con el 2050 a la vista, es la descarbonización del transporte marítimo. Efectivamente en el marco de un panorama energético global, el futuro del sector marítimo se centra en el reto de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de las flotas mercantes para poder cumplir con los objetivos establecidos en la estrategia de la IMO para 2050 denominada *Green Voyage 2050*. Para cumplir los objetivos marcados por IMO para 2050, los combustibles con bajas o nulas emisiones en carbono deberán suministrar entre un 30 y un 40% de la energía total que mueva a la flota mundial en el citado año 2050.

Es conocido que el transporte marítimo global es menos contaminante que el transporte por aviones y por carretera, de hecho, la IMO ya en 2014 (III informe sobre GEI- Gases Efecto Invernadero) indicaba que el sector marítimo suponía únicamente el 2,2% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. También comentaba que se preveía un aumento de esas emisiones globales entre un 50 y un 250 %, debido al incremento del comercio internacional.

La navegación “*Cero emisiones*” debería contemplarse a medio plazo como objetivo integral en el transporte marítimo, al menos a nivel nacional e interinsular, a través de propuestas, además de las citadas sobre el uso de combustibles VLSFO, tales como; alargar la vida útil de los buques (de 20 a 25 años al menos); adoptar nuevos combustibles procedentes de fuentes renovables, establecer incentivos financieros para la transición de combustibles fósiles; incentivos fiscales como parte de las estrategias climáticas; implementar el etiquetado “*Blue Shipping*” (etiqueta que figuraría en los bienes que certifique que en su transporte se han usado bajas emisiones); colaboración de las navieras con IMO sobre datos de consumos de cada buque; aplicar la reducción baja velocidad (*slow streaming*) en aguas territoriales y jurisdiccionales; designar nuevas zonas ECA; y entre otras adaptar las infraestructuras portuarias para evitar que los buques sigan quemando combustible mientras permanezcan atracados.

### 3.2. BUQUE MODELO

Se ha escogido como buque modelo el “Volcán de Taburiente” que opera en navegación interinsular en las islas canarias, concretamente entre Tenerife, la Gomera y La Palma, es de tipo Ro-Ro/Passenger Ship, por lo que transporta carga rodada y pasajeros.



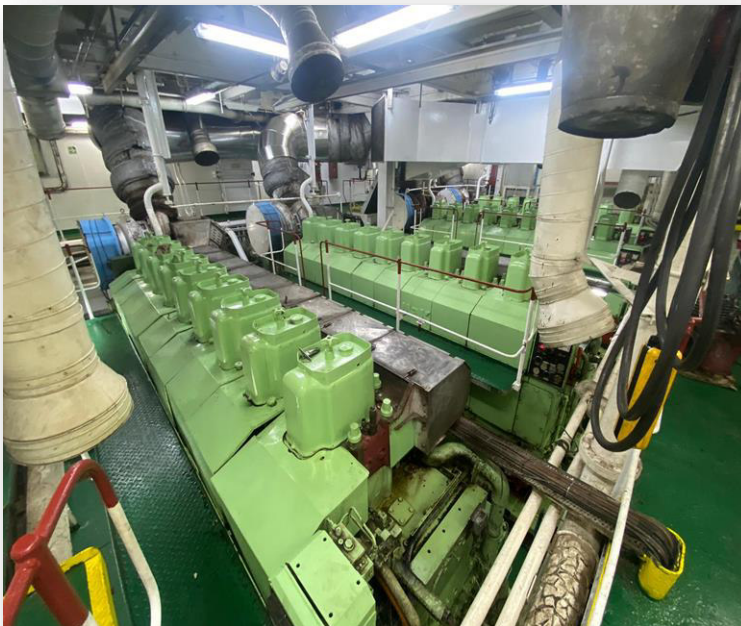
**Ilustración 2: Volcán de Taburiente**  
Fuente: Trabajo de campo

Este buque dispone de 4 motores MAK de 4500 kW, a 600

rpm cada uno de ellos, teniendo ejes y hélices de paso variable independientes para

lograr una velocidad media de navegación de 22 nudos aproximadamente.

Este buque es de bandera española con número IMO 9348558, construido en los astilleros Hijos de J. Barreras, realizando su botadura el día 2 de diciembre de 2005 en Vigo y registrado en el



**Ilustración 3: MMPP**  
Fuente: Trabajo de campo

puerto de Santa Cruz de Tenerife. Este barco está actualmente fletado por Naviera Armas.

Los motores están divididos en dos ejes, dos motores por eje que van a una reductora cada uno de los ejes, estas reductoras tienen como función reducir las 600

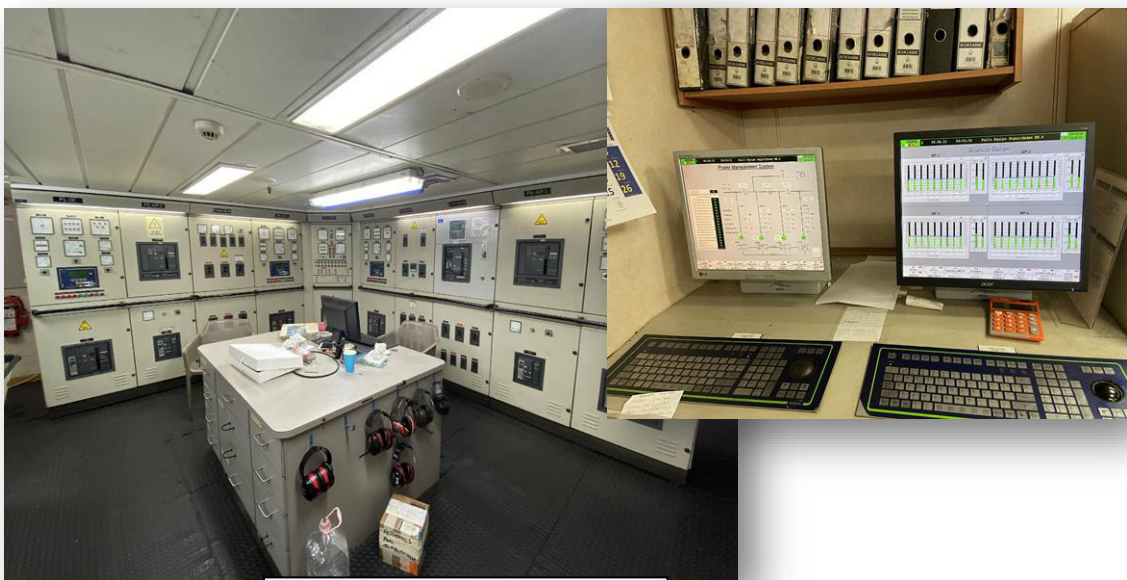
rpm a las que trabaja el motor, llevándolas hasta 200 rpm. y estas mismas van hacia dos hélices de paso variable. Estas dos reductoras están conectadas mediante un eje a dos generadores de cola encargados de suministrar electricidad al barco en navegación.

La sala de control se encuentra en el tecla nº2 dónde se encuentran todos los cuadros eléctricos de los motores principales, de los motores auxiliares, HPV, desde aquí procedemos a arrancar los motores principales y embragarlos, también nos encontramos con un ordenador dónde vemos los parámetros de los motores, un listado de alarmas que se puedan encontrar en la sala de máquinas, encendido de bombas y ventilación de toda la cámara, achique de pocetes de la sentina, nivel de tanques de F.O y de D.O.

Siguiendo con los equipos del mismo tecla, nos encontramos con la sala donde se encuentran los compresores, con las dos botellas de aire de



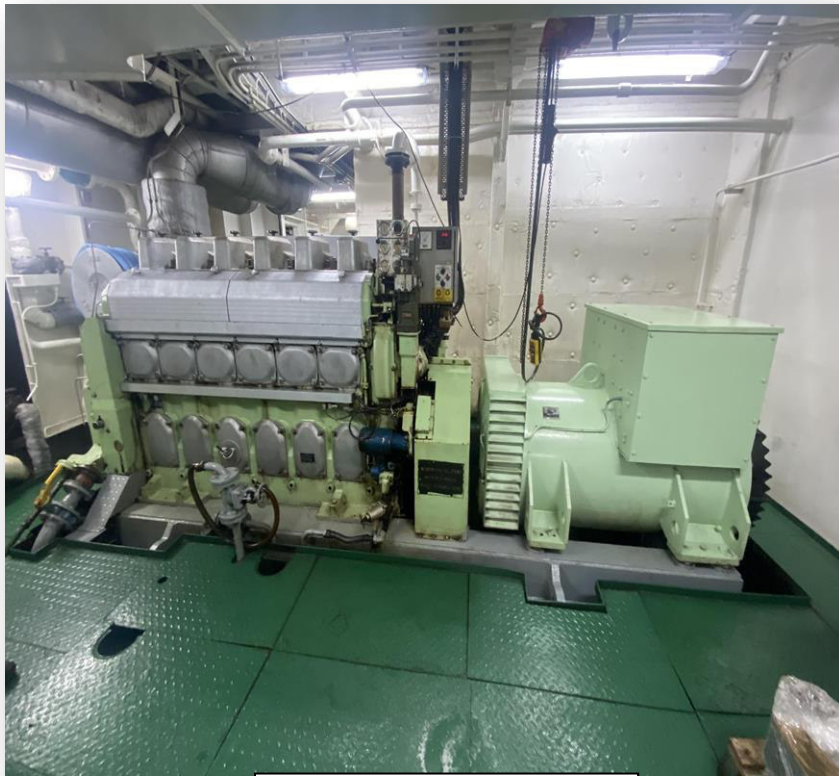
**Ilustración 4: Reductoras**  
Fuente: Trabajo de campo



**Ilustración 5: Sala de control**  
Fuente: Trabajo de campo

arranque de 30 kg cada una; junto con el pañol de respetos; también se encuentra una sala con el equipo de aire acondicionado de pasaje, caldera de mechero y el tanque de la cisterna, enfriadores de baja y de alta de los motores principales y auxiliares, dos evaporadores a babor y estribor, la sala de

depuradoras, dos de F.O y una de D.O, cuatro de aceite y una de aceite del motor auxiliar, y el módulo de combustible.



**Ilustración 6: Sala de auxiliares**  
Fuente: Trabajo de campo

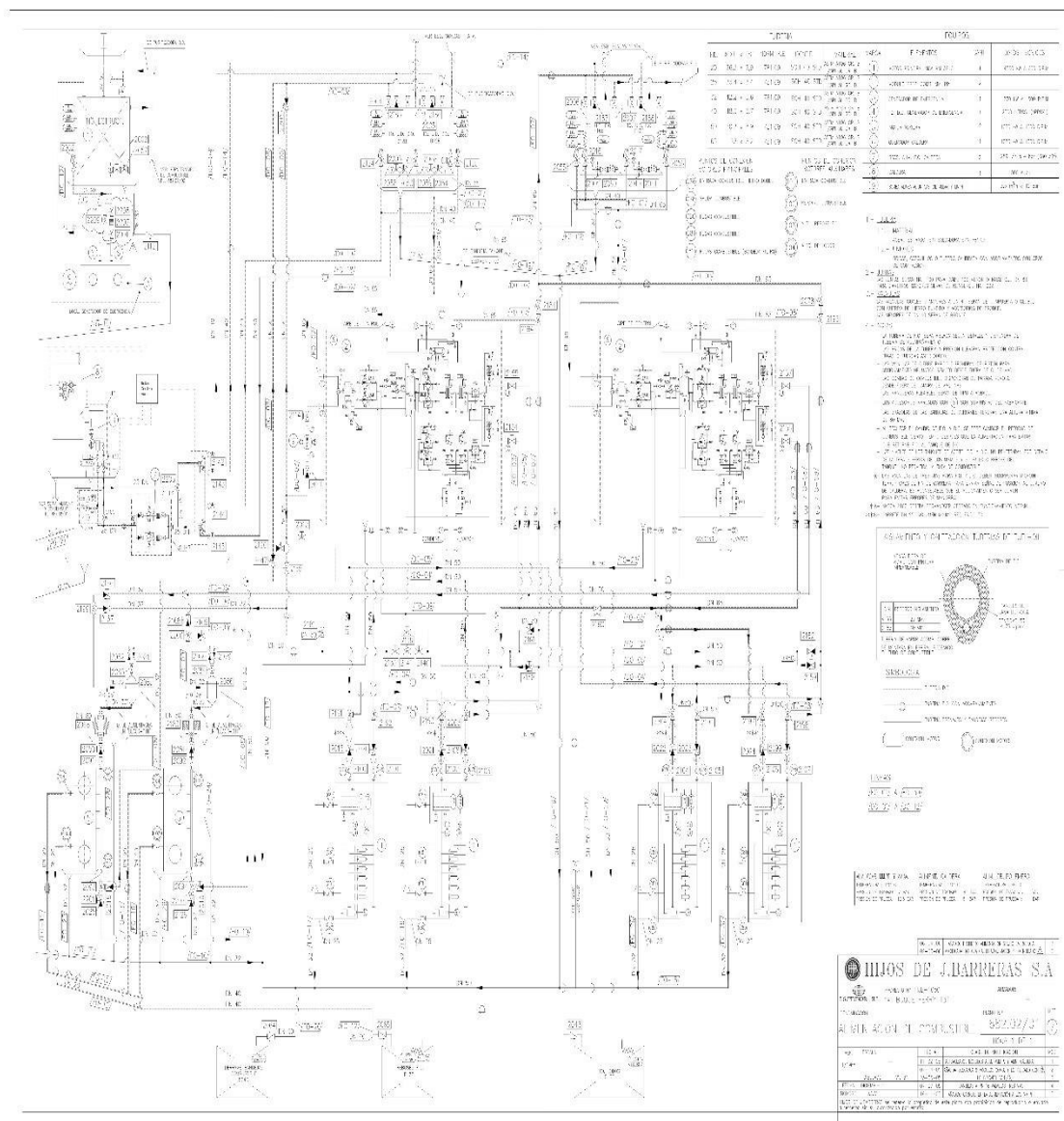
### **3.6. ELEMENTOS GENÉRICOS DE UN CIRCUITO DE COMBUSTIBLE DE UN BUQUE CONVENCIONAL**

Después de describir las características principales del buque, marco referencial de este TFM incluyendo las características generales de la sala de máquinas, nos centraremos en este capítulo en el sistema de combustible, al que afecta principalmente la ya comentada normativa “IMO 2020”. Además de considerar la importancia de los equipos que pertenecen al sistema de combustible, por ejemplo, depuradora, módulo de combustible, inyectores, filtros, etc., hemos de considerar las condiciones en las que el combustible es suministrado al buque, por supuesto el tipo de combustible que se suministra, entender los diferentes equipos de un sistema de combustible marino, desde que el producto es suministrado al barco, mediante cualquiera de los medios de bunkering disponibles, en función del puerto, operativa etc por ejemplo con una cuba o gabarra, su paso por todo el sistema de combustible, hasta que es pulverizado en cada cilindro del motor para su aprovechamiento energético.

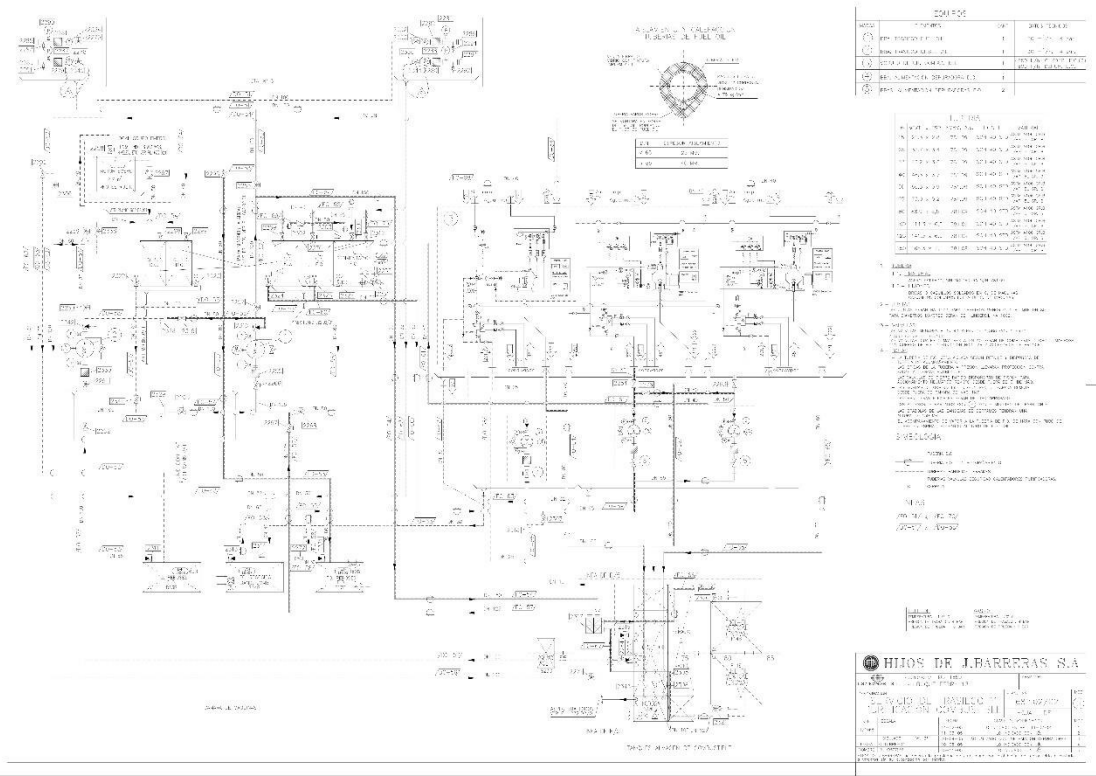
### 3.6.1. CIRCUITO DE COMBUSTIBLE DEL VOLCÁN DE TABURIENTE

A continuación, haremos una breve descripción del circuito de fuel del Volcán de Taburiente:

En la ilustración nº7-8 estudiamos el plano del sistema de fuel del buque modelo, desde que sale del tanque de almacén hasta que el de sedimentación lo manda a los diarios.



**Ilustración 7: Plano de alimentación de combustible del Volcán de Taburiente**  
Fuente: Manuales del Buque [13]

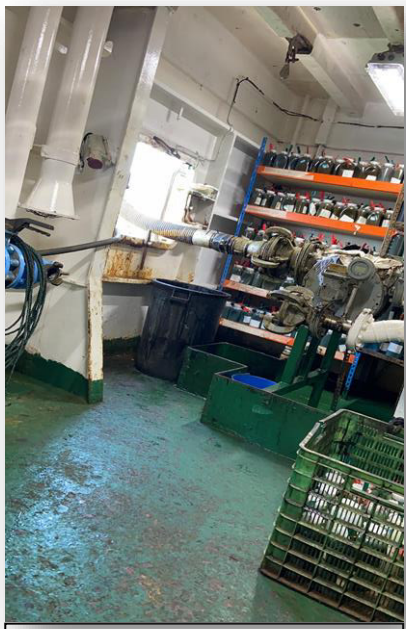


**Ilustración 8: Plano de Purificación de combustible del Volcán de Taburiente**  
**Fuente: Manuales del Buque [13]**

El fuel se suministra por bunker, en este caso, por una empresa externa mediante una cuba que incorpora el fuel en los tanques de almacén, con una capacidad, cada uno de 100 m<sup>3</sup>, haciendo consumo cada día de 50 ton lo que vendrían a ser dos cubas.

En el buque se encuentran dos depuradoras de combustible, aunque solo está en funcionamiento una y la otra de respeto. Esta depuradora toma el fuel del tanque de sedimentación y lo limpia a través de sus platos, a diferencia del tanque de decantación que espera a que por gravedad caiga el agua al fondo del tanque.

El combustible que sale de la depuradora es enviado a los tanques diarios de capacidad 22 m<sup>3</sup> cada uno.



**Ilustración 9: Bunker Station**  
**Fuente: Trabajo de campo**



**Ilustración 10: Depuradoras de combustible**  
Fuente: Trabajo de campo

De los tanques del diario el fuel se envía a los módulos de combustible, que en este caso serán dos, uno para cada tres motores. Estos dos módulos están equipados con dos bombas de alimentación

(**feeders**), que serán las encargadas de llevar del tanque del diario al módulo el combustible. Luego el fuel pasará por las bombas que alimentarán las bombas de inyección

(**booster**), de estas bombas el fuel pasa al tanque de mezcla (**mixing tank**), que mezclará el fuel que viene de las bombas con el que retorna de los motores al no ser quemado, y de ahí va directo al motor.



**Ilustración 11: Módulo de combustible**  
Fuente: Trabajo de campo

## IV. METODOLOGÍA

La metodología empleada en este TFM, ha sido básicamente el resultado de la experiencia del autor como alumno y como Oficial de Máquinas en este buque, en el período comprendido entre 2020 y 2023, lo que hace que haya vivido en primera persona el cambio de combustible y su preparación de equipos, tanques, suministro, etc. llevado a cabo desde el último trimestre de 2019 hasta enero de 2020 tal y como se relaciona en la normativa IMO2020.



**Ilustración 12: El autor en trabajos en sala de máquinas**

**Fuente:** Trabajo de campo



## V.RESULTADOS

### 5.1. COMBUSTIBLES USADOS EN EL PERÍODO DE ESTUDIO

Una vez hecha la descriptiva del sistema de combustible descrito en el apartado 3.6.1, describiremos a continuación los dos tipos de combustible empleados, sus características principales, sus diferencias, y analizaremos posibles ventajas e inconvenientes derivadas de su uso.

Debido a la nueva normativa IMO 2020 el máximo contenido de azufre permitido en el combustible para su consumo en todas las zonas de navegación es del 0,5%, para ello la naviera optó por el cambio de combustible pasando a consumir un tipo “*Very Low Sulphur Fuel Oil*” (VLSFO), desechando ya sea por la viabilidad económica, logística, etc. las otras vías como la de las torres de lavado de gases de escape (Scrubbers), o uso de gas, entre otras.

Durante el cambio de combustible y como se comentó en el TFG presentado por el autor, los fabricantes de cada equipo del sistema de combustible recomendaron una limpieza total de los equipos por los que había pasado el fuel anterior para así eliminar cualquier tipo de contenido del combustible anterior, eliminando la posibilidad de mezclas o variación en los parámetros exigidos.

La siguiente tabla muestra la comparativa de las características de los dos combustibles usados antes y después del cambio, exactamente con anterioridad al 30/11/2019 se usó el IFO380 y con posterioridad al 13/12/2019 se usó el VLSFO.

	<b>IFO 380</b>	<b>VLSFO 0,5 %</b>
Densidad a 15°C g/ml	0,9891	0,9702
Viscosidad a 40°C (cst)	359,70	380,00
Azufre % m/m	2,11	0,49
Inflamabilidad (°C)	110.0	100

**Ilustración 13: Tabla comparativa combustible**  
Fuente: <https://marinefuels.cepsa.com/> [16]

## 5.2 ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO DEL CIRCUITO DE COMBUSTIBLE

En este punto del capítulo de Resultado mostraremos los gráficos y datos del mantenimiento realizado en los principales elementos del sistema de combustible del buque modelo, haciendo una comparativa entre los mantenimientos realizados en idénticos elementos antes y después de la aplicación de la norma IMO 2020.

Se han escogido para analizar los datos, los años 2018 y 2023, como muestra del mantenimiento realizado, debido a que, el cambio de combustible fue realizado en enero de 2020, aunque su preparación empezó en diciembre de 2019, de esta forma los datos no estaban afectados por el tránsito y adaptación de los elementos del sistema al nuevo combustible descrito en la Ilust. 13.

Se han escogido 13 trabajos de mantenimiento realizados a elementos del sistema de combustible de los Motores Principales del Buque modelo, que principalmente pudieran ser afectados por el cambio de combustible: Filtro de trasiego; Engrase de cremalleras; Limpieza de canaletas; Filtros Duplex; Trenes alternativos; Bombas de inyección; Inyectores; culatas; Tubos de inyección; Drenaje de fugas de fuel; Depuradoras de fuel; Filtros de la toma de consumo de fuel; y Filtros de los módulos de combustible.

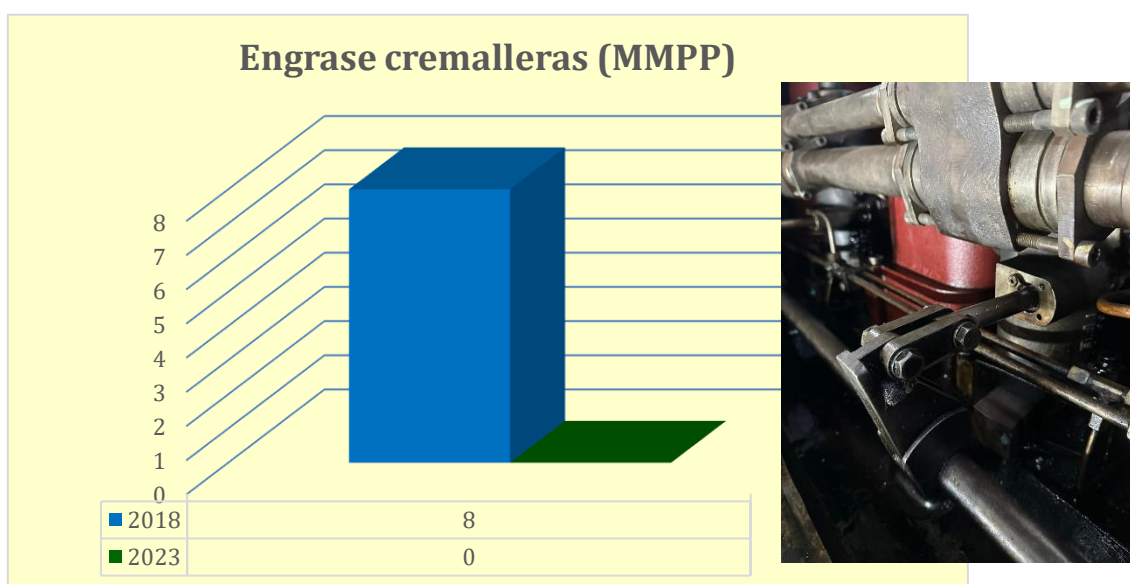


**Ilustración 14: Vista general MMPP**  
Fuente: Trabajo de campo

Con respecto al filtro de trasiego no se ha tenido ninguna actuación extraordinaria fuera de las ya programadas, razón por la que no se expone ningún gráfico en este Capítulo de Resultados.

### 5.2.1. ENGRASE DE CREMALLERAS DE MOTORES PRINCIPALES

El mantenimiento rutinario de las cremalleras se realiza una vez por semana, tanto en el año 2018 como en el año 2023. En los gráficos se muestra únicamente los mantenimientos que se han realizado fuera de estos mantenimientos semanales.

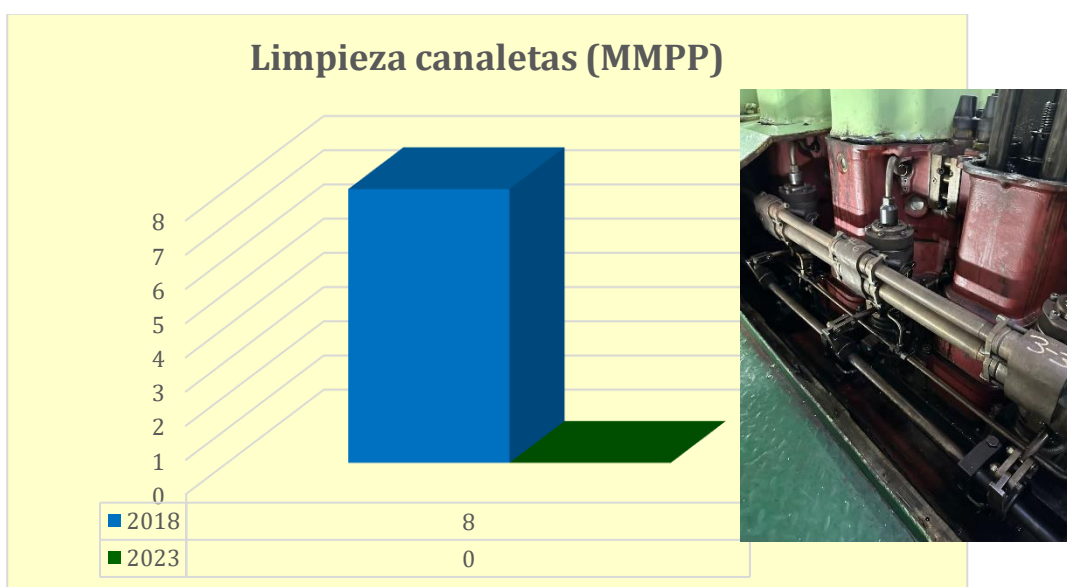


**Ilustración 15: Engrase de cremalleras**  
Fuente: Trabajo de campo

Como se observa en el gráfico anterior, además del ya comentado mantenimiento rutinario de las cremalleras, en el 2018 se realizaron 8 actuaciones de mantenimiento por mal engrase de las mismas, mientras que en el 2023 además de las rutinarias realizadas semanalmente, no se tuvo que actuar de forma extraordinaria.

### 5.2.2. LIMPIEZA DE CANALETAS DE MOTORES PRINCIPALES

En el mantenimiento de la limpieza de canaletas el cual lo realiza el engrasador junto al caldereta, el cual lo llevan a cabo una vez por semana, tanto en el año 2018 como en el año 2023. En los gráficos se muestra únicamente los mantenimientos que se han realizado fuera de estos mantenimientos semanales.



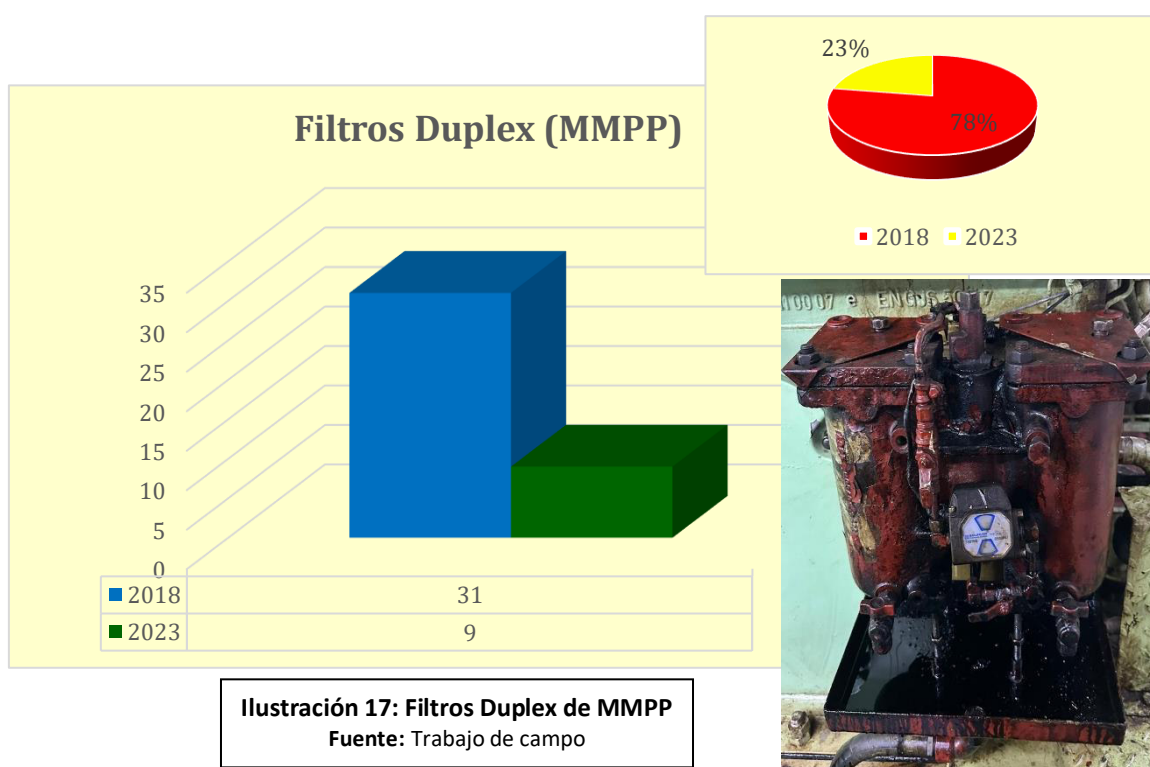
**Ilustración 16: Limpieza de canaletas**  
Fuente: Trabajo de campo

Como se observa en el gráfico anteriormente expuesto, además del ya comentado mantenimiento semanal de las canaletas, en el 2018 se realizaron 8 actuaciones de mantenimiento por pérdida de las bombas de inyección/tubo de inyección, mientras que en el 2023 además de las rutinarias realizadas semanalmente, no se tuvo que actuar de forma extraordinaria.

### 5.2.3. FILTROS DÚPLEX DE MOTORES PRINCIPALES

En esta actuación de mantenimiento, se han agrupado los filtros Dúplex de alimentación de los Motores Principales.

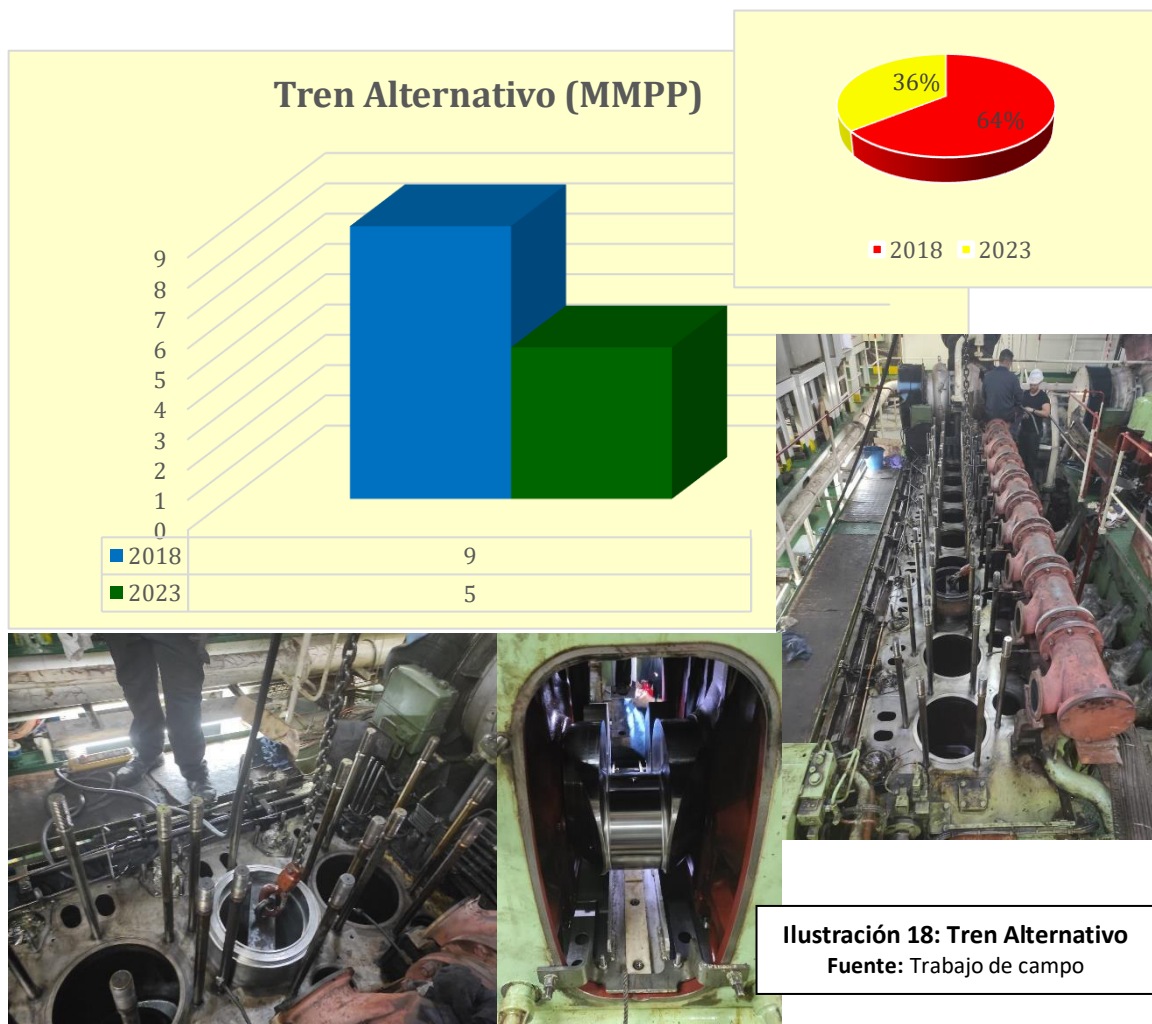
El mantenimiento rutinario de los filtros de combustible consiste tanto en cambiar si es procedente, como en limpiar los mismos se realiza una vez al mes, en el periodo comprendido entre el año 2018 y el año 2023. Al igual que en el resto, se muestra únicamente los mantenimientos realizados fuera de estos mantenimientos rutinarios.



Como se observa en la Ilust 17, en el 2018 se realizaron 31 actuaciones de mantenimiento extraordinaria de cambio y/o limpieza de los filtros, mientras que en el 2023 además de las rutinarias realizadas mensualmente, se tuvo 9 actuaciones fuera de la rutina, lo que representa un 20% de actuaciones en el mantenimiento de los filtros de combustible del año 2023 frente al 2018.

#### 5.2.4. TREN ALTERNATIVO DE MOTORES PRINCIPALES

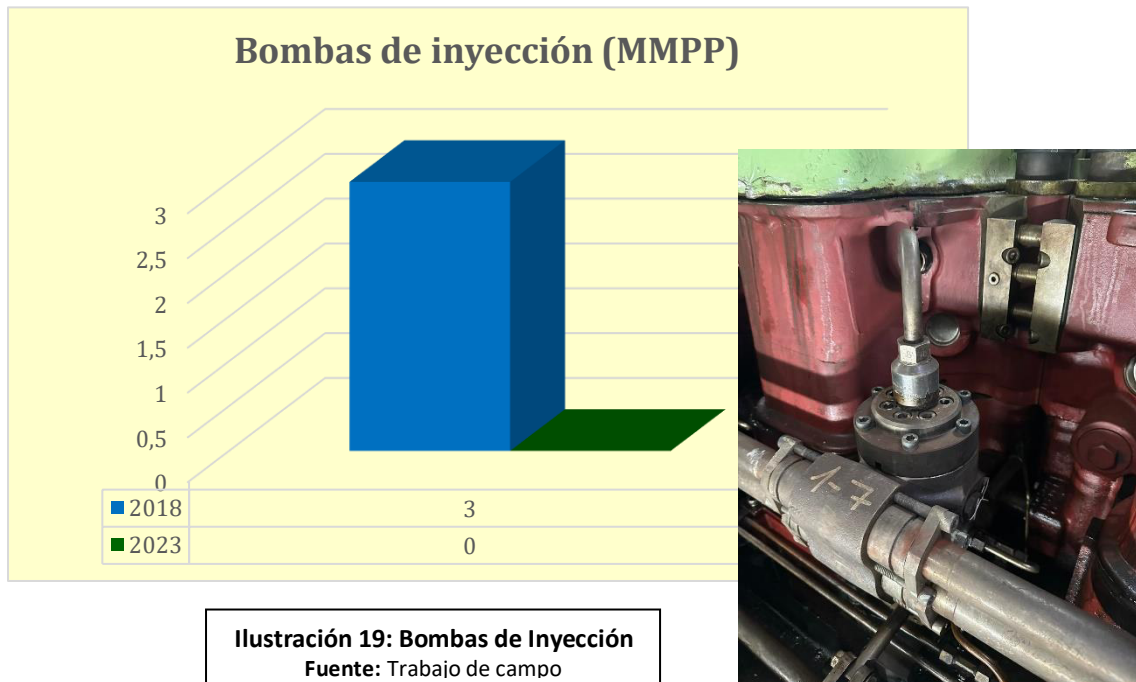
El mantenimiento del tren alternativo de los MMPP se realiza de forma rutinaria por el cumplimiento de horas/varada cada dos años de los cilindros. En el mismo se procede a revisar aros, culata, pistón, flexiones, etc., durante los años comprendidos entre el 2018 y el 2023 la frecuencia de este mantenimiento es la misma. Hemos representado aquellas actuaciones extraordinarias fuera de las previstas por horas/varada cada dos años.



En la tabla de datos anterior se observa que en el 2018 se realizaron 9 actuaciones de mantenimiento extraordinaria de los trenes alternativos, mientras que, en el 2023, se redujo dichas actuaciones a 5, lo que representa un 36% de actuaciones del año 2023 frente al 64% del 2018.

### 5.2.5. BOMBAS DE INYECCIÓN DE MOTORES PRINCIPALES

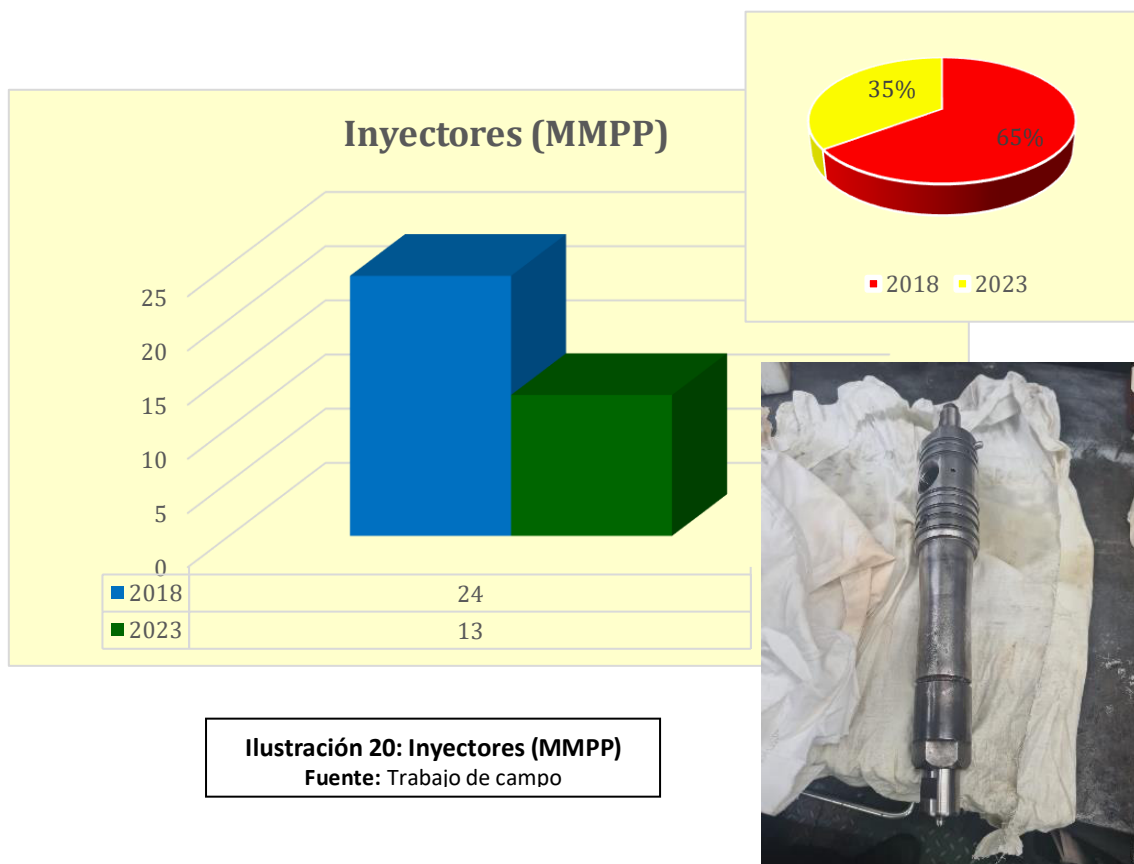
El mantenimiento normal de las bombas de inyección de los MMPP, se realiza cada 15.500 horas de funcionamiento, o mientras el buque se encuentra en varada cada dos años normalmente.



Como podemos ver en la Ilus. 19, además de las revisiones bianuales de las bombas de inyección durante el año 2018, antes del cambio de combustible se tuvieron que realizar 3 actuaciones extraordinarias en las bombas, mientras que con posterioridad al cambio (año 2023 de estudio), no se ha realizado ninguna actuación.

## 5.2.6. INYECTORES DE MOTORES PRINCIPALES

Para el mantenimiento normal de los inyectores de los MMPP, se suele realizar por 7.500 horas o por una mala inyección del mismo, como actuación extraordinaria, por lo que se debe intervenir para cambiar inmediatamente ya que puede ser la primera de las razones por las que se produzca una bajada de temperatura del cilindro marcado y una mala combustión.

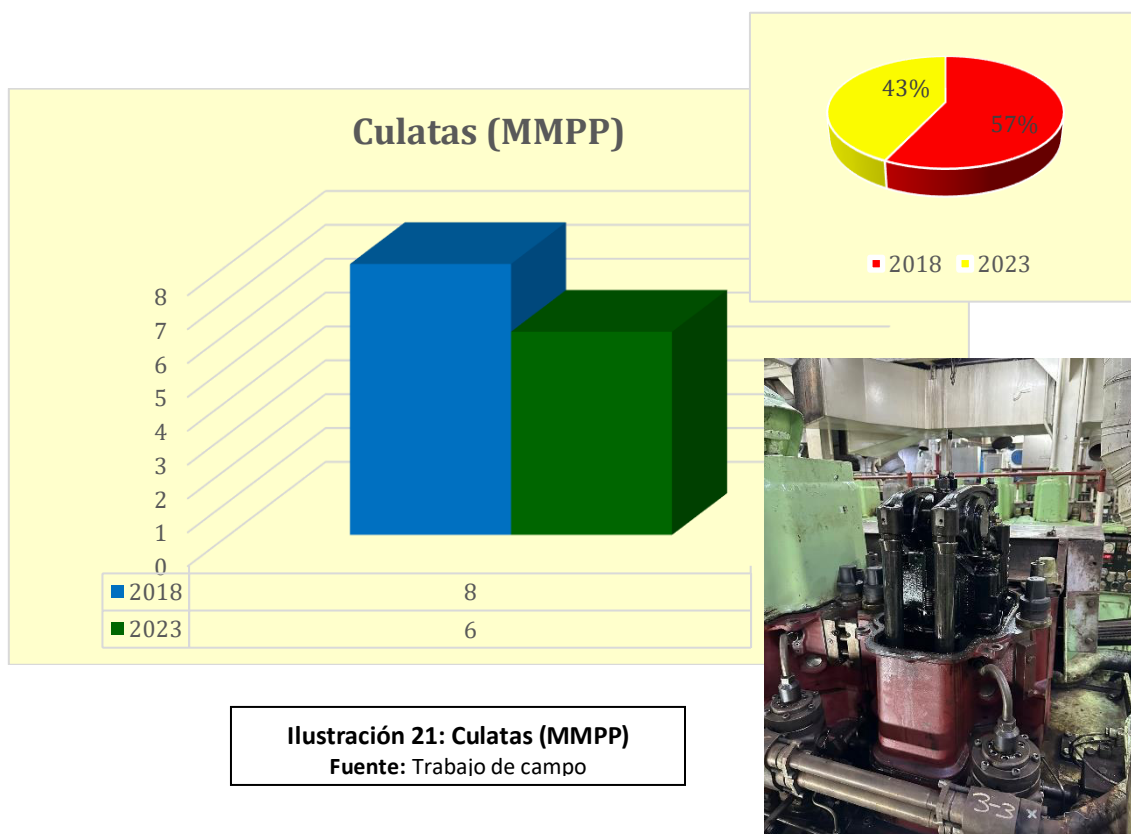


Podemos observar ver en la ilustración anterior, que además de las revisiones por 7.500 horas que se hacen cada año durante el año 2018, antes del cambio de combustible se tuvieron que realizar 24 actuaciones extraordinarias en los inyectores, mientras que con posterioridad al cambio en el año 2023 se realizaron 13 intervenciones lo que representa que en el 2023 se realizaron un 35% de intervenciones extraordinarias comparadas con el 2018.



### 5.2.7. CULATAS DE MOTORES PRINCIPALES

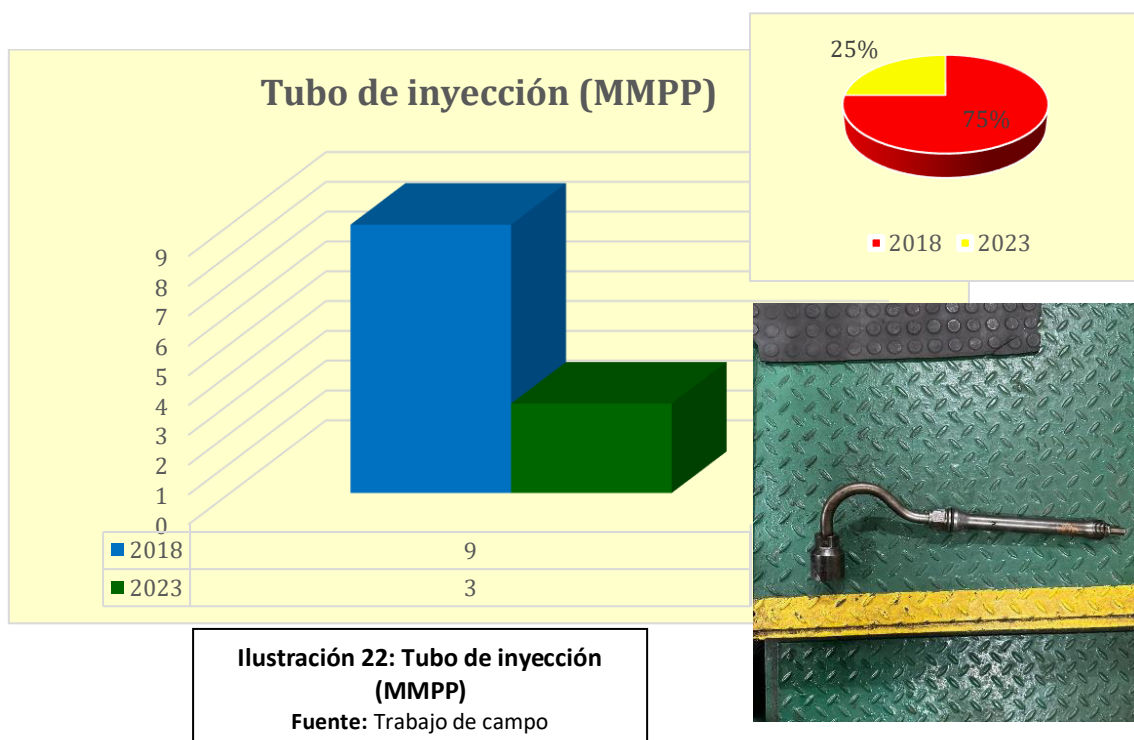
El mantenimiento de las culatas de los cuatro MMPP, se suele realizar por 15.000 horas o por un problema en el interior de la misma, ya que alguna junta puede no estar sellando bien y veamos una pérdida por la purga que tenemos abierta al soplar el motor.



Como hemos representado en las imágenes anteriores, además de las revisiones por 15.000 horas que se hacen, durante el año 2018, antes del cambio de combustible se tuvieron que realizar 8 actuaciones en las culatas, mientras que con posterioridad al cambio en el año 2023 se realizaron 6 intervenciones en las mismas, lo que representa en términos de % una situación bastante pareja 43%-57% de los mantenimientos extraordinarios en los años de estudio.

### 5.2.8. TUBO DE INYECCIÓN DE MOTORES PRINCIPALES

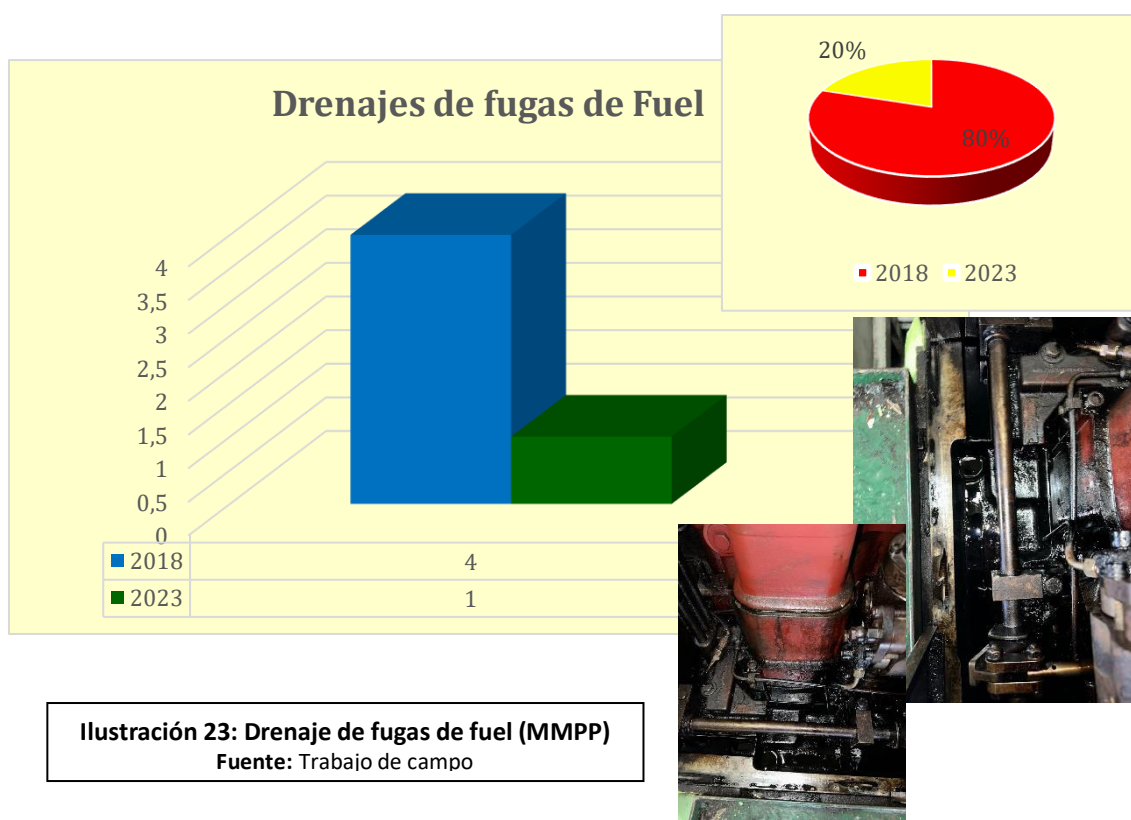
En el mantenimiento de los tubos de inyección, a diferencia del resto de mantenimientos de elementos relacionados en este TFM, los hacemos a medida que se hacen los inyectores ya que cuando tenemos que sacar dichos inyectores tenemos que sacar los tubos de inyección por lo que no los cambiamos, sino que los limpiamos bien y le echamos molykote (grasa para alta temperaturas) para introducirlos de nuevo, el cambio de dicho tubo de inyección se suele realizar por 7.500 horas también.



Como hemos visto, además de las revisiones cada 7.500 horas que se hacen cada año, durante el año 2018, se tuvieron que realizar 9 cambios en los tubos de inyección (75% frente al 2023), mientras que, con posterioridad al cambio en el año de estudio, 2023, se realizaron sólo 3 cambios de tubos de inyección (25% frente al año 2018).

### 5.2.9. DRENAJE DE FUGAS DE FUEL DE MOTORES PRINCIPALES

Este mantenimiento es realizado por los Oficiales de Máquinas cuando salta la alarma de alto nivel de la caja de fugas de fuel, y se le echa química desde la canaleta para intentar destupir el atasco que tiene en el orificio, aunque hay que decir que muchas de las veces es la misma boya de alarma que se queda pegada arriba por el cúmulo de chapapote de fuel. Este mantenimiento como bien dijimos con los tubos de inyección se hace únicamente con esta alarma saltada.

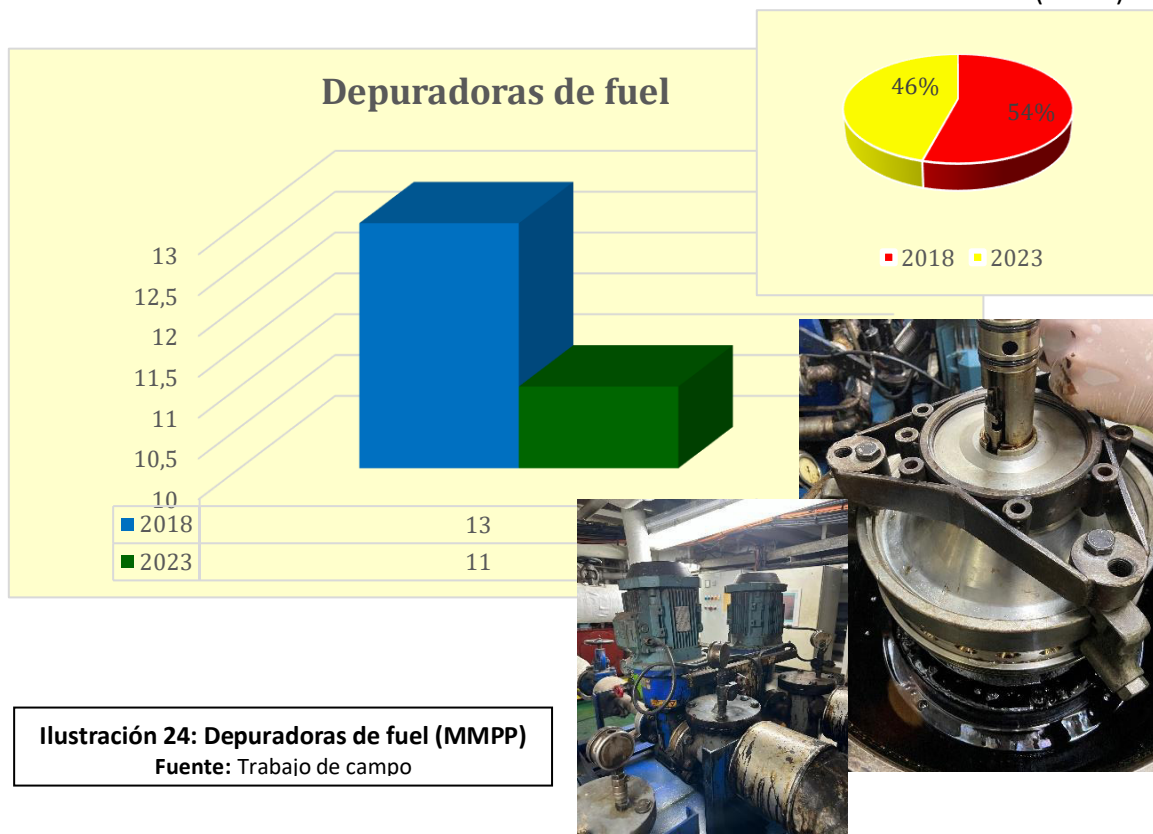


Como se puede observar en el gráfico de barras, durante el año 2018 se tuvo que destupir 4 veces en el año y en cuanto al 2023, posterior al cambio de combustible, contamos únicamente con una actuación en este tipo de mantenimiento.

En términos de porcentaje podemos afirmar que el cambio de combustible ha representado un 20% de actuaciones en el drenaje de fugas de fuel.

### 5.2.10. DEPURADORAS DE FUEL DE MOTORES PRINCIPALES

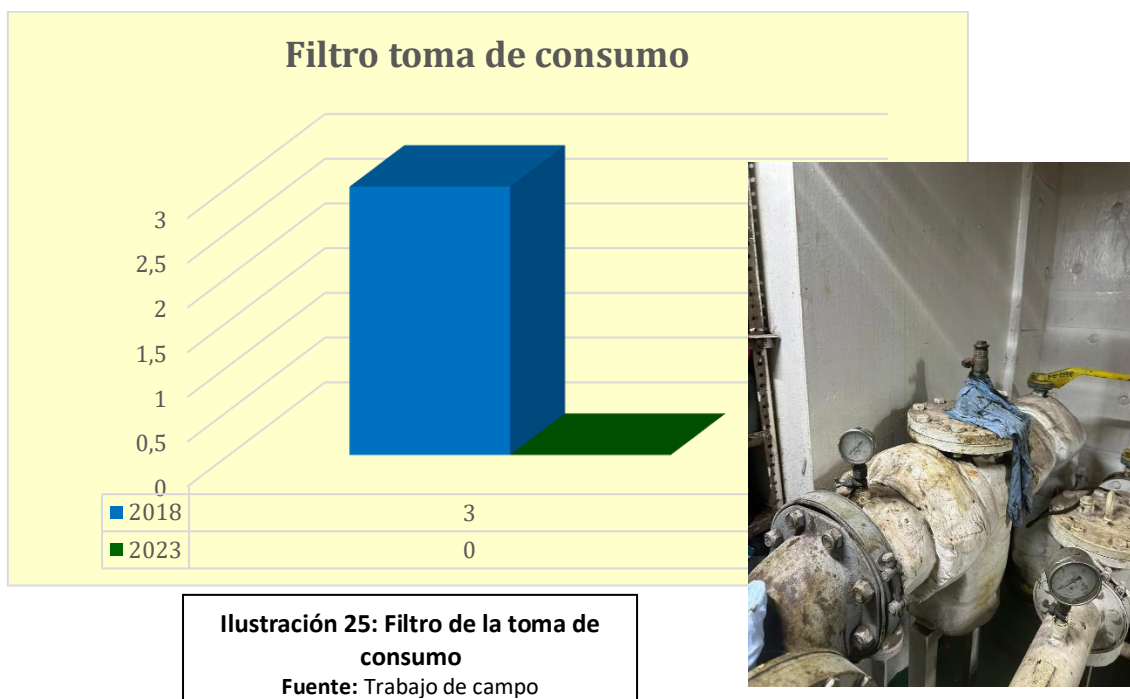
El mantenimiento de la depuradora lo dividimos en 3 mantenimientos que se le pueden realizar entre las cuales entra, el filtro de la misma que se limpia cada 1500 (horas)/por obstrucción del mismo, luego el mantenimiento del menor kit que se le realiza solo hasta el bolo el cual es cada 5000 (horas)/por obstrucción, y por último el mayor kit el cual es el cambio de piezas/limpieza de la depuradora completa desde los rodamientos del motor hasta la correa del mismo el cual se realiza cada 12000 (horas).



En las imágenes superiores mostramos, que además de los mantenimientos por horas comentados anteriormente, durante el año 2018, antes del cambio de combustible se tuvieron que realizar 13 mantenimientos de los cuales 9 fueron del menor kit,(5000 horas), y 4 del mayor (12000 horas) 54 % sobre las depuradoras, mientras que en el año 2023 se realizaron 11 mantenimientos, 8 del menor kit y 3 del mayor (46%), también podemos añadir que este barco consta de dos depuradoras por lo que es más cómodo a la hora de que encontremos un problema en una para que tengamos tiempo para solucionarlo ya que cambiamos la línea a la otra mientras solucionamos el problema.

### 5.2.11. FILTRO DE LA TOMA DE CONSUMO.

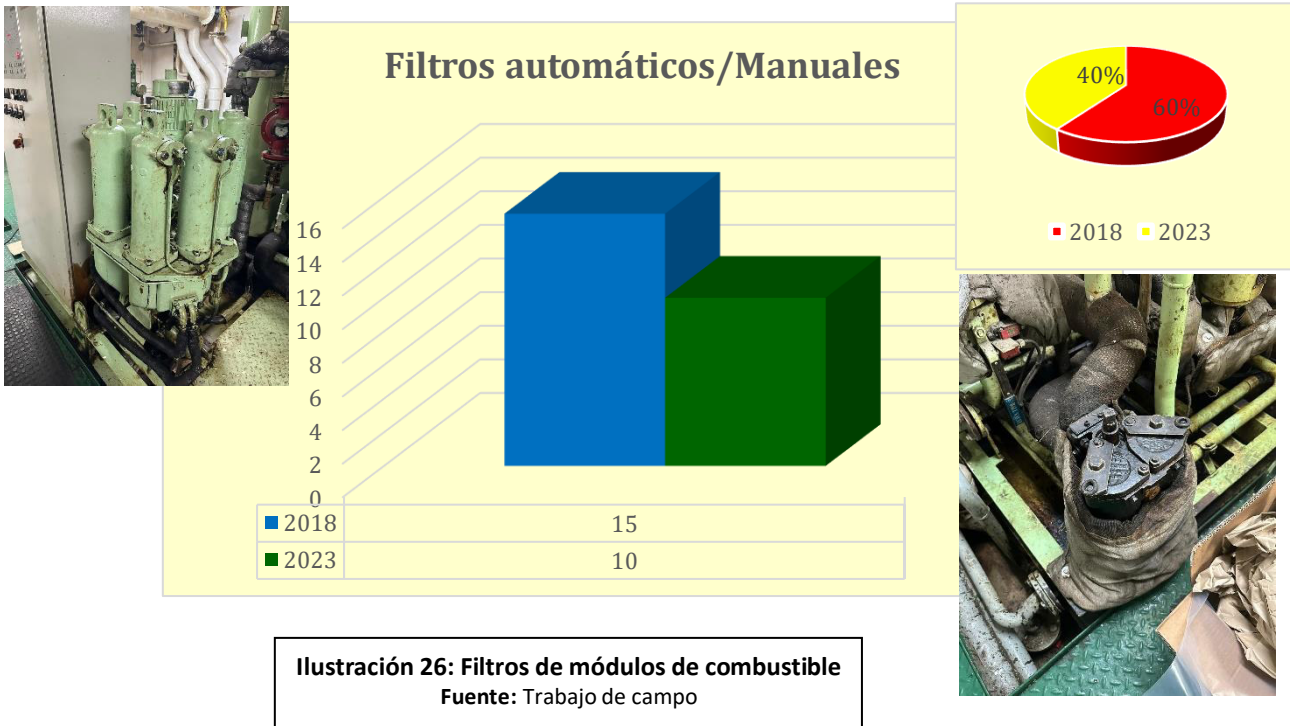
Dicho mantenimiento lo suele hacer el caldereta o el engrasador y si todo va bien se realiza mensualmente. Este filtro se encuentra en la entrada de fuel al buque desde donde va directo al tanque de almacén.



Como podemos observar, dicho filtro se ha tenido que limpiar fuera de su correspondiente mensualidad, 3 veces por obstrucción durante el año 2018 y por no levantar bien la presión marcada en el manómetro que suele ser de 5 bar. durante el año 2023, año de estudio después del cambio de combustible no se tuvo que actuar fuera del mantenimiento programado.

### 5.2.12. FILTROS MÓDULOS (AUTOMÁTICO Y MANUAL).

Por último, y como hemos mencionado, hemos estudiado las actuaciones de mantenimiento sobre los filtros de los módulos de combustible, donde tenemos una válvula de tres vías para indicar hacia que filtro queremos que vaya nuestro combustible. Normalmente se suele tener dirigido hacia el filtro automático de velas ya que él mismo se encarga de ir haciéndole disparos para "limpiarse automáticamente", aunque se suele limpiar con una frecuencia de cada 7 días ya que se obstruye con mucha regularidad.



En el último gráfico de este capítulo de Resultados, podemos ver que, a parte del mantenimiento semanal hecho, en 2018 se ha tenido que intervenir, por motivos de obstrucción, 15 veces (60%) fuera del plazo programado y en 2023 10 veces (40%). El filtro manual no aparece en estas actuaciones porque esta de respeto por si falla el filtro automático, o durante la operación de limpieza del automático.

## VI. CONCLUSIONES

En este sexto apartado del presente Trabajo Fin de Master, vamos a plasmar las evidencias que entendemos más relevantes en el desarrollo del actual Trabajo de Investigación:

1. Se han identificado los elementos de los sistemas de combustible cuyo mantenimiento entendemos que es imprescindible para el buen funcionamiento del sistema de combustible y por ende del propio Buque.
2. Se ha hecho un estudio de los combustibles suministrados al buque antes y después de la implantación de la normativa IMO - 2020.
3. Se ha comprobado después del problema de combustible suministrado durante el período de cambio del mismo descrito en el TFG del autor, que no ha vuelto a haber problemas con la calidad y adaptación de los equipos al nuevo combustible.
4. Se han estudiado actuaciones ordinarias o normales de mantenimiento en los 13 equipos del sistema de combustible programadas, evidenciando que se han cumplido por norma general con las especificaciones de los fabricantes. desde el año 2018 al 2023, no ha cambiado las citadas actuaciones programadas de mantenimiento.
5. Sin entrar a valorar cuestiones económicas, se ha demostrado que el cambio de combustible impuesto por la normativa IMO 2020, ha traído consigo una disminución en todas las actuaciones extraordinarias del mantenimiento en los 13 elementos estudiados del sistema de combustible del Buque Modelo.

- 6.** En el filtro de trasiego de combustible de fuel desde el tanque de almacén al tanque de sedimentación del Buque, se ha comprobado que no ha tenido ninguna actuación extraordinaria en los años de estudio antes y después del cambio de combustible, lo que reafirma que las actuaciones de mantenimiento, programadas, cada 20 días son efectivas. Por esta razón no se ha expuesto ningún gráfico en el capítulo de Resultados.
- 7.** En 4 de los equipos del sistema de combustible, después del cambio de combustible, no han tenido ninguna actuación extraordinaria de mantenimiento fuera de las ya programadas, a saber: Engrase de cremalleras; limpieza de canaletas, desmontaje y montaje de bombas de inyección, y limpieza de filtros de combustible de la toma de consumo.
- 8.** En 4 de estos equipos: Inyectores; Tubo de inyección; drenaje de fugas y Filtros Duplex la disminución ha representado más del 65% de reducción de actuaciones en el 2023 frente al 2018.
- 9.** En otros 4 equipos, aunque se ha disminuido el número de actuaciones del año 2023 frente al 2018, dicha disminución no es tan evidente, por lo que se aconsejaría revisar en estos equipos el número de actuaciones programadas. Dichos equipos son los trenes alternativos; Culatas de los MMPP; Depuradoras de fuel y limpieza de los Filtros automáticos.
- 10.** En general esta disminución de actuaciones extraordinarias en los 12 equipos del sistema de combustible estudio, a pesar del envejecimiento propio del equipo hace que, desde el punto de vista del sistema de combustible de los Motores Principales, esencial para la eficacia energética, se haya alargado la vida útil del propio buque.



## VII. BIBLIOGRAFÍA

El trabajo realizado se basa en gran medida en la información obtenida durante las prácticas profesionales, mediante recopilación de datos, toma de fotografías, realización de trabajos y formación adquirida al realizar trabajos de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo a bordo.

Además de datos de fuente propia, nos apoyamos en la siguiente bibliografía para cumplimentarlos:

- [1] <https://www.navieraarmas.com/es/flota/volcan-de-taburiente>
- [2] <http://www.hjbarreras.es/?page=lis-ferries&idp=30>
- [3] <http://www.hjbarreras.es>
- [4] [https://www.cat.com/es\\_ES/products/new/power-systems/marine-power-systems/commercial-propulsion-engines/18536653.html](https://www.cat.com/es_ES/products/new/power-systems/marine-power-systems/commercial-propulsion-engines/18536653.html)
- [5] Manual Reintjes.
- [6] <https://www.wartsila.com/marine/build/engines-and-generating-sets/diesel-engines/wartsila-20>
- [8] Manual Man
- [9] <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/Air-Pollution.aspx>
- [10] Manual Westfalia
- [12] Manual técnico MAK serie 32C
- [13] Manual plano Volcán de Taburiente
- [14] [https://www.sandersequipment.com/inventory/alfa-laval-s-841-fuel-lube-oil-purifier-316ss\\_2-p7450.html](https://www.sandersequipment.com/inventory/alfa-laval-s-841-fuel-lube-oil-purifier-316ss_2-p7450.html)
- [15] <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:pas:23263:ed-1:v1:en>
- [16] <https://marinefuels.cepsa.com/>
- [17] <https://wwwcdn.imo.org/>

## Permiso de divulgación del Trabajo Fin de Máster

El alumno **David Dionis Moreno**, autor del trabajo final de Grado titulado **“Análisis del Mantenimiento de los sistemas de combustible en buque modelo del tráfico interinsular canario tras la implantación de IMO-2020”**, y tutorizado por la profesora **Lidia Paola Padilla Cruz**, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación (registro en la plataforma de TFM), manifiesta que **PERMITE** la divulgación de este trabajo, una vez sea evaluado, y siempre con el consentimiento de su/s tutor/es, por parte de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, del Departamento de Ingeniería Civil, Náutica y Marítima y de la Universidad de La Laguna, para que pueda ser consultado y referenciado por cualquier persona que así lo estime oportuno en un futuro.

Esta divulgación será realizada siempre que ambos, alumno y tutor/es del Trabajo Final de Grado, den su aprobación. Esta hoja supone el consentimiento por parte del alumno, mientras que el profesor, si así lo desea, lo hará constar en futuras reuniones, una vez finalizado el proceso de evaluación del mismo.