



“Comparativa y/o análisis de los circuitos de combustible entre el buque OPDR Canarias y Volcán de Taburiente”

TRABAJO DE FIN DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
GRADUADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

**UDE INGENIERÍA MARÍTIMA
SECCIÓN NÁUTICA, MÁQUINAS Y RADIOELECTRÓNICA NAVAL
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA
Santa Cruz de Tenerife**

**David Dionis Moreno
Septiembre de 2021**

“Comparativa y/o análisis de los circuitos de combustible entre el buque OPDR Canarias y Volcán de Taburiente”



Directores:

D^a Lidia Paola Padilla Cruz

Dr. D. Federico Padrón Martín

Nombre: David Dionis Moreno

Grado: Tecnologías Marinas

Septiembre:2021

D^a Lidia Paola Padilla Cruz-, Profesora CII de la UDE de Ingeniería Marítima del Departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna, certifica que:

D. David Dionis Moreno, alumno que ha superado las asignaturas de los cuatro primeros cursos del Grado en Tecnologías Marinas, ha realizado bajo mi dirección y codirección del Trabajo Fin de Grado nominado “Comparativa y/o análisis de los sistemas de combustible entre el buque OPDR Canarias y Volcán de Taburiente” para la Obtención del Título de Graduado 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 01/09/2021.

D^a Lidia Paola Padilla Cruz
Directora del Trabajo Fin de Grado

Dr. D. Federico Padrón Martín-, Profesor Contratado doctor tipo I de la UDE de Ingeniería Marítima del Departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna, certifica que:

D. David Dionis Moreno, alumno que ha superado las asignaturas de los cuatro primeros cursos del Grado en Tecnologías Marinas, ha realizado bajo mi dirección y codirección del Trabajo Fin de Grado nominado “Comparativa y/o análisis de los sistemas de combustible entre el buque OPDR Canarias y Volcán de Taburiente” para la Obtención del Título de Graduado 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 01/09/2021.

Dr. D. Federico Padrón Martín
Director del Trabajo Fin de Grado

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a mis dos coordinadores de este TFG, D^a Lidia Paola Padilla Cruz y D. Federico Padrón Martín por la paciencia, el apoyo y el tiempo invertido en mí. Ya que sin todos estos matices no hubiera llegado hasta aquí, también quisiera agradecer la colaboración por parte del profesor Servando Luis León, por sus aportaciones realizadas para cumplimentar el capítulo de resultados de este TFG, asimismo transmitir un agradecimiento a todos aquellos profesores del departamento de máquinas navales, ya que de una forma u otra me han ayudado.

Gracias a mis padres y mi hermano, por enseñarme el camino desde el principio y estar siempre tanto para lo bueno y para lo malo, es el mayor apoyo que tengo ahora mismo y no los cambiaría por nada.

Gracias a mis amigos también, por darme esa alegría que en estos momentos necesitaba y por su apoyo total en mí, sin ellos esto tampoco sería lo mismo.

Gracias también a mis compañeros y los amigos que me llevo de la carrera en estos cuatro años, por el compañerismo y el esfuerzo que hemos hecho para llegar hasta aquí.

Y por último gracias a todos los oficiales, y equipo de máquinas con los que he compartido mis prácticas externas, han aportado su granito de arena en ayudarme y hacer que todo parezca más fácil, y eso al final se agradece.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<u>Pág.</u>
I. INTRODUCCIÓN	17
ABSTRACT	19
II.OBJETIVOS	23
2.1 OBJETIVO GENERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES	27
3.1. Volcán de Taburiente	27
3.2. Características generales del buque Volcán de Taburiente	28
3.3. Capacidad de los tanques del Volcán de Taburiente	29
3.4. Planos genéricos del buque y/o equipos del sistema de combustible	29
3.5. OPDR Canarias	45
3.6. Elementos genéricos de un circuito de combustible de un buque convencional	58
IV. MATERIAL Y MÉTODOS	61
4.1. Documentación bibliográfica.....	61
4.2. Metodología trabajo de Campo	61
4.3. Marco referencial	61
4.4. Métodos.....	62
V.RESULTADOS	67
5.1. Comentarios en referencia a la normativa actual respecto a los combustibles utilizados en buques mercantes convencionales.....	67
5.2. Descriptiva de los circuitos de combustible de los buques.....	68
5.2.1 Circuito de combustible del buque OPDR Canarias	70
5.2.2. Circuito de combustible del Volcán de Taburiente	76
5.3. incidencias en el combustible.....	82
5.4 Cuadro sinóptico de sucesos relevantes descritos en el apartado 5.3	91
5.5 Esquema básico del circuito de combustible, puntos críticos	93
VI. CONCLUSIONES	96
VII. BIBLIOGRAFÍA	100

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

En este primer capítulo de **“Introducción”** vamos a desarrollar de una manera genérica los contenidos de los distintos capítulos de este trabajo de fin de grado (TFG).

En el segundo capítulo de este trabajo de fin de grado denominado **“Objetivos”** se van a desarrollar los objetivos que nos hemos planteado en este trabajo de fin de grado, para una mejor comprensión del lector de este TFG, he plasmado un objetivo general único para este trabajo y unos objetivos específicos que hemos enumerado para un mejor desarrollo de este trabajo.

En el tercer capítulo **“Revisión y Antecedentes”** lo hemos dividido en distintos apartados. Lo que se va a desarrollar en este capítulo es describir de una manera genérica los distintos equipos y/o máquinas que nos vamos a encontrar en la sala de máquinas de los buques objeto de este TFG, además como un nuevo apartado dentro de este capítulo haré una breve descripción elemental de los dos barcos convencionales, incorporando datos estructurales como la eslora, manga, puntal etc. Así como las rutas que actualmente realizan ambos buques, para finalizar este capítulo de revisión y antecedentes vamos a añadir las rutas actuales de estos buques e incluso incorporaremos algún detalle significativo y/o relevante de las navieras a las cuales pertenecen ambos buques.

En el cuarto capítulo **“Material y Métodos”** de este TFG, nuestra propuesta es dividirlo en cuatro apartados, el primer apartado de este cuarto capítulo se denomina documentación bibliográfica, el segundo apartado de este cuarto capítulo se denomina metodología del trabajo de campo, y el tercer apartado de este cuarto capítulo se va a denominar marco referencial. Marco referencial que para este trabajo de fin de grado va a ser necesario para obtener las evidencias y/o datos para desarrollar el quinto capítulo de este TFG denominado resultados. Y por último el cuarto apartado se va a denominar métodos.

En el quinto capítulo "**Resultados**", lo hemos dividido en distintos apartados haciendo referencia a los sistemas de combustible actuales de los buques y añadiendo datos que entendemos de interés para el lector de este TFG.

En el sexto capítulo "**Conclusiones**" el lector de este TFG podrá apreciar las conclusiones que se han obtenido después de la realización de este trabajo y que entendemos que cumplen tanto con el objetivo general como específico que nos hemos planteado en este trabajo de fin de grado.

En el séptimo capítulo "**Bibliografía**" se han añadido las fuentes bibliográficas y las webs gráfía en el sentido de indicar las referencias web que se han incorporado en este trabajo de fin de grado, para apoyar el capítulo de revisión y antecedentes.

ABSTRACT

“The following work consists of a study and analysis of the type of fuel oil used and the fuel oil circuits on board of two ships in which I have done my internship as a Marine Engineer Cadet: OPDR CANARIAS and VOLCAN DE TABURIENTE. After my personal experience I was curious about the importance of the external supplies in the maritime business and specifically in bunkering operations. On top of that, an inappropriate fuel supply can cause serious problems in main engine and auxiliary systems.”

II. OBJETIVOS

II.OBJETIVOS

En este segundo capítulo de este TFG, voy a plasmar tanto el objetivo general como los cuatro objetivos específicos que nos hemos planteado en este trabajo.

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general que nos vamos a marcar en el desarrollo de este trabajo de fin de grado es una comparativa entre dos sistemas de combustible de dos buques convencionales.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

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

1. Identificar los equipos y/o maquinarias necesarias e imprescindibles en los sistemas de combustible de los buques mencionados anteriormente.



2. Entender el funcionamiento de los equipos y/o maquinarias imprescindibles en los sistemas de combustible de buques convencionales.



3. Realizar un estudio de los combustibles usados en los circuitos de combustible de los dos buques objeto de este TFG.



4. Analizar los posibles problemas que nos pueden causar los combustibles en los equipos a bordo de los buques mercantes analizados en el capítulo de resultados.

III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

En este tercer capítulo, revisión y antecedentes de este trabajo de fin de grado, para la obtención del título de graduado en tecnologías marinas vamos a realizar primeramente una descripción de los buques marco referencial de este trabajo de fin de grado, para seguidamente y en sucesivos apartados de este capítulo introducir al lector del TFG en diversos aspectos que nos pueda ayudar a la elaboración del capítulo V resultados.

3.1. VOLCÁN DE TABURIENTE

Este buque opera entre 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. 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 puerto de Santa Cruz de Tenerife. Este barco está actualmente fletado por Naviera Armas. [1]



Ilustración nº1. Volcán de Taburiente

Fuente: Trabajo de campo

3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL BUQUE VOLCÁN DE TABURIENTE

En este segundo apartado de este tercer capítulo revisión y antecedentes, vamos a indicar las características más genéricas del buque Volcán de Taburiente, las cuales las mostraremos en forma de tabla:

Eslora total	126,10 m
Longitud entre perpendiculares	115,45 m
Manga de trazado	21,50 m
Puntal	7,5 m
Calado	5,000 m
Arqueo bruto	12.895 GT
Arqueo neto	3.869 NT
Peso muerto	1.400 TON
Desplazamiento	6.135 T
Velocidad	22,5 Knots
MMPP	4 x 4500 kW x 600 rpm
MA	2 x 1080 kW x 1000 rpm
Hélices Pp	2 x hélices principales x 4 palas x 3700 mm de diámetro
Hélices Pr	2 x hélices x 720 kW
Máx. Capacidad	1500 personas
Núm. de cubiertas	8

Ilustración nº2. Tabla de las características generales del buque Volcán de Taburiente

Fuente: [2]

3.3. CAPACIDAD DE LOS TANQUES DEL VOLCÁN DE TABURIENTE

En la siguiente tabla les mostraremos los diferentes tanques y la capacidad de cada uno de ellos.

Capacidad total combustible pesado (F.O)	2 diario x 2 almacén x 1 decantación 358 m ³
Combustible ligero (D.O)	2 x 47,2 m ³
Aceite lubricante	42,9 m ³
Agua de lastre	1130 m ³
Agua dulce	65,5 m ³

Ilustración nº3. Tabla de las capacidades de los tanques

Fuente: [3]

3.4. PLANOS GENÉRICOS DEL BUQUE Y/O EQUIPOS DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE

Mostraremos planos del buque, con la representación de las diferentes cubiertas de las que dispone el barco, partiendo desde la cubierta más alta, la nº8 hasta la más baja donde se encuentra la sala de máquinas nº1 y nº2.

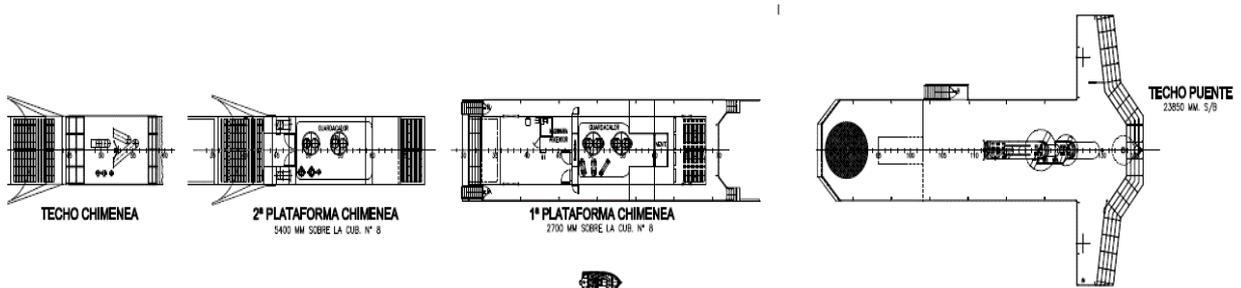


Ilustración nº4. Cubierta superior

Fuente: [3]

Ésta cubierta se encuentra sobre la cubierta nº8 del buque, y es donde se encuentra el **guardacalor** donde nos encontramos con los **economizadores**, encargados de recibir los gases de escape de los motores principales y auxiliares y aprovecharlos

para calentar agua y generar vapor, para calentar los tanques de fuel entre otros durante la navegación. Cuando los motores no se encuentran en servicio estos no se utilizan.

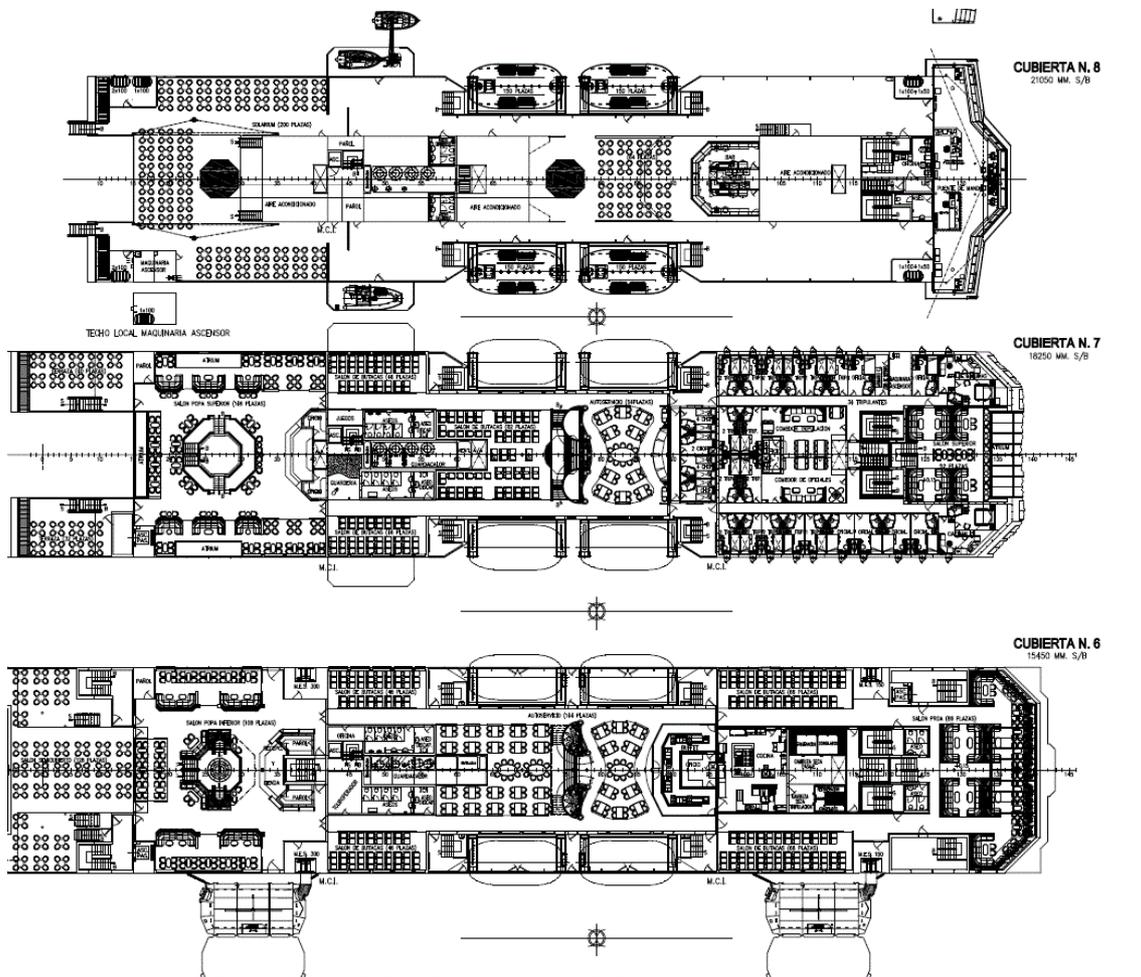


Ilustración nº5. Cubiertas nº 6-7-8

Fuente: [3]

En la cubierta nº8 se encuentra el puente de mando del buque, también nos encontramos con la zona de puesta a flote, donde se encuentran los cuatro **botes salvavidas** y los dos **botes de rescate**. y por último nos encontramos con las 3 salas de aire acondicionado para el pasaje.

En los dos esquemas anteriores en referencia a la cubierta nº 6 y 7, las cuales están destinadas al pasaje como podemos observar en la siguiente ilustración.



Ilustración nº6. Zona de pasaje

Fuente: [1]

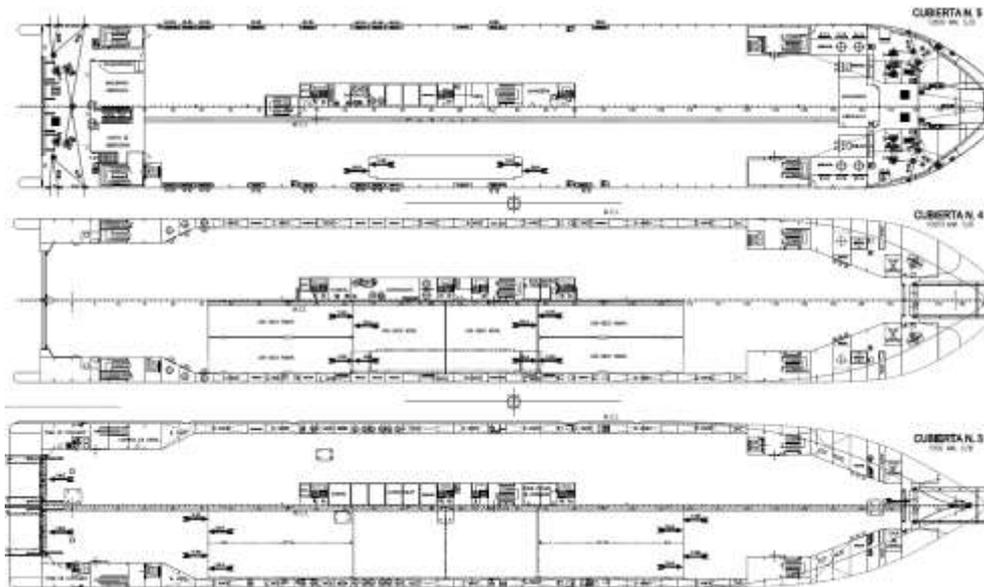


Ilustración nº7. Cubiertas 5-4-3

Fuente: [3]

Las cubiertas 5-4-3 son aquellas utilizadas para el transporte de turismos y vehículos pesados, incluso pueden llevar vehículos con una altura superior a 2,5 m.

La entrada a estas cubiertas se realiza mediante tres rampas situadas en la cubierta 3, dos situadas a popa y una a proa, donde el yelmo y las rampas del barco situadas en proa y popa se abren mediante un panel de mandos maniobrado por el oficial de puente.



Ilustración nº8. Yelmo de proa

Fuente: [3]



Ilustración nº9. Cubierta nº5

Fuente: [3]

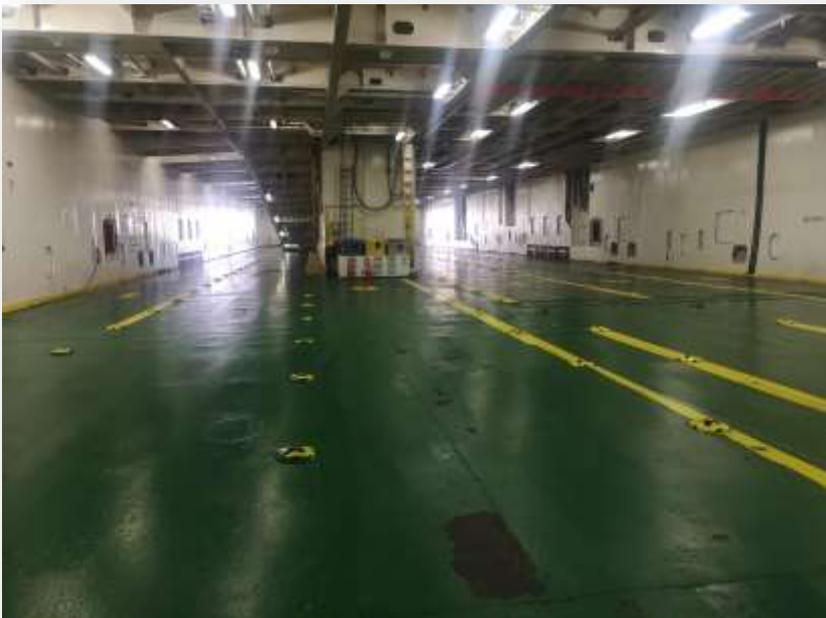


Ilustración nº10. Cubierta nº3

Fuente: Trabajo propio de campo

Y por último para finalizar este apartado, vamos a comentar las cubiertas nº 1-2 donde nos encontramos con la sala de máquinas, que se divide en dos teclas.

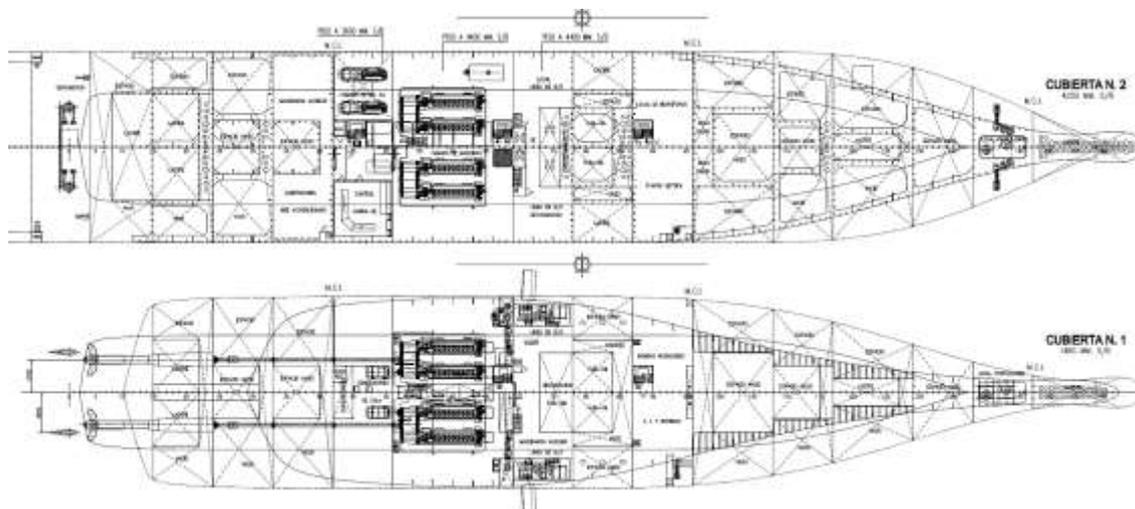


Ilustración nº11. Cubierta nº 1-2

Fuente: [3]

Vamos a iniciar esta descripción en el primer tecla, donde se encuentra la cubierta nº1, aquí nos encontraremos con los 4 motores principales de los que dispone el buque, de marca MAK 9M32C, con una potencia cada uno de 4500 kW como bien comentamos anteriormente, 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.

A continuación, adjuntamos una imagen de los 4 motores principales.



Ilustración nº12. Motores principales, tecla nº1

Fuente: Trabajo de campo

También vamos a añadir una tabla donde pondremos las características de los 4 motores principales:

Fabricante	Caterpillar
Modelo	MAK 9M32C
RPM	600 rpm
Potencia máxima	4500 kW
Nº cilindros	9 cilindros en línea
Diámetro cilindros	320 mm
Carrera	480 mm
Volumen barrido	38.7 l/cilindro

Ciclo	4 tiempos
Peso	49.4 t
Relación carrera/diámetro	1,5
Potencia/cilindro	500 kW
Velocidad media del pistón	9,6 m/s
Sentido de giro	En sentido horario, con opción en sentido anti horario

Ilustración nº13. Características motor principal

Fuente: [4]

Y a continuación adjuntamos otra tabla con las características de las reductoras.

Marca	Reintjes
Tipo	DLG 7747 K41
Revoluciones antes de entrar	600 rpm
Revoluciones después de entrar	200 rpm
Factor de reducción	2,957:1

Ilustración nº14. Características reductoras

Fuente: [5]



Ilustración nº15. Reductora motores principales

Fuente: Trabajo de campo

En esta cubierta nº1 también nos encontramos con el separador de sentinas, las dos tomas de mar de fondo, de alta y de baja, bombas de agua dulce y de agua salada, los dos estabilizadores en estribor y babor, bombas de alimentación de las depuradoras (aceite, F.O, D.O), bomba para el trasiego de F.O y D.O del almacén al tanque de sedimentación, bombas de lastre, hidróforo de agua dulce y de C.I, bombas de C.I, el taller, las sondas de los tanques de almacén de aceite, aceite sucio, diario de D.O, aguas aceitosas, tanque de almacén y de decantación de F.O, bombas sumergibles de HPV, tanque aceite de retorno, tanque de derrames de aceite, tanque de derrames de combustible, reboses de D.O y F.O, lodos, y tanque de agua destilada, bomba del local application.

Ahora adjuntaremos imágenes correspondientes a equipos de la sala de máquinas nombrados anteriormente en el tecla nº1.



Ilustración nº16. Hidróforo C.I

Fuente: Trabajo de campo



Ilustración nº17. Grupo estabilizadores babor

Fuente: Trabajo de campo



Ilustración nº18. Enfriador Aceite Motor principal

Fuente: Trabajo de campo

A continuación, describiremos el tecele nº2, en dónde nos encontramos con la sala de control, 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.



Ilustración nº19. Sala del control de máquinas

Fuente: Trabajo de campo



Ilustración nº20. Sala de control de máquinas

Fuente: Trabajo de campo



Ilustración nº21. Sala de control de máquinas

Fuente: Trabajo de campo

Al salir de la sala de control y en el mismo tecla nos encontramos con los dos motores auxiliares encargados de dar electricidad a todo el barco, estos motores siempre están en funcionamiento menos en puerto en la palma cuando el barco hace conexión a tierra, que se paran.

A continuación, adjuntamos una tabla con las características principales de los dos motores.

Fabricante	Wärtsilä
Modelo	Wärtsilä 20
Ciclo	4 tiempos
RPM	1200 rpm
Potencia máxima	1080 kW
Carrera	280 mm
Diámetro de cilindros	200 mm
Velocidad del pistón	11,2 m/s
Nº de cilindros	6 cilindros en línea
Peso	9,3 TON

Ilustración nº22. Características principales motores auxiliares

Fuente: [6]



Ilustración nº23. Sala de motores auxiliares

Fuente: Trabajo de campo

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

Si salimos de la sala de máquinas y nos vamos a la popa del barco, veremos el local del servo timón, la sala del motor de emergencia en caso de que los motores auxiliares fallaran, se activaría éste automáticamente. Si nos vamos a la cubierta cinco, veremos la planta séptica, donde se realiza el tratamiento de aguas negras y aguas

grises, con calentadores de agua para el uso de la tripulación, y el local de bomba de rociadores.



Ilustración nº24. Local del servo timón

Fuente: Trabajo de campo



Ilustración nº25. Sala de la planta séptica

Fuente: Trabajo de campo



Ilustración nº26. Sala del aire acondicionado de pasaje

Fuente: Trabajo de campo

3.5. OPDR CANARIAS

En este quinto apartado de este tercer capítulo vamos a realizar una descripción más genérica del buque OPDR Canarias, tenemos que destacar al lector de este TFG que este buque, es un buque convencional de línea regular, pero no es de pasaje sino un CON/RO, por lo que la estructura de este apartado difiere a la estructura presentada en los apartados anteriores de este capítulo.



Ilustración nº27. Buque OPDR Canarias

Fuente: Trabajo de campo

En el siguiente apartado estudiaremos el buque **OPDR Canarias**, que es el otro buque que tenemos a describir. Este buque es de **tipo RO/RO Cargo ship** es decir, transporta contenedores y carga rodada, este buque junto al OPDR Andalucía forman la compañía naviera OPDR CANARIAS S.A.

Este buque tiene la línea marítima de Santa Cruz de Tenerife, Las Palmas de Gran Canaria y Sevilla. Esta empresa forma parte de la naviera BERNHARD SCHULTE CANARIAS SA, tiene como puerto de registro Santa Cruz de Tenerife y nº IMO 9331191, fue construido en el año 2006 en los astilleros Fujiam Mawei Shipbuilding Ltd, y la sociedad clasificadora es Germanisher Lloyd.

A continuación, expondremos sus características principales:

Eslora total	145 m
Longitud entre perpendiculares	135 m
Manga de trazado	22 m
Puntal	13,9 m
Calado	6,013 m
Arqueo bruto	11.300 Tn
Arqueo neto	2.800 Tn
Peso muerto	7.300 Tn
Desplazamiento	12.658 Tn
Velocidad	16,4 Kn
MMPP	1 x 6000 kW x 750 rpm
MA	3 x 600 kW x 1800 rpm
Hélice transversal Pp	1 x hélice principal x WÄRTSILÄ CPP2-20250-038-160M-A2A10SDS x 4 palas x 1250 mm de diámetro
Hélice transversal Pr	1 x WÄRTSILÄ FT175H x 1750 mm x 4 palas
Carga rodada Bodeguín	17 remolques
Carga rodada Bodega	44 remolques
Carga contenerizada	500 TEU
Tripulación	16 miembros

Ilustración nº28. Características Principales OPDR Canarias

Fuente: [7]

A continuación, expondremos los gráficos con las distintas cubiertas que contiene el barco



Ilustración nº29. Cubiertas OPDR Canarias

Fuente: [7]

En esta disposición podemos comprobar que la superestructura se encuentra a proa del barco y debajo de ésta el local technical de proa donde nos encontramos con la bomba de C.I y la hélice transversal de proa. En esta superestructura tenemos el puente de mando y la habitación, ésta se compone de cuatro cubiertas, en la cubierta inferior nos encontramos con la lavandería, vestuario para personal de máquinas, y camarotes de camioneros y alumnos. En la cubierta principal se encuentra el comedor de oficiales, comedor de subalternos, cámara frigorífica, pañoles de comida. La siguiente cubierta es la cubierta A donde tenemos los camarotes de los subalternos, el local del aire acondicionado de la habitación, el hospital, el pañol de cubierta, botes de rescate en babor y la grúa para la provisión. Y por último la cubierta B, que contiene los camarotes de los oficiales de ambos departamentos, capitán y jefe de máquinas, la sala de reuniones, un pañol de seguridad y los dos botes salvavidas a babor y estribor, y por encima el puente de mando.

Como vemos en el plano de arriba, la sala de máquinas se encuentra en la popa del barco, esta sala al igual que la del Volcán de Taburiente se divide en dos techos:

Adjuntamos inferiormente una imagen del plano de la cámara de máquinas.

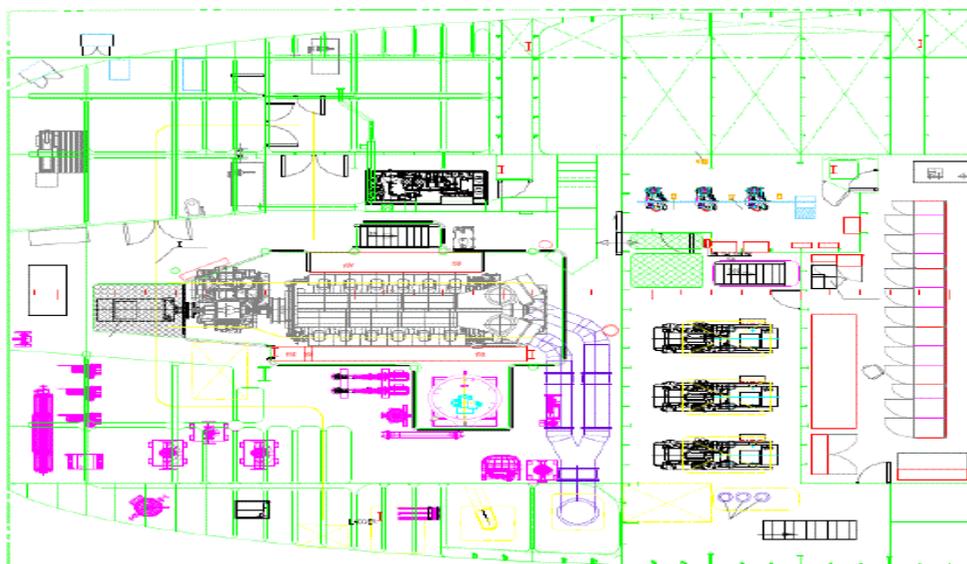
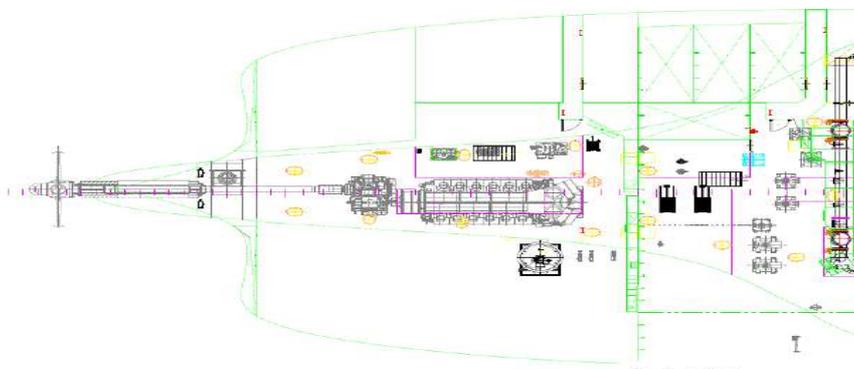
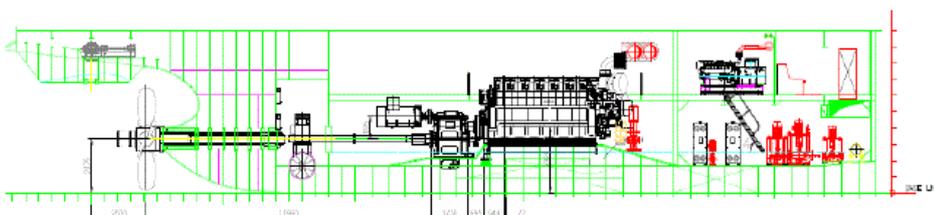


Ilustración nº30. Cámara de máquinas

Fuente: [7]

Empezaremos describiendo el tecele inferior, el cual cuenta con dos salas, una para la sala de bombas, donde nos encontramos con tres bombas de agua salada, dos utilizadas para la navegación, aunque en este caso solo utilizamos una ya que la otra se encuentra de respeto por si fallara la primera, y la tercera en puerto, que contiene un menor caudal, nos encontramos también con la bomba de sentinas, una bomba de C.I, dos bombas de agua de lastre , las dos bombas de trasiego de combustible F.O y D.O, una bomba de lodos y la bomba eyectora del evaporador. también nos encontraremos como bien sitúa el plano con dos enfriadores de baja, las purgas de los dos tanques de sedimentación de F.O y del diario. y los dos fondos de alta a babor y estribor, junto con tres pocetes para achicar de toma de mar.

Adjuntamos varias fotos de lo nombrado anteriormente:



Ilustración nº31. Bomba de lodos

Fuente: trabajo de campo



Ilustración nº32. Bomba nº1 de lastre

Fuente: trabajo de campo

Y la otra sala del tecele inferior es donde nos encontramos con la parte inferior del motor principal, donde tenemos la reductora, el generador de cola y la línea de eje que va a la bocina, luego a babor nos encontraremos con el separador de sentinas, y la bomba de aceite del motor principal, el enfriador de aceite, las bombas sumergibles de la cpp, la bomba de trasiego de aceite lubricante, la bomba de achique de la sentina. Y1 a estribor nos encontramos con las dos bombas de alimentación de la caldera de mechero y el detector de niebla del cárter.



Ilustración nº33. Separador de sentinas

Fuente: trabajo de campo



Ilustración nº34. Detector de niebla

Fuente: Trabajo de campo

Ahora elaboraremos una tabla con las características principales del motor principal:

Fabricante	Caterpillar Motoren GmbH & CO
Modelo	MAK 12VM32C
RPM	750 rpm
Potencia máxima	6000 kW
Nº cilindros	12 cilindros en V
Diámetro cilindros	320 mm
Carrera	420 mm
Volumen barrido	33.8 l/cilindro
Ciclo	4 tiempos
Relación carrera/diámetro	1,3
Potencia/cilindro	500 kW
Velocidad media del pistón	10,5 m/s

Ilustración nº35. Características motor principal

Fuente: [7]



Ilustración nº36. Motor principal

Fuente: Trabajo de campo

Al motor va acoplado el alternador de cola, el cual se utiliza durante la navegación para dar electricidad al buque sustituyendo los motores auxiliares, pero si quieres aumentar la potencia que el motor principal le da a la hélice, entonces desacoplamos el generador de cola y arrancamos los motores auxiliares. Este generador coge los 750 rpm que entrega el motor y las transforma a 1814 rpm.

Fabricante	AEM
Potencia	1800 kVA
RPM	1814 rpm

Ilustración nº37. Características del generador de cola

Fuente: [7]



Ilustración nº38. Generador de cola

Fuente: Trabajo de campo

A continuación, describiremos la reductora, encargada de conectar el motor principal con el eje, y su función es la de coger las 750 rpm que transmite el motor y reducirlas a 146,9 rpm.

Fabricante	RENK AG
Modelo	RSH-950
Consumo	1543 Kw
Velocidad de entrada	750 rpm
Velocidad de salida	146,9 rpm
Capacidad de aceite lubricante	850 L

Ilustración nº39. Características de la reductora

Fuente: [7]



Ilustración nº40. Reductora

Fuente: Trabajo de campo

En el siguiente plano veremos la conexión entre el eje de cola, el motor principal y la reductora.

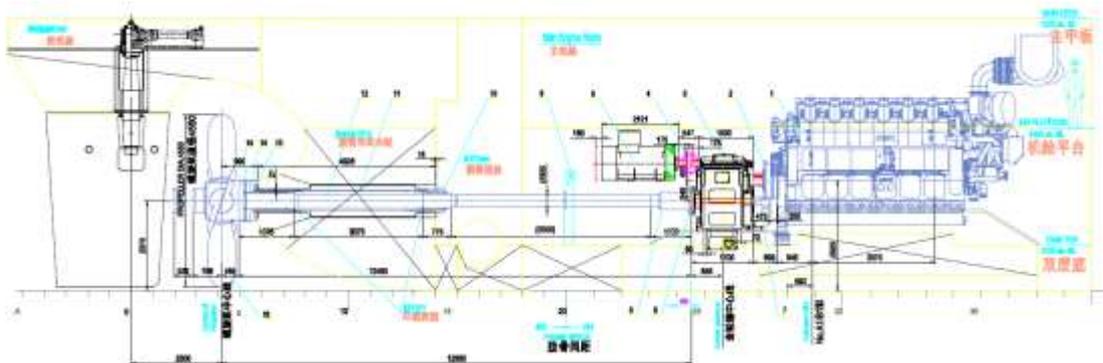


Ilustración nº41. Plano eje de la hélice, reductora y generador de cola

Fuente: [7]

El tecele superior de la sala de máquinas está formado por la sala de control, sala de los tres motores auxiliares, el taller, la sala de depuradoras con una de F.O una de D.O y otra de aceite; a babor del motor principal nos encontramos con el módulo de combustible, y a babor popa con un tanque de aceite para la reductora, a estribor popa tenemos el secador de aire, tres compresores de aire de arranque con dos botellas detrás de 250 lts y de 500 lts cada una trabajando a 30 bares, delante de ellas a estribor se encuentran las bombas de agua dulce de refrigeración, la caldera de mechero de aceite térmico, bombas de trasiego de aceite térmico, el enfriador de agua dulce de refrigeración del motor principal, y a proa contiene el precalentador de agua del motor y el evaporador.

Adjuntamos dos imágenes de los equipos nombrados anteriormente:



Ilustración nº42. Evaporador

Fuente: Trabajo de campo



Ilustración n°43. Compresores de aire de arranque

Fuente: Trabajo de campo

El barco consta de tres motores auxiliares como comenté anteriormente, acoplados a sus alternadores que son los que generan tensión para dar electricidad al buque cuando éste está en puerto.

Adjuntamos tabla con las características principales de los motores auxiliares:

Fabricante	MAN Diésel Engine
Modelo	D2842LE301
Rpm	1800 rpm
Potencia máxima	600 kW
Cilindros	12 V
Ciclo	4 tiempos
Diámetro de cilindros	128 mm
Carrera	142 mm
Peso	3200 kg
Presión media	13,4 bar

Cilindrada total	21,92 L
Relación compresión	15,5:1

Ilustración nº44. Características motor auxiliar

Fuente: [8]

Cabe destacar que los tres motores son de cárter húmedo, por lo que tienen una bomba acoplada que toma el aceite del cárter y lo recircula por el enfriador de aceite, una vez refrigerado retorna al cárter. y para la refrigeración de agua, cada uno cuenta con su sistema de refrigeración de agua dulce, por lo que es un circuito cerrado.



Ilustración nº45. Espacio motores auxiliares

Fuente: Trabajo de campo

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

Después de describir las características de los buques, marco referencial de este TFG incluyendo tablas, planos, etc. Además, se ha aportado en el cuarto y quinto apartado de este capítulo las características generales de la sala de máquinas de ambos buques, dentro de la sala de máquinas existen diversos circuitos, circuito de agua, de aceite, de aire, y de combustible, precisamente este último *“el circuito de combustible”*, va a ser el núcleo principal del desarrollo de este TFG. Haciendo un estudio muy concreto en los elementos de dicho circuito y en la importancia que va a tener el combustible utilizado. Podríamos pensar que en un circuito de combustible lo principal son los equipos, llámese depuradora, módulo de combustible, etc. y podríamos pensar que para el circuito de combustible funcionara en óptimas condiciones todos estos equipos tendrían que funcionar de una manera óptima. Para nuestro entender no es solamente el detalle nuclear de este TFG el funcionamiento del circuito de combustible, sino además las condiciones en las que el combustible es suministrado al buque. Es decir puede ser motivo de avería en el circuito de combustible el fallo de cualquiera de los equipos mencionados anteriormente, que sería lo lógico de pensar y solamente fijarnos en este detalle pero una avería puede ser ocasionada por algo más que un fallo de los



equipos, por ejemplo unas malas condiciones en el combustible suministrado, pudiendo ocasionar una avería en dos vertientes por fallo de los equipos de combustible o por un mal estado del combustible así con esta idea vamos a comenzar y desarrollar el capítulo de resultados de este TFG.

Ilustración nº46. Depuradora de fuel OPDR Canarias

Fuente: Trabajo de campo

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

En este cuarto capítulo "*Material y Métodos*" lo vamos a dividir en cuatro apartados que desarrollaremos a continuación.

4.1. DOCUMENTACIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este primer apartado de este cuarto capítulo analizaremos la documentación bibliográfica utilizada para este TFG en referencia a libros, planos, manuales, referencias webs la cuales vendrán referenciadas en el último capítulo de este trabajo de fin de grado denominado bibliografía.

4.2. METODOLOGÍA TRABAJO DE CAMPO

Para el desarrollo de este segundo apartado, de este cuarto capítulo de este TFG denominado metodología del trabajo de campo se incide al lector de este TFG que se va a realizar un estudio significativo de los aspectos a favor y en contra que podría tener los circuitos esenciales de combustible de ambos buques para ello se incorporara una serie de tablas, planos, imágenes etc.

4.3. MARCO REFERENCIAL

El marco referencial de este TFG se desglosa en dos. Un primer marco referencial que corresponde al buque OPDR Canarias y en un segundo marco referencial que corresponde al buque el Volcán de Taburiente, de estos marcos referenciales es de donde hemos obtenido los datos y/o indicadores y/o evidencias necesarias para el desarrollo del capítulo de resultados.

4.4. MÉTODOS

En este apartado expondré lo aprendido y realizado durante mis prácticas a bordo de los dos buques mencionados anteriormente.

Analizando mi situación en el buque **OPDR Canarias**, mi labor como alumno nada más llegar fue la de prestar apoyo al primer oficial y al mecánico en sus trabajos diarios así como reparaciones de equipos que lo requerían al momento, mantenimientos diarios, semanales y mensuales, aunque sobre todo me apoyaba en el primer oficial ya que en todo momento era el que hacía los trabajos de mantenimiento en la sala de máquinas a las órdenes siempre del jefe de máquinas.

En este buque estuve 5 meses, una vez superada la segunda semana de familiarización con los equipos del mismo y de los conocimientos teóricos, se me empezó a asignar tareas que antes estaban realizadas por el primer oficial y me las adjudicó para el seguir con otras.

Estas tareas son las siguientes;

- Rutina de mantenimiento diario:

Al llegar a la sala de máquinas; comprobar niveles de los tanques de agua y aceite de los diferentes circuitos en funcionamiento: tanque del cpp, dos tanques de bocina de Pp, tanque de bocina de Pr, tanque de la hélice transversal de Pp y tanque de compensación de la caldera de aceite térmico, tanque de la hélice transversal de proa, tanque de LT y HT. Sondar los diferentes tanques: tanque de lodos, pérdidas, sentinas y aceite del motor principal, siempre después de tomar todas las sondas lo apuntaba en la hoja de sondas diarias. Cuando el nivel del tanque de pérdidas llegaba a 60 cm, trasegábamos mediante la bomba de lodos encontrada como bien dijimos en material en la sala de bombas al tanque de lodos, junto al primer oficial. Coger el registro de cantidades de cada tanque de D.O HFO y agua dulce y calculaba los totales apuntando

todo en la hoja de sondas de tanques de combustible. Drenar los tanques de decantación y diario de HFO. Y por último mantener el cuaderno de máquinas al día con los datos tomados en el parte diario tanto en puerto como en navegación.

- Rutina de mantenimiento en navegación:

Nada más llegar a la sala de máquinas tomaba el parte diario, cogiendo las presiones y temperaturas de los equipos en funcionamiento en navegación con una pistola termo gráfica en físico, y luego en el control en la pantalla del ordenador se tomaban los mismos datos para comprobar que eran los correctos.

Luego limpiaba los turbos compresores de los motores principales por el lado de aire, siguiente a esto quién terminara primero de realizar su rutina hacía la limpieza de la caldera de gases, se realiza cuando el motor está a pleno régimen y se le introduce química.

- Rutina de mantenimiento semanal:

Análisis de agua de los circuitos de HT y LT, ayudar al mecánico con las bolsas de basura, el domingo de Las Palmas a Sevilla junto con el primer oficial, hacíamos una ronda de seguridad por los botes salvavidas, bote de rescate, bomba contraincendios, planta séptica. Luego pasaba los trabajos de la libreta de máquinas junto con la libreta del eléctrico de final de mes al ordenador.

En el Volcán de Taburiente al ser la máquina parecida la adaptación no fue tan complicada aunque si bien requerí de un periodo de una semana al menos para familiarizarme con las diferencias en los equipos entre uno y otro, estuve 3 meses en los que al haber segundos oficiales el primero tenía más libertad a la hora de hacer trabajos a primera hora de la mañana a diferencia del OPDR, yo siempre en este caso me pegaba al primero aunque cuando acababa su guardia, iba con el segundo ayudándole en lo que necesitara, y reemplazándole en varias tareas para el tener más movimiento, inclusive me asignaba tareas como el desmontaje o montaje de una depuradora con su revisión posteriormente, o el montaje-desmontaje de inyectores del motor principal y de los

motores auxiliares, también cogía temperatura de enfriadores, ayudar a la limpieza de sentinas con el mecánico, pintar, hacer la ronda de seguridad con el segundo de máquinas, limpieza de turbos con el mecánico y de filtros de combustible, tomar las horas de todos los equipos a final de mes. También me prestaba a ayudar en el cambio de culatas ya que tuvimos varios problemas con las mismas, y hacíamos culatas cada dos días aproximadamente. Chequeaba los botes junto al segundo oficial los sábados que llegue a ir, prueba semanal del local application y de alarmas de la máquina.

También en el apartado de inspecciones técnicas siempre que se aproximaba una se presentaba un desafío al intentar tener todo limpio y adecuado para la inspección, el jefe también debe revisar todos los documentos del SGI.



Ilustración nº47. Foto del autor en la sala de máquinas

Fuente: Trabajo de campo

V. RESULTADOS

V.RESULTADOS

En este quinto capítulo de este trabajo denominado **Resultados** vamos a desarrollar en distintos apartados la importancia que entendemos que tiene un circuito de combustible, en concreto los relativos a las dos instalaciones propuestas, y el combustible asociado a las mismas.

5.1. COMENTARIOS EN REFERENCIA A LA NORMATIVA ACTUAL RESPECTO A LOS COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN BUQUES MERCANTES CONVENCIONALES

En el siguiente capítulo daremos paso a los resultados conseguidos a partir del presente trabajo, sobre la adaptación de los buques Volcán de Taburiente y OPDR Canarias para cumplir con la normativa del **Anexo VI** en el convenio **Marpol**.

Este Anexo habla sobre las restricciones de los principales contaminantes atmosféricos contenidos en los gases de escape de los barcos, particularmente los óxidos de azufre **SOx** y óxidos de nitrógeno **NOx**, Esta es la regla número 14 del anexo VI como nombramos anteriormente, llamada "*Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques*", esta regla se lleva a cabo a partir del 1 de enero de 2020 dónde el contenido de azufre se redujo a nivel mundial del 3,50% al 0,50%.

Por esta norma se le aplicará al buque un cambio significativo para cumplir dicha normativa.

En este presente trabajo el objetivo será analizar la manera en la que afectó a los equipos el combustible antes y después del cambio, y las medidas que se tomaron. En este proceso también analizaremos los cambios que afectaron también a los tanques de combustible entre otros. [9]

Continuaremos este apartado con dos apartados sucesivos. Uno en referencia a los sistemas de combustible actuales de los buques, y otro apartado en describir una incidencia producida por el combustible suministrado a dicho circuito, para una mejor comprensión de este capítulo, comenzando con una descripción de los circuitos de combustible de ambos buques.

5.2. DESCRIPTIVA DE LOS CIRCUITOS DE COMBUSTIBLE DE LOS BUQUES

Para comenzar con la explicación de cómo afectó el cambio de combustible al sistema, primero hay que comprender y 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.

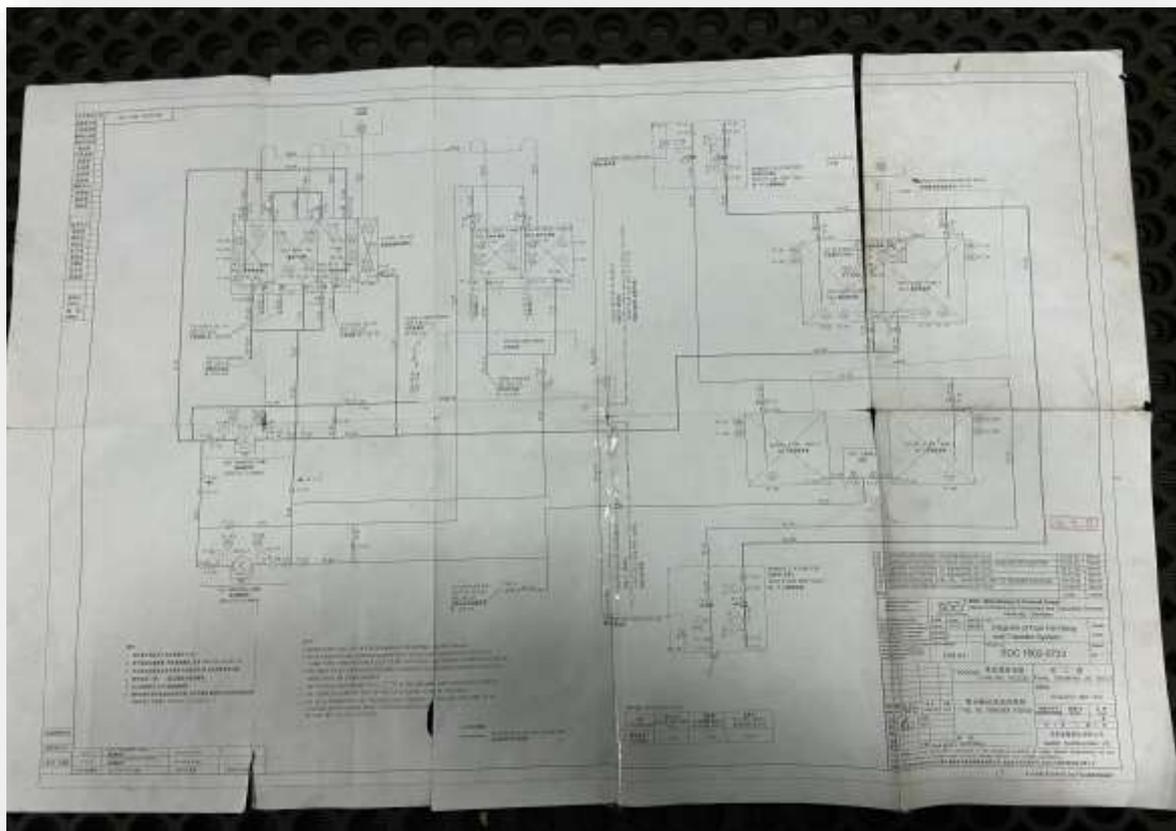


Ilustración nº48. Plano sistema de fuel OPDR Canarias

Fuente: Trabajo de campo

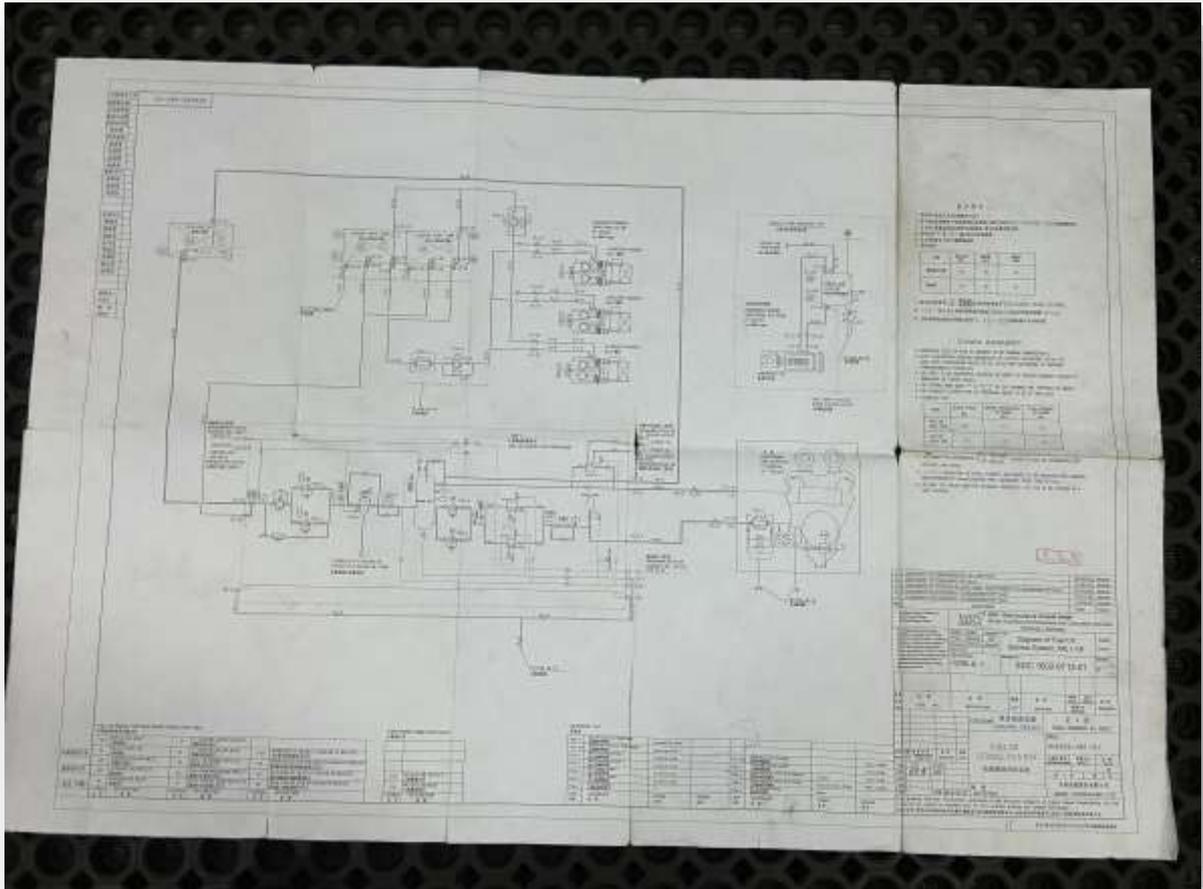


Ilustración nº49. Plano sistema de fuel OPDR Canarias

Fuente: Trabajo de campo

En la ilustración 48-49, del barco **OPDR Canarias**, el cual podremos dividir el sistema de combustible en dos secciones, según el producto que vayamos a consumir.

Por un lado, nos encontramos con la línea de fuel pesado, utilizada para alimentar el motor principal, y por otro el sistema de Gasoil, que se emplea tanto para alimentar el motor principal como los tres motores auxiliares. Para el consumo de Gasoil se habilita una válvula de tres vías que comunica ambos sistemas para realizar el cambio de combustible, por ejemplo, en una zona de control de emisiones, antes de una parada de largo tiempo, etc..).

5.2.1 CIRCUITO DE COMBUSTIBLE DEL BUQUE OPDR CANARIAS

Comenzaremos hablando de la línea de bunkering del **OPDR Canarias**; el sistema, como bien vemos en el plano, parte del bunker station, donde se realiza el consumo de combustible procedente del suministrador externo. Se conectarán las mangueras correspondientes a la toma, cumpliendo todas las medidas de seguridad y prevención de la contaminación dispuestas en el convenio **MARPOL**. En este caso, a través de una gabarra de suministro. Dada la ruta fija que tiene el buque, el operador dispone de forma logística el consumo en el puerto de Tenerife, coordinando con el Jefe de Máquinas según su previsión de consumos por viaje. En el caso de este atraque, la toma se realiza por la banda de Estribor.



Ilustración nº50. Consumo en bunker station

Fuente: Trabajo de campo

El producto entregado se distribuye por la línea de consumo a los dos tanques de almacenamiento, uno situado a estribor con una capacidad de $350,66 m^3$ y el otro a babor con una capacidad de $339,52 m^3$.

En estos dos tanques el combustible se mantendrá a una temperatura de 74 °C, calentado mediante serpentines de intercambio de calor que contiene el circuito de aceite térmico. Éste una vez realizado el intercambio retorna a la caldera, manteniendo su viscosidad entre 9 y 12 cSt. Como podemos comprobar en el plano los dos tanques de almacén como medida de seguridad contienen un tanque de reboses de fuel cada uno; para prevenir un rebose fuera de los cálculos realizados, el sistema incluye una alarma de flujo de combustible por la línea, para alertar al personal del departamento de máquinas.

De aquí parten a los tanques de decantación, por medio de las bombas de trasiego de combustible, estos dos tanques cuentan con una capacidad de 27,3 m³ y 27,5 m³, en ellos se produce una decantación, para que cuando el personal de máquinas realice las purgas diarias expulse el agua que se encuentra en el final del tanque, al ser el fuel menos denso.

Después del fuel ser decantado, se manda a través de una bomba a la depuradora de fuel. En ella se produce la centrifugación y separación del fuel limpio, expulsando el agua y residuos lodosos del mismo mediante la centrifugación. Dentro de la depuradora un motor eléctrico se encarga de girar a altas revoluciones el bolo y separa mecánicamente los elementos de diferente densidad.



Ilustración nº51. Depuradora de fuel

Fuente: Trabajo de campo

Fabricante	Westfalia
Modelo	OSD18-0136-06718
Capacidad	1800 l/h F.O. 380 cTS. 50 C
Velocidad tambor	11500 rpm

Ilustración nº52. Características depuradoras de fuel

Fuente: [10]

A continuación este fuel se envía al tanque de servicio diario, que cuenta con una capacidad de $22,7 m^3$, situado entre los tanques de decantación. Además, el tanque diario tiene un rebose hacia los de decantación por seguridad. Tanto la descarga de lodos como la descarga del tanque de decantación van a parar al tanque de lodos.

Tanque	Capacidad en m^3
Tanque almacén 1	$350,66 m^3$
Tanque almacén 2	$339,52 m^3$
Tanque de sedimentación 1	$27,3 m^3$
Tanque de sedimentación 2	$27,5 m^3$
Tanque diario	$22,7 m^3$

Ilustración nº53. Capacidad tanques de fuel

Fuente: [11]

Del tanque de servicio diario, el fuel se dirige directamente al módulo de combustible, dónde primeramente el fuel pasa por las bombas de alimentación (**feeders**) y luego por las de impulsión (**booster**), que trabajan aproximadamente a 5 y 8 bar. Dicho módulo cuenta también con filtros automáticos y mecánicos para evitar la llegada de impurezas a las bombas y elementos de inyección, De aquí se envía al tanque de mezcla dónde se encuentran el fuel que viene del tanque de servicio diario con el combustible que retorna al no ser quemado por el motor principal, aprovechando este calor residual nos encontramos con una línea donde puedes retornar el fuel al tanque diario de forma manual, en este caso pasa por un calentador de agua para disminuir su viscosidad.



Ilustración nº55. Módulo de combustible

Fuente: Trabajo de campo

Módulo de fuel	
Temperatura máxima de salida	150 C
Capacidad	1194 l/h
Viscosidad	380 cTS

Ilustración nº55. Características Módulo de fuel.

Fuente: [7]

A continuación, el fuel pasa por unos calentadores que aumentan su temperatura hasta los 135-140 C, pero antes de salir del módulo hacia el motor el fuel se encuentra con un viscosímetro que, mediante un valor de referencia, determina si el valor actual es mayor o menor que el deseado y actúa sobre la electroválvula, retornando o no el fuel al intercambiador de calor. Y por último al salir del módulo de combustible pasa por un filtro doble que asegura la protección de los elementos de inyección. Éste cuenta con dos unidades para poder tener siempre una en uso aun cuando la otra se encuentre sucia. Debajo de estos filtros se encuentra una bandeja, de donde se recogen las pérdidas para luego enviarlas al tanque de pérdidas, y finalmente de estos filtros el fuel pasa a las bombas de inyección de cada cilindro, este cuenta con un mecanismo para regular si aumenta o disminuye la cantidad de combustible que le envía al inyector, dependiendo de la carga del motor y velocidad a una temperatura de 130 °C y una presión de 5 bar, para luego mandarla a los inyectores y éstos inyectarlo en cada cilindro.



Ilustración nº56. Inyector del sistema de combustible

Fuente: Trabajo de campo

El inyector está situado en el centro de la culata, constituido por una tobera. El combustible se inserta por un costado a través de una conexión adherida en el cuerpo del inyector. el inyector recibe el combustible a través del tubo de inyección e inyectan combustible al motor a través de la tobera, que lo realiza en forma de pulverización, este inyector antes de montarlo en el motor se sana y se pulveriza llevándolo a una presión de 450 bar, la cantidad de combustible que entra en el cilindro la regula la cremallera dirigiendo su carrera.



Ilustración nº57. Bomba de inyección del sistema de combustible

Fuente: Trabajo de campo

Cada motor se encuentra con una bomba de inyección por cilindro, ésta es la encargada de presurizar el combustible en el sistema de inyección, dependiendo de la rotación del motor y la carga envía más o menos combustible al inyector. Cuando el pistón se encuentre en el punto muerto inferior, el orificio de entrada dará paso al combustible, y cuando éste esté en el punto muerto superior se aplicará presión al combustible. A esta carrera del émbolo se le llama carrera efectiva, dependiendo de la posición del pistón se le aplicará más o menos combustible, y de aquí seguirá hacia el inyector cuando tenga la presión requerida. [12]

5.2.2. CIRCUITO DE COMBUSTIBLE DEL VOLCÁN DE TABURIENTE

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

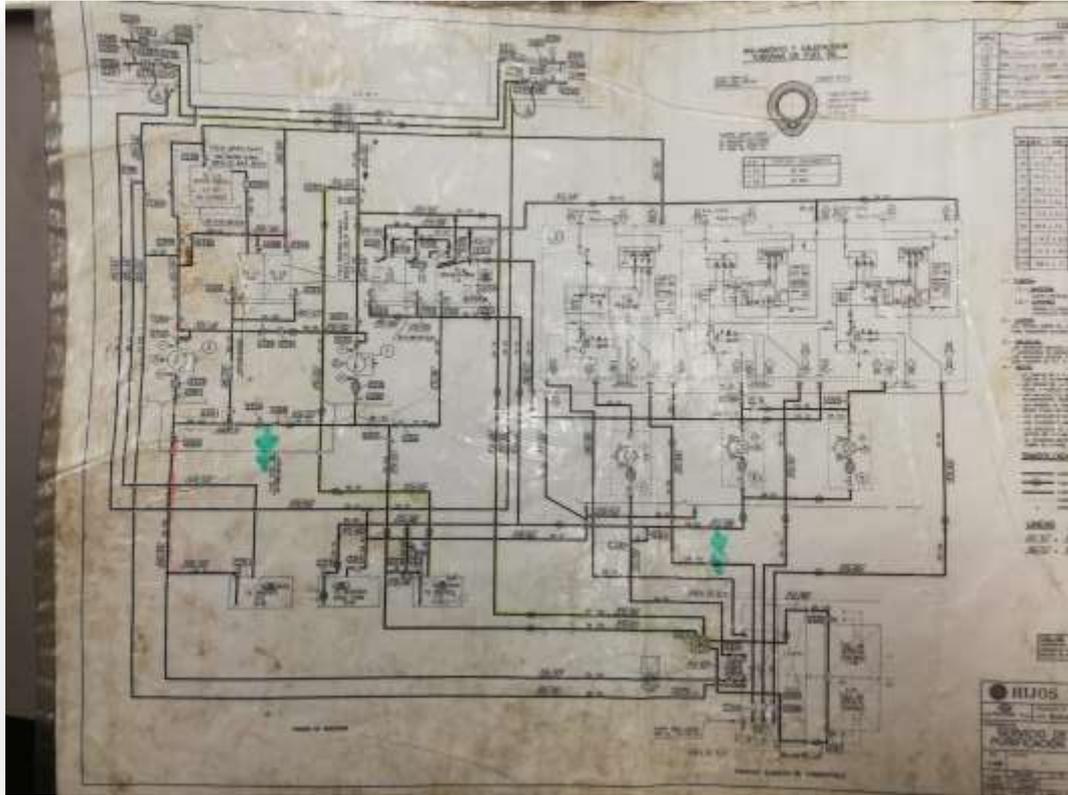


Ilustración nº58. Plano del circuito de combustible Volcán de Taburiente

Fuente: Trabajo de campo

En la ilustración añadida encima estudiamos el plano del sistema de fuel de dicho barco, desde que sale del tanque de almacén hasta que el de sedimentación lo manda a los diarios.

El fuel como en el caso del OPDR entra por el bunker, aunque en este caso es una empresa externa mediante una cuba la que nos mete el fuel en los tanques de almacén, con una capacidad cada uno de 100 m^3 , haciendo consumo cada día de 50 ton lo que vendrían a ser dos cubas.



Ilustración nº59. Bunker Station

Fuente: Trabajo de campo

Antes de realizar el consumo abrimos una de las dos válvulas mostradas en la ilustración dependiendo si queremos el consumo en el tanque de estribor o babor, para luego enviar estas 50 ton pasando por una bomba de engranajes helicoidales como vemos al fondo en la ilustración añadida debajo, al tanque de decantación con una capacidad de $120 m^3$, donde el fuel es separado del agua y las impurezas quedando debajo del tanque y el fuel encima, y al purgar los tanques por la mañana cada día el caldereta, se limpiaba.



Ilustración nº60. Válvulas de trasiego de combustible y de consumo

Fuente: Trabajo de campo

Capacidad de los tanques de F.O	
Tanque almacén de fuel Er	100 m ³
Tanque almacén de fuel Br	100 m ³
Tanque decantación	120 m ³
Tanque diario Er	22 m ³
Tanque diario Br	22 m ³
Tanque reboses	10 m ³

Ilustración nº61. Capacidad de los tanques de fuel

Fuente: [13]

Del tanque de decantación se envía a la depuradora de fuel cuyas características pondremos a continuación:

Fabricante	Alfa Laval
Modelo	SA 841
Capacidad	4300 l/h F.O. 380 cTS. 50 C
Velocidad tambor	9220 rpm

Ilustración nº62. Características principales depuradora de fuel

Fuente: [14]

En este caso en el buque se encontrarán dos depuradoras, 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 con una fuerza centrífuga a gran velocidad, quitándole todo el lodo e impureza que pueda contener, a diferencia del tanque de decantación que espera a que por gravedad caiga el agua al fondo del tanque.

En la siguiente ilustración veremos las diferentes partes de una depuradora:

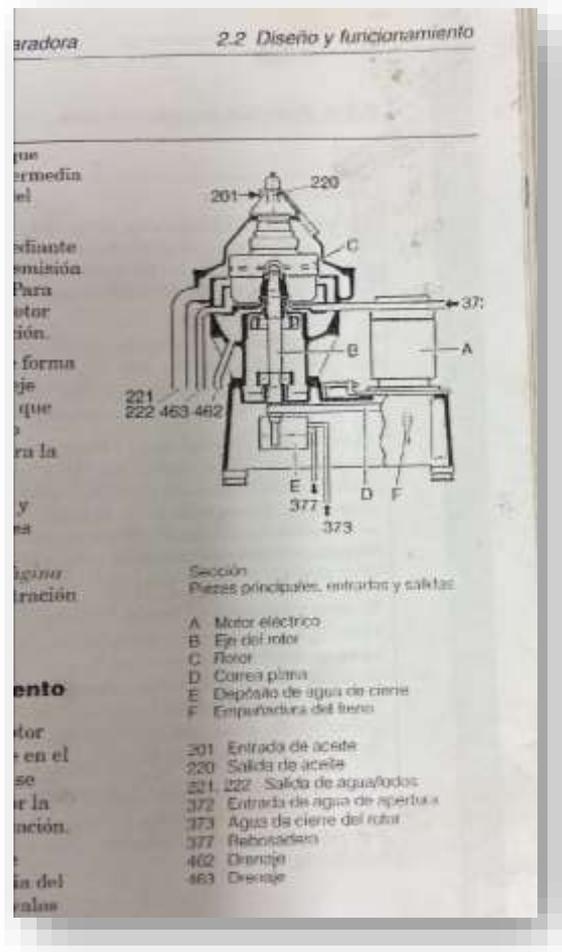


Ilustración nº62. Características principales depuradora de fuel

Fuente: Trabajo de campo

El combustible que sale de la depuradora es enviado a los tanques diarios de capacidad 22 m³ cada uno.



Ilustración nº63. Depuradoras de fuel

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 dos motores. Estos dos módulos al igual que el de OPDR está equipado con dos bombas de alimentación (**feeders**), que serán las encargadas de llevar del tanque del diario al módulo el combustible.

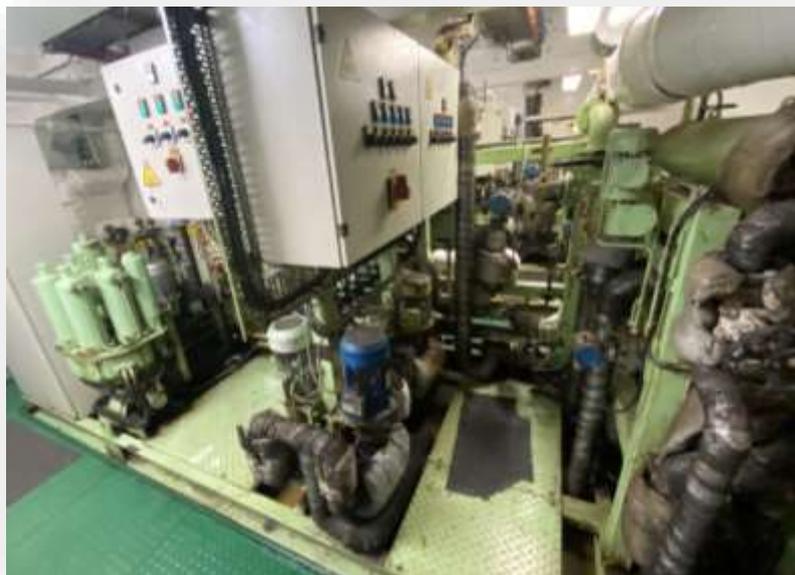


Ilustración nº64. Módulo de combustible

Fuente: Trabajo de campo

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.

5.3. INCIDENCIAS EN EL COMBUSTIBLE

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



Ilustración nº65. Píldora “Tipos de combustible en la industria naval”

Fuente: [16]

Como ya hemos descrito debido a la nueva normativa aplicada el 01 de enero de 2020 el máximo contenido de azufre permitido para su consumo en todas las zonas es del 0,5%.

Para ello ambas navieras optan por el cambio de producto, desechando ya sea por la viabilidad económica, logística, etc. Las otras vías como la de las torres de lavado de gases de escape (**Scrubbers**), que disminuía el contenido en azufre de los gases.

Los dos barcos navegan con el combustible: Very Low Sulphur Fuel Oil (en adelante **VLSFO**) ¿Cuál es el problema de que el volcán de Taburiente y el OPDR Canarias no se hayan propuesto instalar esta torre?, pues primeramente lo económico, ya que una torre de lavado puede llegar a costar alrededor de 4.000.000€ por cada barco, y segundo que estos barcos llevan navegando más de 15 años por lo que gastarse ese dinero no le

rentaría a la empresa si el barco te llega a durar 5 años más como están previstos, en cambio en los barcos nuevos de hoy en día si se está instalando esta torre de lavado ya que una tonelada de fuel IFO es 100 dólares más barata que la tonelada del VLSFO, y que el cambio de combustible podría generar consecuencias en las tuberías del sistema de combustible, ya que existiría la posibilidad de verse afectado con problemas de compatibilidad, características etc.

¿A que recurren entonces los dos barcos?, recurren al **VLSFO**, un combustible con el 0,5% en azufre, con una viscosidad mayor, una densidad mayor también, y al recurrir a esto lo primero que se pensó fue si afectaría al aceite del motor, a las depuradoras de fuel, a los tanques de fuel, filtros etc... y lo que si recomendaron los fabricantes de cada equipo: **MAN, ALFA LAVAL, WARTSILA**; es que se realice 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.

Adjuntamos a continuación una tabla con la comparativa de las características de los dos combustibles.

13/12/2019

VLSFO 0,5 %	
Densidad	970,2
Viscosidad (cST)	380,00
Azufre % (m/m)	0,49
Inflamabilidad (°C)	100

30/11/2019

IFO 380	
Densidad	0,9891
Viscosidad (cST)	359,70
Azufre % m/m	2,11
Inflamabilidad (°C)	110.0

Ilustración nº66. Tabla comparativa fuel

Fuente: [15]

En la tabla nº65, podemos comprobar la comparativa entre los dos fueles usados en este caso en el buque **OPDR Canarias**, donde tuvieron que hacer un cambio significativo de un mes para otro, aunque en mi periodo de prácticas en cambio tuvimos un problema grave al hacer consumo en el puerto de Santa Cruz de Tenerife, y es que creemos que el VLSFO que nos metieron venía mezclado con gasóleo a lo que se le llama **(blending)**, residuos de fabricaciones químicas etc.

Por lo que creemos que estaba contaminado, disponíamos de 100 ton del fuel antiguo que quedaba, y se introdujeron en el tanque de babor 200 ton, y desde que se empezó a introducir se empezó a tupir toda la línea comenzando con el filtro a la bomba de trasiego de fuel, que es la que envía el fuel a los tanques de decantación, esto incluso provocó que en los filtros aparecieran parafinas, lo normal anteriormente es que los filtros es que se cambiaran cada tres semanas, pero con este problema se empezaron a cambiar dos o tres veces al día consiguiendo que no se tuvieran suficientes respetos de filtros.



Ilustración nº67. Filtro de la bomba de trasiego de fuel

Fuente: Trabajo de campo

De los tanques de la línea de decantación a las depuradoras siguieron los problemas, la depuradora de fuel empezó a saltar y pararse, limpiábamos la depuradora casi cada día poniendo los platos y el bolo de la depuradora de gasoil ya que eran compatibles, y limpiando el fuel con la química denominada “**Seaclean**” los platos de la depuradora y el bolo disco de gravedad.



Ilustración nº68. Limpieza de platos de la depuradora

Fuente: Trabajo de campo



Ilustración nº69. Limpieza de platos de la depuradora

Fuente: Trabajo de campo



Ilustración nº70. Depuradora de fuel

Fuente: Trabajo de campo

Este problema iba a más ya que las descargas de las depuradoras comenzaron también a llenarse de ese fuel e ir todo hacia el tanque de lodos, aunque de esto no nos dimos cuenta hasta unos días después, cuando limpiamos tres veces la depuradora y empezamos a ver por dónde más podía venir el fallo.

En la siguiente imagen podemos ver cómo incluso tuvimos que tomar un taladro y una serpentina para intentar obstruir el fuel y abrir un agujero en la tubería.



Ilustración nº71. Descarga de depuradora de fuel

Fuente: Trabajo de campo

Cuando nos dimos cuenta que toda la línea de la descarga a lodos estaba obstruida, llamamos a una cuba para intentar vaciar el tanque de lodos, ya que a la vez le tocaba vaciarlo, y cuando la bomba de lodos fue a aspirar todo lo que tenía el tanque de lodos dejó de funcionar, y sacamos el filtro de la línea de aspiración de la bomba.



Ilustración nº72. Línea de aspiración de la bomba de lodos

Fuente: Trabajo de campo

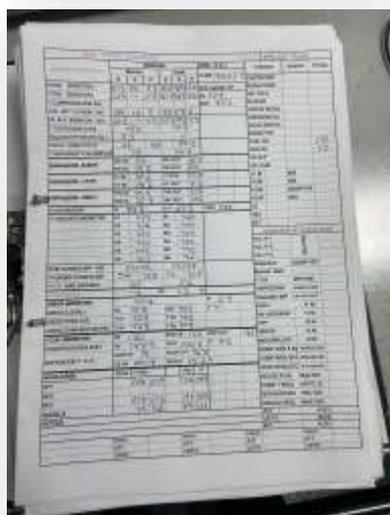


Ilustración nº73. Filtro de la bomba de lodos

Fuente: Trabajo de campo

Al final tuvimos que cambiar la bomba de lodos ya que la caja de engranajes se destrozó, tuvo un desplazamiento positivo y no hacía su función.

A continuación, adjuntamos una tabla con los parámetros los días que tuvimos el problema con el fuel a un día normal de trabajo:



This is a photograph of a handwritten field diary page. The page is filled with dense, small text organized into a grid-like structure with multiple columns and rows. The handwriting is in black ink on a white background. The text appears to be technical or operational data, possibly related to the fuel pump issue mentioned in the text above. The page is slightly tilted and shows some signs of use, such as faint smudges.



This is a photograph of another handwritten field diary page, similar to the one on the left. It also contains dense, small text in a grid format. The handwriting is consistent with the first page. The page is slightly tilted and shows some signs of use, such as faint smudges. The text appears to be technical or operational data, possibly related to the fuel pump issue mentioned in the text above.

Ilustración nº74. Partes diarios de los días 04/02/2021 y 14/10/2021

Fuente: Trabajo de campo

Datos de los sucesos	04/02/2021	14/10/2020
Presión inyección	5 bar	5 bar
Presión aceite	5 bar	5 bar
T. turbos	511-367 °C	529-382 °C
Temperatura media gases de escape	A= 450 °C B= 456 °C	A=471 °C B=472 °C
T/P Colector de barrido	50 °C /2,6 bar	49 °C /2,9 bar
Temperatura Combustible	134 °C	104 °C
Temperatura aceite	62 °C	60 °C
T. agua HT salida	88°C	86,3 °C

Ilustración nº75. Tabla comparativa de partes diarios tomados en la sala de máquinas

Fuente: Trabajo de campo

Lo siguiente que hicimos fue empezar a gastar el fuel almacenado en el tanque de estribor, el cual estaba bien, pero al llegar a los tanques de decantación, se mezclaba con el otro y volvía a suceder el mismo proceso, por lo que limpiamos de nuevo todos los filtros y depuradoras, y lo que hicimos durante un periodo largo de tiempo fue ir con el tanque de estribor únicamente dejando el tanque de babor inhabilitado e ir consumiendo 10 toneladas por viaje, ya que no había manera de sacar el fuel que había dentro. Y cuando estaba a punto de terminarse el tanque de estribor, cambiábamos del sistema de fuel al sistema de gasoil, haciendo consumo cada jueves en Tenerife.

Esto hasta que hubo un punto en el que quedaban alrededor de 80 TON y era lo que quedaba en el fondo del tanque, que ya se degeneró y los extractos más bajos del tanque se convirtieron en piche. Debido a esto consiguieron contratar a una empresa externa la cual hizo un **(de-bunkering)** que es la extracción de todo tipo de hidrocarburos de buques. ¿Qué ventajas nos encontramos con el Volcán de Taburiente? Aquí es donde entra el otro buque, ya que este buque a diferencia del OPDR Canarias consta de dos módulos de combustible, dos líneas de ejes, dos depuradoras y cuatro motores principales.

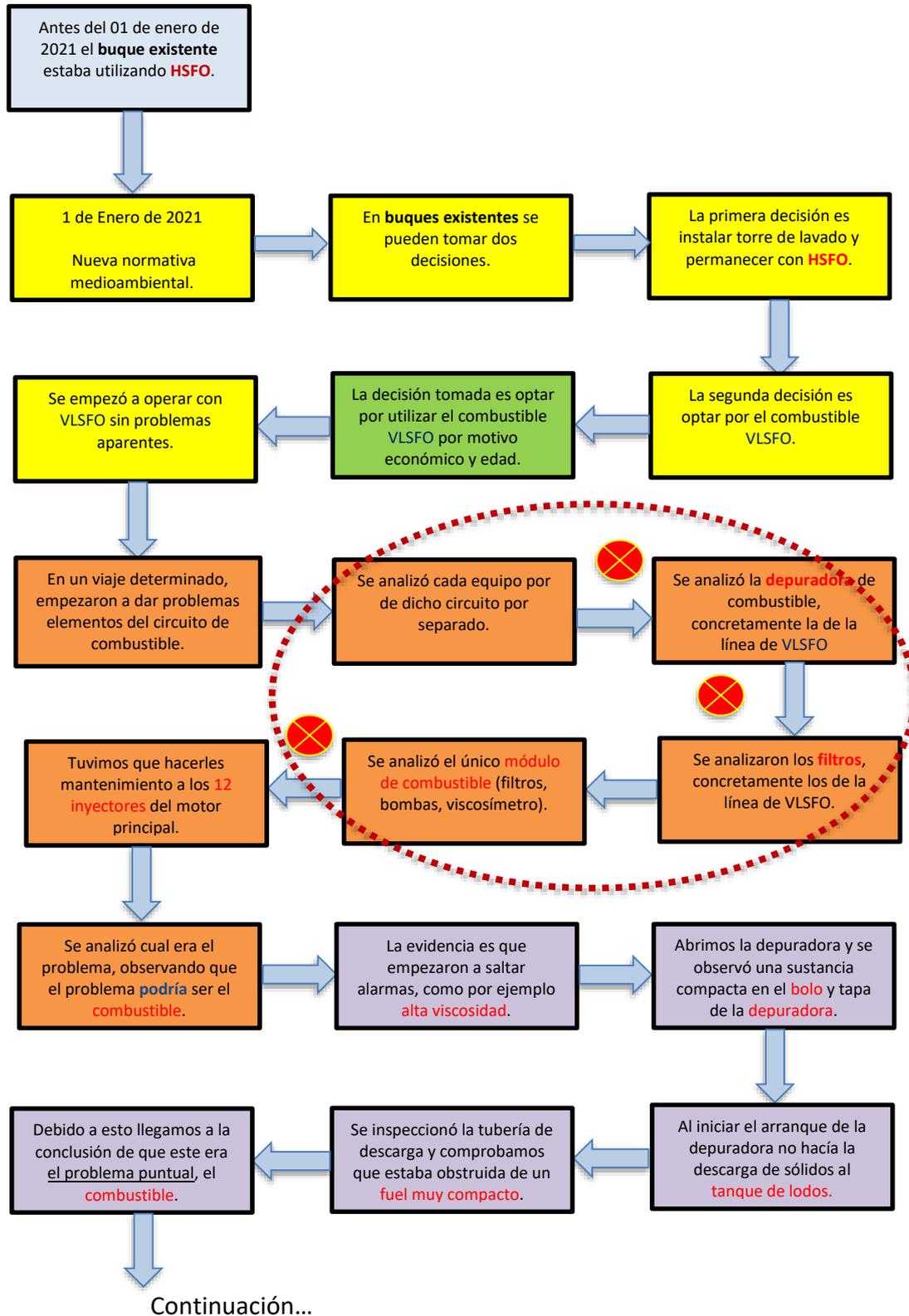
También tiene dos depuradoras de fuel y gasoil, por lo que al tener dos variantes de cada equipo si le llega a suceder algún problema como el que le sucedió en la explicación comentada en la parte superior podría tener una vía de escape más eficaz y sencilla que el OPDR.

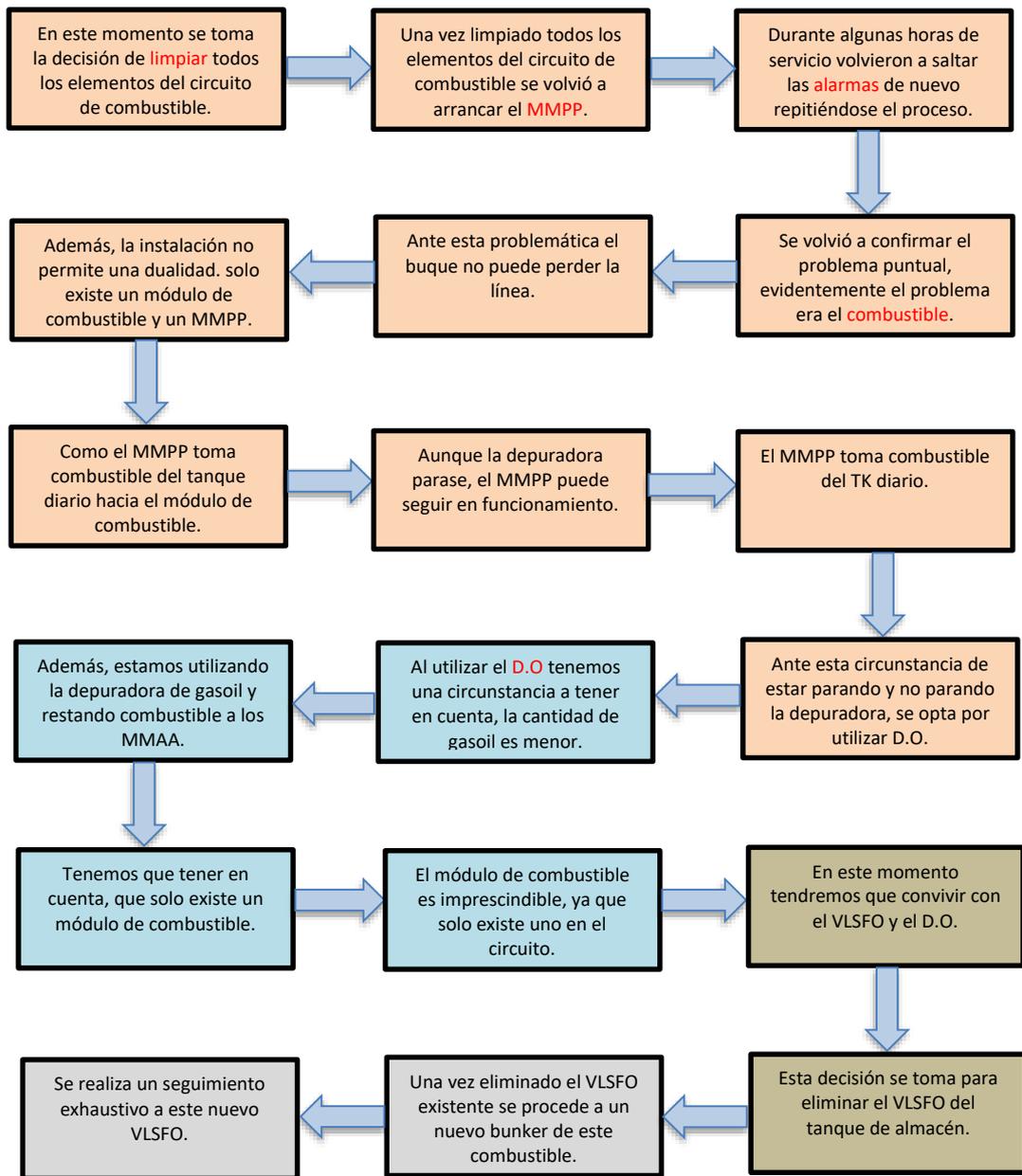
Uno de las posibles causas por las que puede venir este problema es por la norma ISO 82 17 2017, la cual está pensada para hidrocarburos (combustible) por denominarlo de alguna manera antigua, nos referimos a los combustibles usados en el ámbito marítimo antes del 01 de enero de 2020.

La norma entendemos que no está actualizada para los combustibles que han entrado en vigor después de la fecha indicada, como por ejemplo el **VLSFO**, sería una consideración y entendemos como punto de mejora el que quizá fuera necesario adaptar esta norma a una nueva versión más actualizada como se puede observar la norma esta publicada en el 2017, esto es lógico de pensar ya que las normas se tienen que actualizar dependiendo de la variación de la normativa que está actualizando.

Entendemos que seguramente a lo largo de este año 2021 o 2022 que se cumplirían cinco años de la edición anterior la organización internacional de normalización (**ISO**), adaptara esta norma a las nuevas exigencias medioambientales que están vigentes hoy en día llamamos la atención de que por ejemplo en esta nueva norma ISO 82 17 2017, es necesario realizar una serie de análisis adaptado al combustible **HSFO** pero lo mismo no está adaptada al combustible **VLSFO** como por ejemplo el realizar algún otro tipo de ensayo o en su caso añadir a esta norma de carácter internacional algún ensayo más específico para estos nuevos combustibles como el **VLSFO**.

5.4 CUADRO SINÓPTICO DE SUCESOS RELEVANTES DESCRITOS EN EL APARTADO 5.3



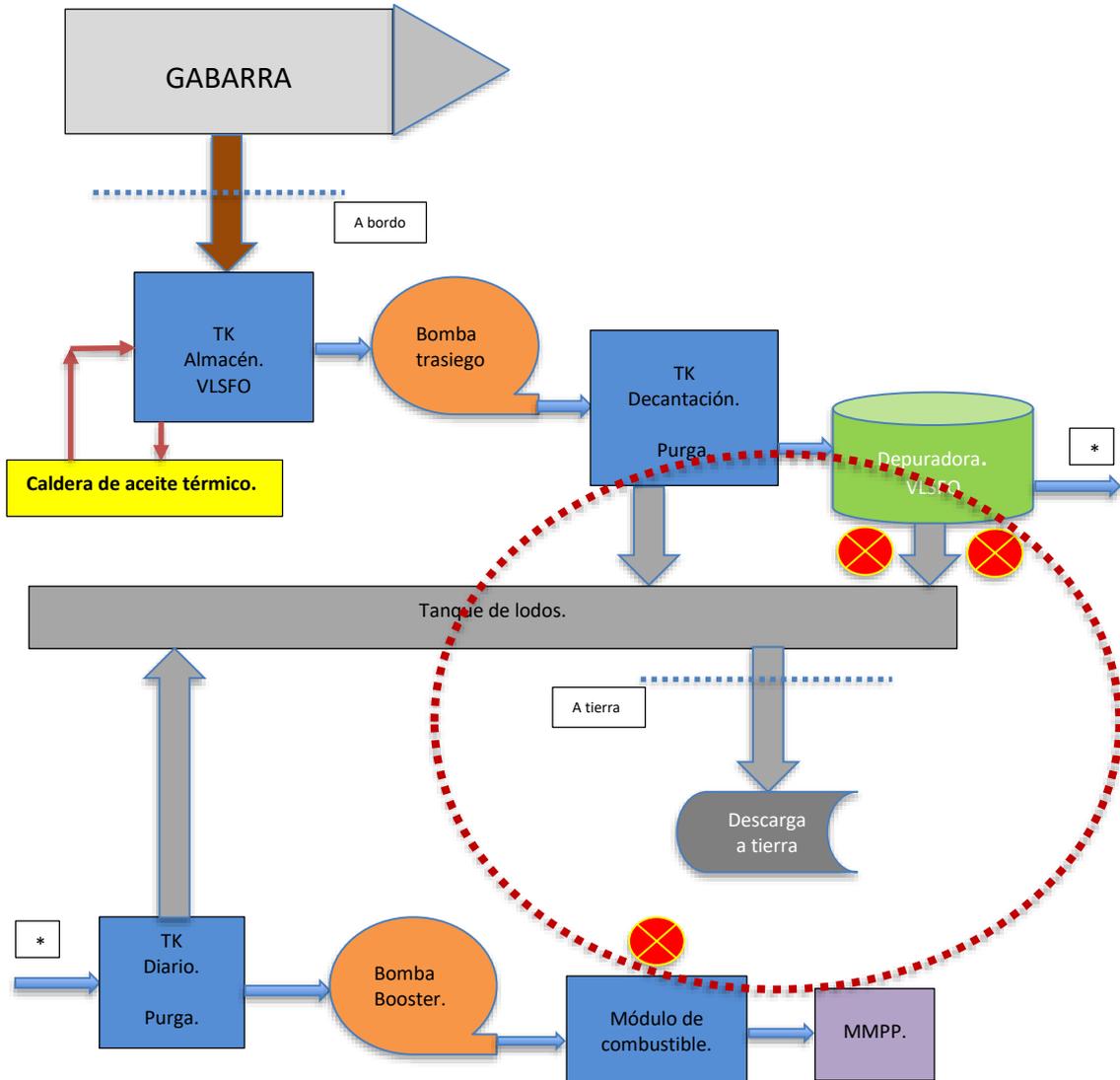


Puntos críticos



Zona crítica

5.5 ESQUEMA BÁSICO DEL CIRCUITO DE COMBUSTIBLE, PUNTOS CRÍTICOS



 **Puntos críticos**

NOTA: Los puntos críticos nos van a indicar en la instalación del circuito de combustible donde más se evidenció el problema, es decir para nosotros serían los primeros puntos y/o lugares a controlar en próximos bunkers hablando siempre de la instalación.

 **Zona crítica**

VI. CONCLUSIONES

VI. CONCLUSIONES

En este sexto apartado conclusiones de este Trabajo Fin de Grado, (TFG) vamos a plasmar las evidencias que entendemos relevantes en el desarrollo del actual trabajo, y que vamos a narrar a continuación.

- 1.** Hemos reflejado en el capítulo de resultados una visión global, de los circuitos de combustible entre un buque CON/RO y un buque RO/PAX de línea regular observando posibles diferencias.
- 2.** Se ha procurado identificar los elementos de los circuitos de combustible necesarios y el estudio de su funcionamiento concretamente desarrollado en el capítulo de revisión y antecedentes.
- 3.** Se ha hecho un estudio de los combustibles suministrados a los buques objeto de este TFG.
- 4.** Del último apartado del capítulo de resultados como conclusión genérica podemos destacar la incidencia que puede existir, en un buque mercante convencional respecto al uso de un combustible.
- 5.** Haciendo una comparativa entre la distribución del buque CON/RO y la sala de máquinas del buque RO/PAX podemos indicar que en el buque CON/RO solo existe una línea de eje, y un único módulo de combustible, mientras que en el buque RO/PAX existen dos líneas de ejes y dos módulos de combustible, esto en el buque RO/PAX puede ser una oportunidad ya que puede permitir trabajar tanto con fuel como con diésel, mientras que en el buque CON/RO no puedes trabajar con los dos combustibles a la vez. al tener un único módulo, esto es una ventaja ya que si tuviéramos problemas con un combustible por ejemplo el fuel podríamos trabajar con otro combustible como el diésel.

6. Puede parecer relevante la edad de un buque, si un buque existente es muy antiguo no parece lógico instalar una torre de lavado (scrubber), ya que la inversión que se tendría que realizar, no retornaría. por lo que parece lógico que en este tipo de buque el decidir trabajar con combustibles de última generación como el VLSFO, pero si el buque existente es relativamente nuevo sí parece aceptable bajo nuestro parecer el instalar una torre de lavado ya que tendríamos tiempo para retornar la inversión y además nos permitiría trabajar con combustibles genéricos por ejemplo el HSFO, ya que el VLSFO es menos económico que el HSFO.

7. Hemos incorporado en el capítulo de resultados, dos esquemas de elaboración propia para después de este trabajo marcarnos un reto. El reto es identificar en el circuito de combustible cual serían los puntos y/o lugares a identificar y/o vigilar en un próximo cambio de combustible, los hemos denominado puntos críticos. es decir, para nuestro entender en estos puntos críticos son los lugares específicos de la instalación, donde primero se va a evidenciar que hay un problema con el combustible, y queremos destacar. si en estos primeros puntos (**puntos críticos**) existe un problema, (fuel compacto) ya intuimos que el fuel está en mal estado. Es decir, está claro pensar que ya no hace falta ir a otros lugares de la instalación. Por lo tanto, también hemos identificado lo que hemos denominado (**zona crítica**), es decir la zona de la instalación donde más puntos críticos existen (que hayamos identificado) y donde más nos tendremos que mover y tenemos que tener mayor “*ojo avizor*” en referencia a estar pendientes a las alarmas, y otras evidencias e indicadores que nos da el circuito de que algo no está bien.

VII. BIBLIOGRAFÍA

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
- [5] Manual Reintjes.
- [6] <https://www.wartsila.com/marine/build/engines-and-generating-sets/diesel-engines/wartsila-20>
- [7] Manual OPDR
- [8] Manual Man
- [9] <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/Air-Pollution.aspx>
- [10] Manual Westfalia
- [11] Planos OPDR Canarias
- [12] Manual técnico MAK serie 32C
- [13] Manual plano Volcan de Taburiente
- [14] https://www.sandersequipment.com/inventory/alfa-laval-s-841-fuel-lube-oil-purifier-316ss_2-p7450.html
- [15] BDN`s OPDR Canarias
- [16] <https://youtu.be/ODkQ7-o1dPO> píldora educativa “Tipos de combustibles en la industria naval”. Adrián, Dionis, Padrón, González

