



**Universidad
de La Laguna**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA, MÁQUINAS
Y RADIOELECTRÓNICA NAVAL**

TRABAJO FIN DE GRADO

**CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE UN MOTOR DE 2
TIEMPOS FRENTE A UNO DE 4 TIEMPOS EN UN BUQUE
MERCANTE CONVENCIONAL**

Beneharo Barro González

Julio 2018

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE UN MOTOR DE 2 TIEMPOS FRENTE A UNO DE 4 TIEMPOS EN UN BUQUE MERCANTE CONVENCIONAL



Directores:

Dr. D. Federico Padrón Martín

D. Servando Luis León

Nombre: Beneharo Barro González

Grado: Tecnologías marinas.

Julio 2018

Dr. Don Federico Padrón Martín, profesor-ayudante doctor asociado del área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, perteneciente a la unidad departamental de Ingeniería Marítima de la Universidad de La Laguna, certifica que:

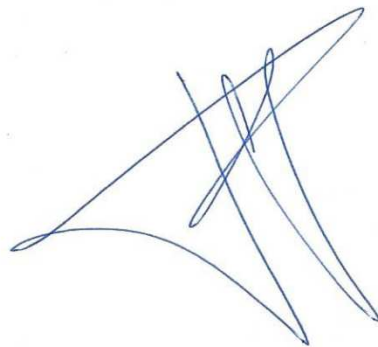
D. Beneharo Barro González, ha realizado el trabajo de fin de grado bajo mi dirección con el título:

“Características particulares de un motor de 2 tiempos frente a uno de 4 tiempos en un buque mercante convencional”.

Revisado dicho trabajo, estimo que 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 1 de julio de 2.018.



Fdo. Federico Padrón Martín.

Director del trabajo de fin de grado.

Don Servando Luis León, profesor-ayudante asociado del área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, perteneciente a la unidad departamental de Ingeniería Marítima de la Universidad de La Laguna, certifica que:

D. Beneharo Barro González, ha realizado el trabajo de fin de grado bajo mi dirección con el título:

“Características particulares de un motor de 2 tiempos frente a uno de 4 tiempos en un buque mercante convencional”.

Revisado dicho trabajo, estimo que 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 1 de julio de 2.018.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Servando Luis León', written in a cursive style.

Fdo. Servando Luis León.

Director del trabajo de fin de grado.

Agradecimientos:

Al Dr. D. Federico Padrón Martín y a D. Servando Luis León por la gran ayuda que me han ofrecido y por los conocimientos que me han transmitido durante el desarrollo de este trabajo.

A todos aquellos profesores que a lo largo de estos años de carrera me han aportado sus conocimientos para poder desarrollar este trabajo y esta profesión.

A Don Vicente, por su ayuda mostrada a la hora de realizar la maqueta.

A la naviera y distribuidora marítima PETROGÁS S.L.U. por darme la oportunidad de realizar todo mi tiempo de formación como alumno de máquinas a bordo de cuatro de sus buques.

Agradecer y hacer especial mención a todos los profesionales con los que he tenido la suerte y el privilegio de coincidir a bordo, por la paciencia mostrada y el trato recibido. Por compartir conmigo su experiencia y sus conocimientos.

Por último, quiero agradecer a mi familia, porque sin su esfuerzo, sus ánimos y sin su apoyo, nada de esto podría haber sido posible.

Muchas gracias.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	3
II.	OBJETIVOS.....	9
III.	REVISIÓN Y ANTECEDENTES.....	13
	3.1.HISTORIA DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	13
	3.1.1. Motores de pistón de pólvora.....	13
	3.1.2. Motores de pistón de vacío.....	14
	3.1.3. Motores de pistón accionados por la presión de los productos de la de la combustión de combustible más aire.....	15
	3.1.4. Concepto de compresión previa del aire más combustible.....	15
	3.1.5. Compresión previa del aire y del combustible por separado.....	15
	3.1.6. Motores alternativos de 2 tiempos.....	16
	3.1.7. Motores de pistón libre.....	16
	3.1.8. Motores de émbolo rotativo.....	16
	3.2. BREVE EXPLICACIÓN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 4 TIEMPOS DE CICLO DIESEL.....	16
	3.2.1. Tiempo de admisión.....	17
	3.2.2. Tiempo de compresión.....	18
	3.2.3. Tiempo de combustión.....	18
	3.2.4. Tiempo de escape.....	19
	3.2.5. Diagrama P.V. del ciclo diésel de 4 tiempos.....	20
	3.3. BREVE EXPLICACIÓN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 2 TIEMPOS DE CICLO DIESEL.....	21

3.3.1. Primer tiempo: combustión y expansión. Escape. Suministro de aire puro y barrido.....	21
3.3.2. Segundo tiempo: finalizado del barrido y del escape de los gases quemados. Compresión.....	22
3.3.3. Diagrama P.V. del ciclo teórico diésel de 2 tiempos.....	24
3.4. PARTES BÁSICAS DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE CICLO DIÉSEL DE 2 TIEMPOS.....	25
3.5. PRIMEROS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA A BORDO DE UN BUQUE MERCANTE.....	26
3.5.1. Selandia (Dinamarca, 1912).....	26
3.5.2. Aba (Gran Bretaña, 1917).....	27
3.5.3. Vulcania (Italia, 1926).....	28
3.5.4. Infanta Beatriz (España, 1928).....	29
3.5.5. Baloeran (Países Bajos, 1931).....	29
3.6. ¿POR QUÉ UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 2 TIEMPOS A BORDO?.....	30
IV. METODOLOGÍA.....	35
4.1. DOCUMENTACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	35
4.2. METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE CAMPO.....	35
4.3. MARCO REFERENCIAL.....	35
V. RESULTADOS.....	39
5.1. B/T TENERFE.....	39

5.2. SALA DE MÁQUINAS Y CIRCUITOS.....	41
5.2.1. Tecla superior.....	41
5.2.2. Tecla segundo.....	42
5.2.3. Tercer tecla.....	43
5.2.4. Cuarto tecla.....	44
5.2.5. Circuito de agua salada.....	45
5.2.6. Circuito de agua dulce de baja temperatura.....	51
5.2.7. Circuito de agua de alta temperatura del motor propulsor.....	55
5.2.8. Circuito de aire de arranque.....	62
5.2.9. Circuito de combustible.....	67
5.2.10. Circuito de aceite de la sala de máquinas.....	72
5.2.11. Circuito de gases de escape de la sala de máquinas.....	77
5.3. EJE DE COLA DEL MOTOR PROPULSOR.....	80
5.4. MOTOR PROPULSOR.....	82
5.4.1. Ubicación del motor propulsor.....	84
5.5. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 2 TIEMPOS.....	84
5.5.1. Válvula de escape.....	84
5.5.2. Carrera larga.....	86
5.5.3. Lumbreras.....	86
5.5.4. Stuffing box.....	86
5.5.5. Colector de aire de barrido y sistema de extinción en caso de incendio.....	88
5.5.6. Cruceta y patín.....	89

5.5.7. Refrigeración de los pistones y corrosión en la cabeza.....	90
5.5.8. Lubricación de los cilindros.....	91
5.5.9. Inversión de marcha.....	92
5.5.9.1.Control remoto.....	93
5.5.9.2.Parada del motor propulsor.....	93
5.5.9.3.Arranque avante.....	94
5.5.9.4.Repetición de arranque.....	97
5.5.9.5.Inversión de giro y arranque atrás.....	97
5.5.9.6.Parada de emergencia.....	98
5.5.9.7.Control de emergencia.....	98
5.5.10. Ausencia de reductora.....	100
5.5.11. Colector turbosoplante único.....	100
5.5.12. Velocidad del motor propulsor = velocidad de la hélice.....	101
5.5.13. Ventilación de aire forzada en el colector de barrido.....	101
VI. CONCLUSIONES.....	105
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración N°1.</i> Esquema del motor de Huygens según croquis de la época.....	14
<i>Ilustración N°2.</i> Motor de Otto y Langen E.....	14
<i>Ilustración N°3.</i> Motor de Otto 4 tiempos según anuncio de la fábrica licenciataria americana ``American Gas Light Journal``.....	15
<i>Ilustración N°4.</i> Motor de 4 tiempos de ciclo diésel de inyección directa con sus partes principales.....	17
<i>Ilustración N°5.</i> Tiempo de admisión.....	17
<i>Ilustración N°6.</i> Tiempo de compresión.....	18
<i>Ilustración N°7.</i> Tiempo de combustión.....	19
<i>Ilustración N°8.</i> Tiempo de escape.....	20
<i>Ilustración N°9.</i> Diagrama P.V. del ciclo teórico diésel de 4 tiempos.....	20
<i>Ilustración N°10.</i> Momento de la inyección de combustible.....	21
<i>Ilustración N°11.</i> Momento en el cual quedan descubiertas las lumbreras de escape...	22
<i>Ilustración N°12.</i> Entrada del aire de barrido a la cavidad volumétrica.....	22
<i>Ilustración N°13.</i> Momento en el cual el émbolo se encuentra en su punto muerto bajo.....	23
<i>Ilustración N°14.</i> Comienza la carrera ascendente del émbolo.....	23
<i>Ilustración N°15.</i> Se comprime el aire en la cavidad volumétrica durante la carrera ascendente.....	24
<i>Ilustración N°16.</i> Diagrama P.V. del ciclo teórico diésel de 2 tiempos.....	24
<i>Ilustración N°17.</i> El buque Selandia.....	26
<i>Ilustración N°18.</i> El Aba, durante la Segunda Guerra Mundial, siendo empleado como buque hospital.....	27

<i>Ilustración N°19.</i> El buque Vulcania.....	28
<i>Ilustración N°20.</i> El buque Infanta Beatriz.....	29
<i>Ilustración N°21.</i> El buque Baloeran.....	30
<i>Ilustración N°22.</i> Buque tanque Tinerfe atracado en Huelva.....	39
<i>Ilustración N°23.</i> Tecele superior de la sala de máquinas.....	41
<i>Ilustración N°24.</i> Segundo tecele de la sala de máquinas del B/T Tinerfe.....	42
<i>Ilustración N°25.</i> Tercer tecele de la sala de máquinas del B/T Tinerfe.....	43
<i>Ilustración N°26.</i> Cuarto tecele o doble fondo de la sala de máquinas del B/T Tinerfe..	44
<i>Ilustración N°27.</i> Circuito de agua salada del B/T Tinerfe.....	45
<i>Ilustración N°28.</i> Bombas centrífugas de agua salada.....	46
<i>Ilustración N°29.</i> Enfriadores de agua de baja temperatura.....	47
<i>Ilustración N°30.</i> Placas antes y después de un mantenimiento.....	48
<i>Ilustración N°31.</i> Enfriador de agua para la culata de los compresores y condensador de purgas.....	49
<i>Ilustración N°32.</i> Generador de agua dulce, campana y placas.....	50
<i>Ilustración N°33.</i> Circuito de agua dulce de baja temperatura de la sala de máquinas...51	
<i>Ilustración N°34.</i> Bombas centrífugas de agua de baja temperatura y el tanque de expansión de agua de baja.....	52
<i>Ilustración N°35.</i> Enfriador de aire del motor propulsor.....	53
<i>Ilustración N°36.</i> Equipo de descarga hidráulico FRAMO y su enfriador tubular de aceite.....	54
<i>Ilustración N°37.</i> Sala de control y ubicación del equipo de aire acondicionado.....	55
<i>Ilustración N°38.</i> Circuito de agua de alta temperatura del motor propulsor.....	56
<i>Ilustración N°39.</i> Tanque de compensación de agua de alta temperatura.....	57

<i>Ilustración N°40.</i> Segundo tecla de la sala de máquinas.....	57
<i>Ilustración N°41.</i> Bombas centrífugas de alta temperatura durante mantenimiento....	58
<i>Ilustración N°42.</i> Motor propulsor desde la banda de estribor.....	59
<i>Ilustración N°43.</i> Campana del generador de agua dulce.....	60
<i>Ilustración N°44.</i> Enfriador de placas de agua de alta temperatura.....	61
<i>Ilustración N°45.</i> Calentador de agua tubular de las camisas chaquetas.....	62
<i>Ilustración N°46.</i> Circuito de aire de arranque.....	63
<i>Ilustración N°47.</i> Compresores de doble etapa ``ABC''.....	64
<i>Ilustración N°48.</i> Botellas de aire de arranque.....	65
<i>Ilustración N°49.</i> Arrancadores neumáticos.....	66
<i>Ilustración N°50.</i> Compresor de aire de cubierta.....	66
<i>Ilustración N°51.</i> Circuito de combustible de la sala de máquinas.....	67
<i>Ilustración N°52.</i> Módulo de combustible con los tanques de diario de fuel al fondo...	68
<i>Ilustración N°53.</i> Módulo de combustible con las bombas de circulación y alimentación.....	69
<i>Ilustración N°54.</i> Módulo de combustible con los calentadores tubulares de fuel y los filtros automáticos.....	70
<i>Ilustración N°55.</i> Motor propulsor visto desde babor en el tercer tecla.....	71
<i>Ilustración N°56.</i> Circuito de aceite de la sala de máquinas.....	72
<i>Ilustración N°57.</i> Bomba de aceite del motor propulsor.....	73
<i>Ilustración N°58.</i> Enfriador de placas de aceite del motor propulsor.....	74
<i>Ilustración N°59.</i> Tanques almacén de aceite de la sala de máquinas. Segundo tecla...	75
<i>Ilustración N°60.</i> Bomba de trasiego de aceite y tanques de diario de cilindros del motor propulsor.....	76

<i>Ilustración N°61.</i> Lubricador de cilindros del motor propulsor.....	76
<i>Ilustración N°62.</i> Circuito de gases de escape de la sala de máquinas.....	77
<i>Ilustración N°63.</i> Motor propulsor, final del colector de barrido, turbosoplante y conducto de gases de escape.....	78
<i>Ilustración N°64.</i> Motor auxiliar YANMAR.....	79
<i>Ilustración N°65.</i> Volante de inercia girando junto con el eje de cola.....	80
<i>Ilustración N°66.</i> Cojinete de apoyo del eje de cola.....	81
<i>Ilustración N°67.</i> Entrada del eje de cola a la bocina.....	82
<i>Ilustración N°68.</i> Motor propulsor desde el doble fondo.....	82
<i>Ilustración N°69.</i> Motor propulsor desde el primer tecele.....	83
<i>Ilustración N°70.</i> Plano longitudinal del B/T Tinerfe.....	84
<i>Ilustración N°71.</i> Culata y válvula de escape durante un mantenimiento.....	85
<i>Ilustración N°72.</i> Vástago de la válvula de escape y rotador, que permite el giro de la válvula sobre si misma gracias al flujo de los gases de escape.....	86
<i>Ilustración N°73.</i> Cilindro, lumbrera de admisión y émbolo con aros.....	87
<i>Ilustración N°74.</i> Stuffing box con sus anillos de sello y siendo montado.....	88
<i>Ilustración N°75.</i> Colector de aire de barrido, galerías y válvula de seguridad de sobrepresión.....	89
<i>Ilustración N°76.</i> Patín y parte de la cruceta de uno de los vástagos del motor propulsor.....	90
<i>Ilustración N°77.</i> Refrigeración del émbolo por aceite mediante tubos telescópicos.....	91
<i>Ilustración N°78.</i> Cilindro del motor propulsor, ranuras de inyección de aceite y lumbreras de barrido.....	92
<i>Ilustración N°79.</i> Diagrama de maniobra con la válvula 100 resaltada.....	93

<i>Ilustración N°80.</i> Diagrama de maniobra y condición de STOP.....	94
<i>Ilustración N°81.</i> Diagrama de maniobra de arranque avante.....	95
<i>Ilustración N°82.</i> Diagrama de maniobra de arranque avante en el momento que empieza a girar el motor propulsor.....	96
<i>Ilustración N°83.</i> Diagrama de maniobra para el arranque atrás.....	97
<i>Ilustración N°84.</i> Diagrama de maniobra actuando sobre las válvulas puncture de las bombas de inyección desde el sistema de aire de seguridades.....	98
<i>Ilustración N°85.</i> Diagrama de maniobra para el arranque avante atrás actuando desde el control de emergencia.....	99
<i>Ilustración N°86.</i> Colector de gases de la turbosoplante y conducto de escape.....	101
<i>Ilustración N°87.</i> Sopladoras e interior de colector de barrido con las válvulas anti – retorno.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla N°1.</i> Características del buque Selandia.....	27
<i>Tabla N°2.</i> Características técnicas Aba.....	27
<i>Tabla N°3.</i> Características técnicas del buque Vulcania.....	28
<i>Tabla N°4.</i> Características técnicas del buque Infanta Beatriz.....	29
<i>Tabla N°5.</i> Características técnicas del Baloeran.....	30
<i>Tabla N°6.</i> Especificaciones generales del B/T Tinerfe.....	40
<i>Tabla N°7.</i> Equipamiento del B/T Tinerfe.....	40
<i>Tabla N°8.</i> Motor principal y equipos auxiliares del B/T Tinerfe.....	40
<i>Tabla N°9.</i> Tecla superior de la sala de máquinas del B/T Tinerfe.....	41
<i>Tabla N°10.</i> Segundo tecla de la sala de máquinas del B/T Tinerfe.....	42
<i>Tabla N°11.</i> Tercer tecla de la sala de máquinas del B/T Tinerfe.....	43
<i>Tabla N°12.</i> Cuarto tecla de la sala de máquinas del B/T Tinerfe.....	44

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

Éste trabajo de fin de grado nace de mi experiencia durante las prácticas como alumno de máquinas en la empresa distribuidora marítima PETROGÁS S.L.U. durante las cuales tuve la oportunidad de poder estar presente en operaciones de mantenimiento y operar un motor propulsor de 2 tiempos.

Gracias a esto, he decidido plasmar en este trabajo las características particulares de este motor de 2 tiempos frente a uno convencional de 4 tiempos, ya que lo he considerado de interés debido, tanto a su complejidad como a su interés desde el punto de vista técnico.

En el capítulo de *Objetivos* me planteo los objetivos específicos que me han motivado para el desarrollo de éste TFG.

En el capítulo de *Revisión y antecedentes* he recopilado información acerca de la historia de los motores de combustión interna, así como una explicación sobre los motores de 4 y 2 tiempos de ciclo diesel, además de una descriptiva de las partes básicas que nos encontramos en un motor de 2 tiempos y también he añadido un apartado donde plasmo imágenes e información acerca de los primeros motores de combustión interna instalados en un buque mercante.

En el capítulo *Metodología* he incluido tres apartados, documentación bibliográfica, metodología del trabajo de campo y el marco referencial. Sobre este marco referencial comentar que las características del motor de 2 tiempos son sacados del buque tanque TINERFE.

En el capítulo *Resultados* he realizado una descriptiva del buque, así como una descripción de su sala de máquinas y sus circuitos. De igual manera, hago una descripción del eje de cola del motor propulsor, hablo sobre éste y expongo sus características particulares. Para todo esto, me apoyo en imágenes sacadas durante mi período de embarque para que el lector tenga una visión específica y global de los procesos.

En el sexto capítulo de este TFG, *Conclusiones*, he plasmado las conclusiones que se han obtenido de la doble experiencia tanto profesional como académica en el desarrollo de este TFG.

En el capítulo *Bibliografía* se aporta manuales y referencias a libros técnicos en relación al contenido de este trabajo de fin de grado.

ABSTRACT

This final degree project is based on my experience during my college practices on board of quimical tanker TINERFE, belonging to the company distribuidora marítima Petrogás S.L.U. where I could learn a 2 strokes diesel engine works and where I had the chance to help with maintenance operations.

Thankful for this, I have decided to describe in this degree project the particular characteristics of this 2 strokes engine versus 4 strokes engine. I have considered them to be of interest due to both their complex execution and their interest from the technical point of view.

In the *Objectives* chapter I appear the specific aims that I have motivated for the development of this final degree project.

In the *Review and background* chapter I have compiled information about the intern combustion engine's history, although a 4 and 2 strokes working operations, as a primary 2 strokes description and also I have added a paragraph where I put it in pictures and information about the first intern combustion engines in boats.

In the *Methodology* chapter, I have included three paragraphs, bibliographical documentation, methodology of the fieldwork and the referential frame. About this referential frame, I have to say that the 2 strokes engine characteristics are about the quimical tanker TINERFE.

In the *Achievements* chapter I have realized a tanker description, although an engine room and his circuits description. As well as, I do a main engine rear axle description, I talk about it and I show his particulars elements. For all of these, I use pictures from my college practices so that the reader has a specific and global view of the processes.

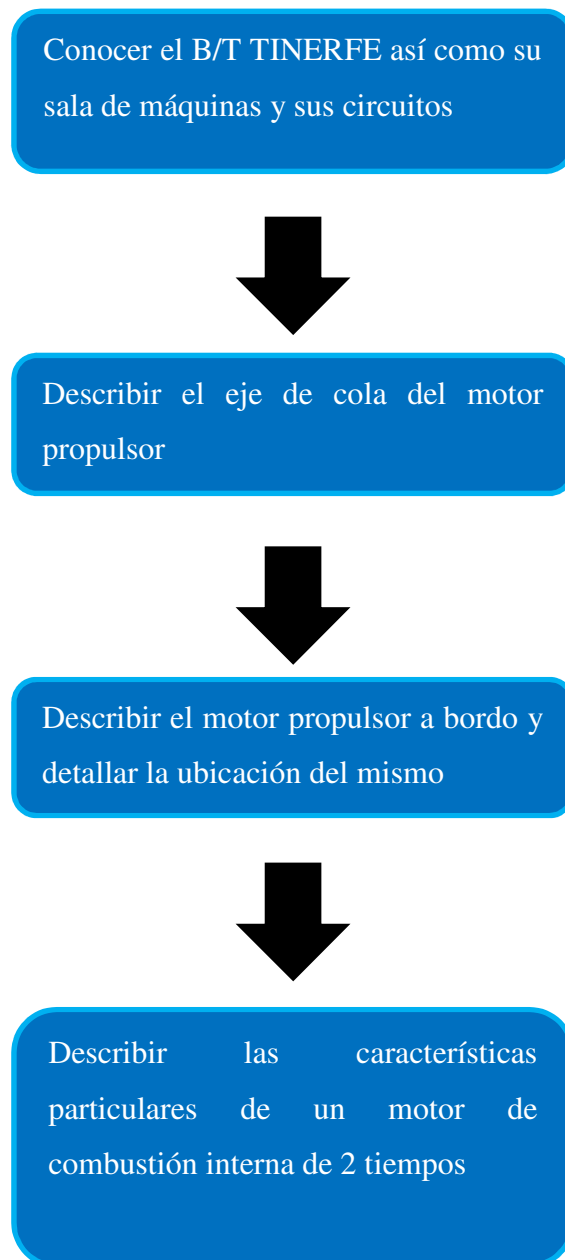
In the *Conclusion* chapter, I have included a completion obtained from the double professional and academic experience while I developed this final degree project.

In the *Bibliography* chapter, I have provided manuals and technical books references in relation to the content of this final degree project.

II. OBJETIVOS

II. OBJETIVOS

Los objetivos que se pretenden conseguir con el desarrollo de este trabajo de fin de grado son los siguientes:



III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

En este capítulo he recopilado información acerca de la historia de los motores de combustión interna, así como una explicación sobre los motores de 4 y 2 tiempos de ciclo diésel. Además, una descriptiva de las partes básicas que nos encontramos en un motor de 2 tiempos y también he añadido un apartado donde plasmo imágenes e información acerca de los primeros motores de combustión interna instalados en un buque mercante.

3.1. Historia de los motores de combustión interna

Para el desarrollo del motor de combustión interna tal y como lo conocemos hoy en día se han tenido lugar a sucesos por aproximaciones sucesivas a las soluciones actualmente válidas. Durante este proceso surgen los motores de pólvora, los de pistón de vacío y las primeras comercializaciones, tanto de motores de vacío como los motores de expansión pero sin una previa compresión. Entonces, a raíz de esto, hace unos 125 años, con la introducción de unas bases termodinámicas, surgen finalmente los motores que conocemos hoy en día, de combustión interna con compresión previa de la carga en distintas versiones, que estudiaremos a continuación. [1]

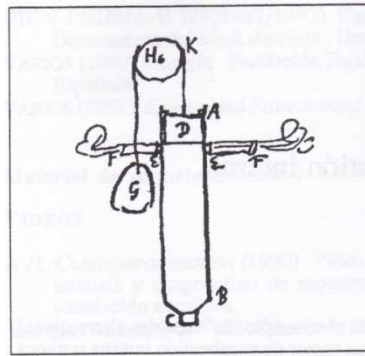
3.1.1. Motores de pistón de pólvora

Se basan en el movimiento de un émbolo por la acción de los gases comprimidos por el efecto de la pólvora.

Surgen en 1678, cuando Hautefeuille J. propone el uso de la pólvora negra para accionar un pistón con el fin de bombear agua.

Dos años más tarde, en 1680, Huygens C. y Papin D. construyen el primer motor de este tipo.

Ilustración N° 1. Esquema del motor de Huygens según croquis de la época



Fuente:[1]

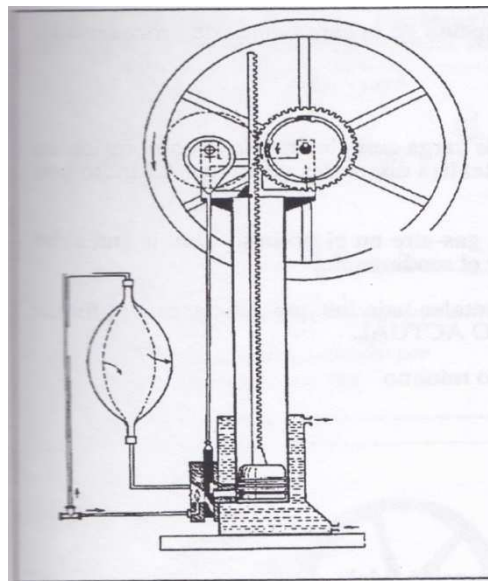
3.1.2. Motores de pistón de vacío

En este tipo de motores, se produce la carrera motriz de un émbolo debido a la disminución de la presión de carga por debajo de la atmosférica.

Robert Street en 1794 inventa un motor con bombeo de aire en el cilindro con una entrada de combustible que se inflama debido al hogar, situado debajo del cilindro.

En el año 1864 Otto y Langen E. crean un motor con un volante de inercia para efectuar la carrera ascendente e introducir una nueva carga.

Ilustración N°2. Motor de Otto y Langen E.



Fuente: [1]

3.1.3. Motores de pistón accionados por la presión de los productos de combustión de combustible más aire

Se conocen como los precursores de los actuales motores de combustión. Su funcionamiento se basa en la presión de los gases generados en una combustión que se efectúa en un cilindro para actuar directamente sobre el émbolo del motor.

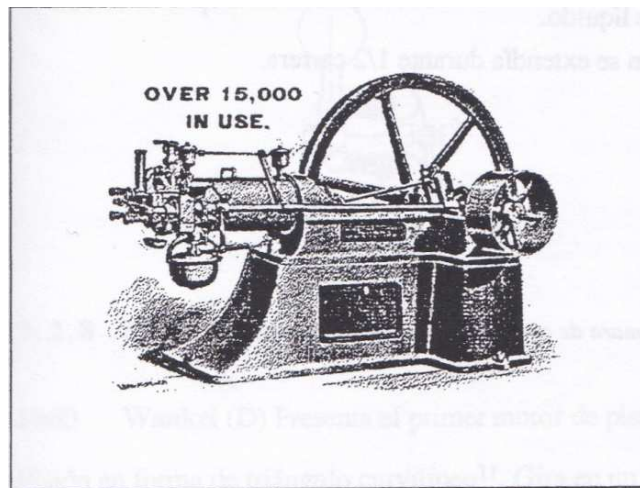
En 1860, un motor de combustión interna sin compresión previa es diseñado por Lenoir.

3.1.4. Concepto de compresión previa del aire más combustible.

Este concepto se basa en la mejora del rendimiento gracias a la pre-compresión de la carga antes de proceder a su combustión. Como precursores de esta idea cabe destacar:

A Lebon P, a Beau de Rochas, a Brayton G y a Otto N. Éste último consigue ser el primer creador de un motor de combustión interna de movimiento alternativo de 4 tiempos.

Ilustración N° 3. Motor de Otto 4 tiempos según anuncio de la fábrica licenciataria americana "American Gas Light Journal".



Fuente: [1]

3.1.5. Compresión previa del aire y del combustible por separado

En el año 1892, Rudolf Diesel propone una compresión previa del aire para que adquiera una temperatura suficiente para inflamar el combustible al inyectado.

3.1.6. Motores alternativos de 2 tiempos

Esta idea de realizar en solo 2 carreras lo que se venía realizando en 4, va a permitir aumentar la potencia por cilindrada. En la búsqueda de este objetivo, cabe citar los trabajos de Robson, Clerk, Benz y Day.

En el año 1878, Clerk construye pequeños motores que realizan una compresión en el cárter, que es estanco, y su barrido, en lazo.

En el año 1891, Day introduce el motor de 2 tiempos de 3 conductos. Lumbrera de admisión, de transferencia y de escape.

3.1.7. Motores de pistón libre

Estos motores no están conectados a un eje motriz, si no que se unen directamente con los pistones de un compresor. Las aplicaciones son varias, así como los compresores de aire, los generadores de gases para turbina... en el desarrollo de estos motores cabe destacar a Gómez Arias, a Buchi, a Pescara y Junkers y a la Socierté d' Etudes Mecaniques et Energétiques SEME/ SIGMA.

3.1.8. Motores de émbolo rotativo

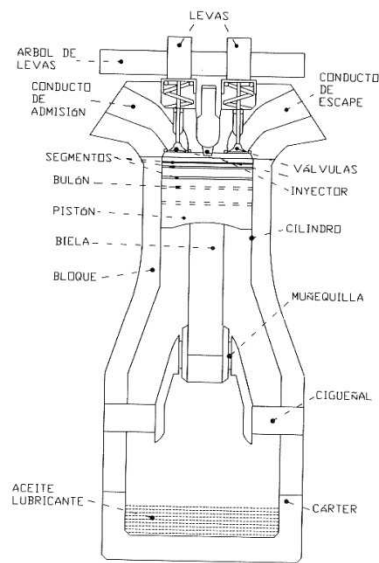
En el año 1960 Wankel presenta el primer motor de pistón de movimiento rotativo de ciclo Otto. El pistón de este motor lleva forma de triángulo curvilíneo. Gira en un cárter fijo que es refrigerado por agua o aire. Fue desarrollado por la empresa MAZDA y en la actualidad lo equipa en mucho de sus automóviles.

3.2. Breve explicación motores de combustión interna de 4 tiempos de ciclo diésel

Estos motores son conocidos por su economía de utilización y por emplear un combustible de coste inferior a la gasolina. Son muy robustos y la entrega de potencia es más efectiva que la de un motor de gasolina equivalente. El combustible empleado es el gasoil, cuya temperatura de inflamación se encuentra en torno a los 65°C. Este dato es importante, ya que determina la forma de inflamarse de este producto. Este hecho se produce inyectando el combustible en la cámara de combustión y mezclándolo con aire previamente calentado. Estos motores disponen de una elevada relación de compresión.

[2]

Ilustración N°4. Motor de 4 tiempos de ciclo diésel de inyección directa con sus partes principales



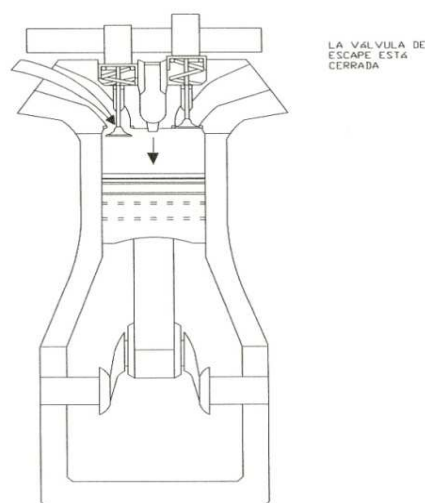
Fuente: [2]

Para explicar el ciclo diésel teórico de 4 tiempos partiremos de la base de un motor alternativo de inyección directa, como el que vemos en la imagen superior.

3.2.1. Tiempo de admisión

En esta carrera descendente del pistón, solo se succiona aire, no entra combustible en la cámara de combustión.

Ilustración N°5. Tiempo de admisión.

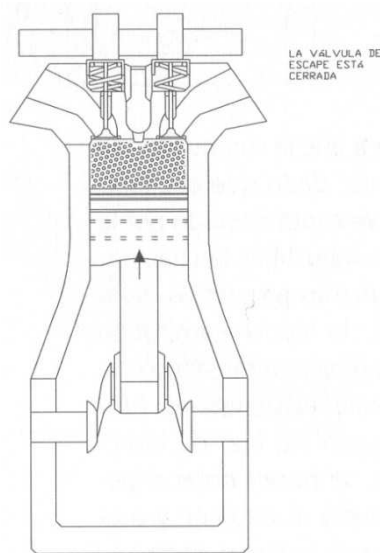


Fuente: [2]

3.2.2. Tiempo de compresión

En el tiempo anterior sólo se admitió aire, por lo que será eso lo que se comprima. Esta compresión se efectúa a una presión más elevada que en el caso de los motores de ciclo Otto, elevándose también la temperatura del aire.

Ilustración N°6. Tiempo de compresión

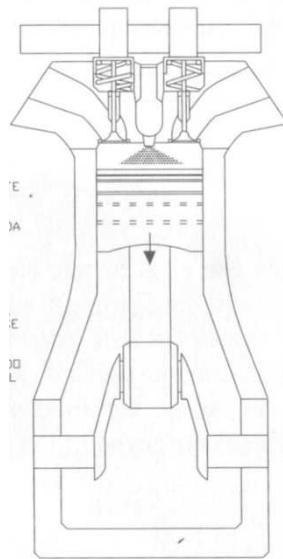


Fuente: [2]

3.2.3. Tiempo de combustión

En este tiempo es necesario que la temperatura del aire se encuentre muy por encima de la temperatura de inflamación del gasoil. El combustible es introducido en la cámara de combustión a una alta presión mediante el inyector. Al iniciarse esta inyección, el gasoil pulverizado entra en contacto con el aire a alta temperatura, iniciándose la combustión. Este hecho hace que la presión en este momento aumente de forma considerable, empujando el pistón hacia abajo y realizando un trabajo.

Ilustración N°7. Tiempo de combustión

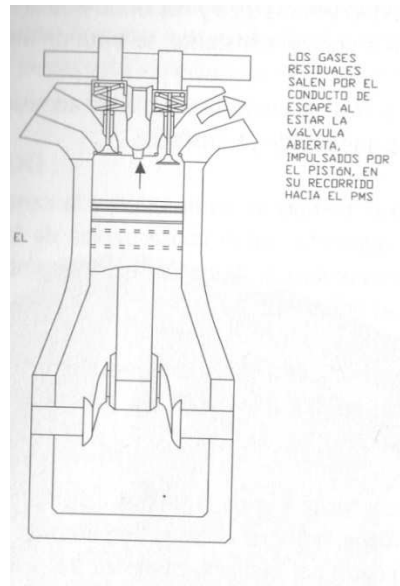


Fuente: [2]

3.2.4. Tiempo de escape

En este tiempo se va a vaciar el cilindro de los gases residuales procedentes de la combustión. Así se finaliza el ciclo de 4 tiempos y se prosigue para dejar preparado el motor para que comience otro de nuevo. Este tiempo se inicia cuando el pistón se encuentra en el punto muerto inferior, momento en el que se abre la válvula de escape, y finaliza cuando el pistón se encuentra en el punto muerto superior, proceso en el cual los gases de escape son evacuados. Este tiempo, así como el ciclo completo, finaliza cuando el pistón llega al punto muerto superior.

Ilustración N°8. Tiempo de escape



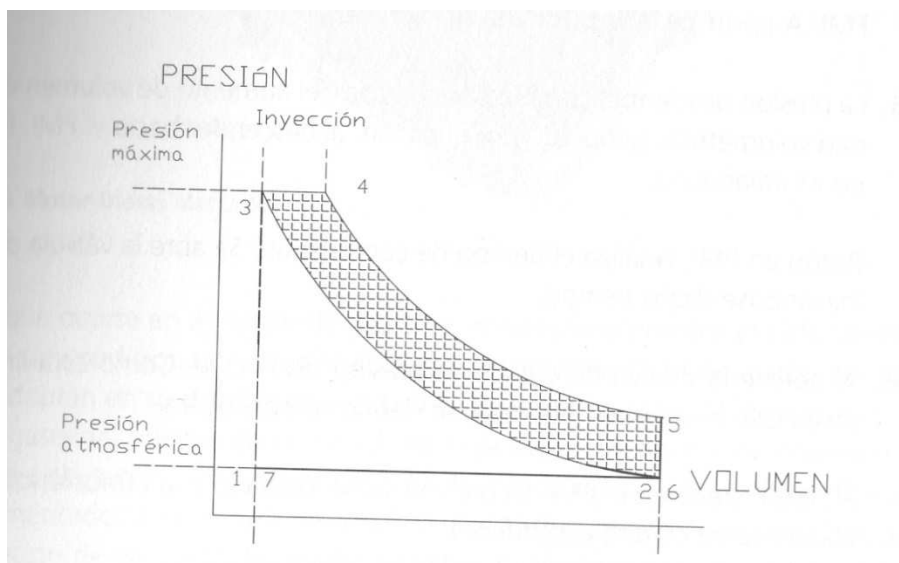
Fuente: [2]

Lo que se deduce de toda esta explicación es que el ciclo completo se va a componer de cuatro tiempos efectuados a lo largo de cuatro carreras, en las cuales el cigüeñal realiza dos vueltas completas (720°).

3.2.5. Diagrama P.V. del ciclo teórico diésel de 4 tiempos.

A continuación inserto imagen del diagrama presión- volumen del ciclo diésel teórico.

Ilustración N°9. Diagrama P.V. del ciclo teórico diésel de 4 tiempos



Fuente: [2]

3.3. Breve explicación motores de combustión interna de 2 tiempos de ciclo diésel

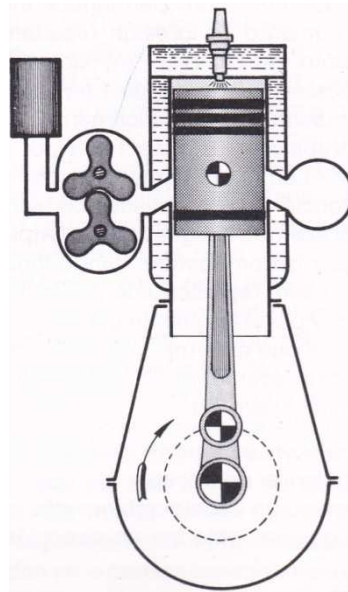
Este tipo de motores se ha generalizado con absoluto predominio en el campo de la propulsión naval. Se puede decir que hoy en día todos los motores diésel de gran potencia funcionan con el ciclo de dos tiempos.

Su ciclo completo se caracteriza por realizarse en una vuelta completa, es decir, en 360° de giro del cigüeñal. Estos motores solo admiten aire durante la admisión, realizándose esta directamente en la cavidad volumétrica. Es por ello que el aire es introducido a presión, ya sea por un compresor o por una bomba.

3.3.1. Primer tiempo: combustión y expansión. Escape. Suministro de aire puro y barrido

En este tiempo se comienza la carrera motriz, se inyecta el combustible en el cilindro y el émbolo es empujado hacia el punto muerto bajo.

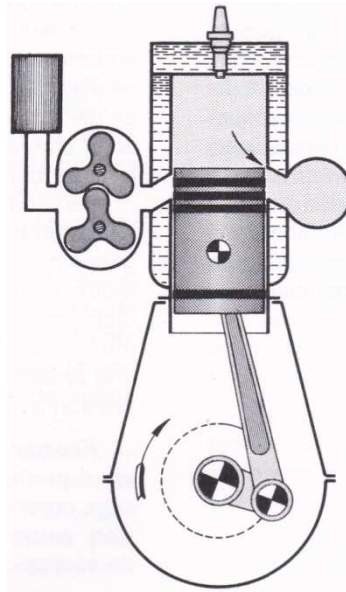
Ilustración N°10. Momento de la inyección de combustible



Fuente: [3]

Justo después, en su movimiento hacia el punto muerto bajo, el émbolo descubre las lumbreras de escape. Es en este momento en el cual los gases comienzan a escapar a la atmósfera.

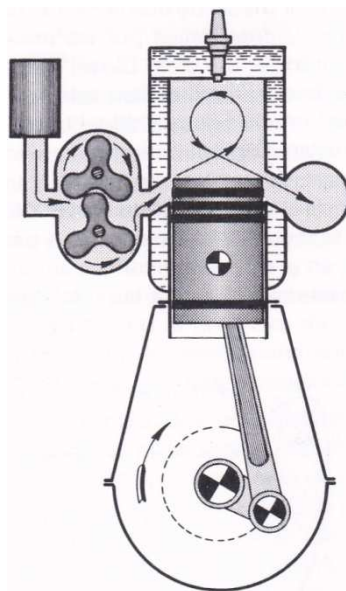
Ilustración N° 11. Momento en el cual quedan descubiertas las lumbreras de escape



Fuente: [3]

El émbolo sigue descendiendo y acto seguido, se descubren las lumbreras de admisión. El aire de barrido entra entonces en el cilindro, produciendo la salida completa de los gases de escape. En este momento, el primer tiempo finaliza.

Ilustración N°12. Entrada del aire de barrido a la cavidad volumétrica

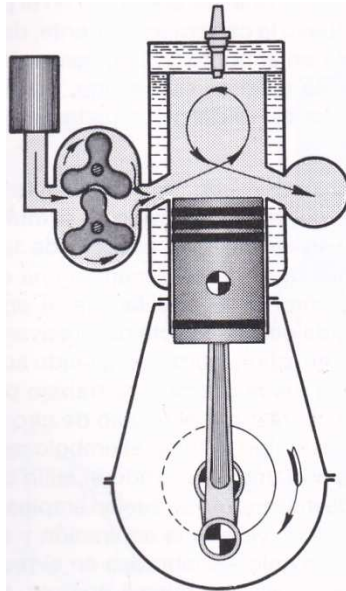


Fuente: [3]

3.3.2. Segundo tiempo: finalización del barrido y del escape de los gases quemados. Compresión

En este segundo tiempo finaliza la carrera motriz del émbolo al punto muerto bajo y comienza su carrera ascendente. El aire de barrido va a llenar por completo el cilindro.

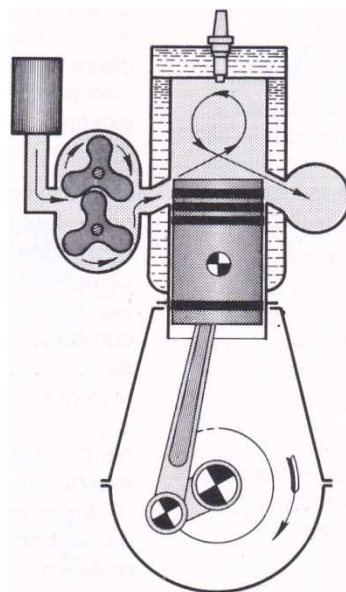
Ilustración N° 13. Momento en el cual el émbolo se encuentra en su punto muerto bajo



Fuente: [3]

Acto seguido, comienza la carrera ascendente. El émbolo va a cerrar primeramente las lumbreras de admisión.

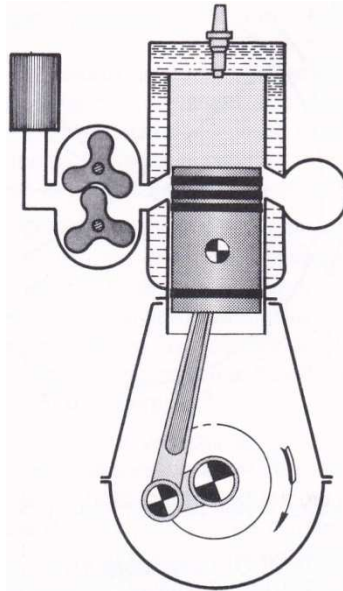
Ilustración N° 14. Comienza la carrera ascendente del émbolo



Fuente: [3]

A continuación, el émbolo va a proseguir su carrera ascendente, cerrando también las lumbreras de escape, iniciando la compresión del aire encerrado en el cilindro.

Ilustración N° 15. Se comprime el aire en la cavidad volumétrica durante la carrera ascendente

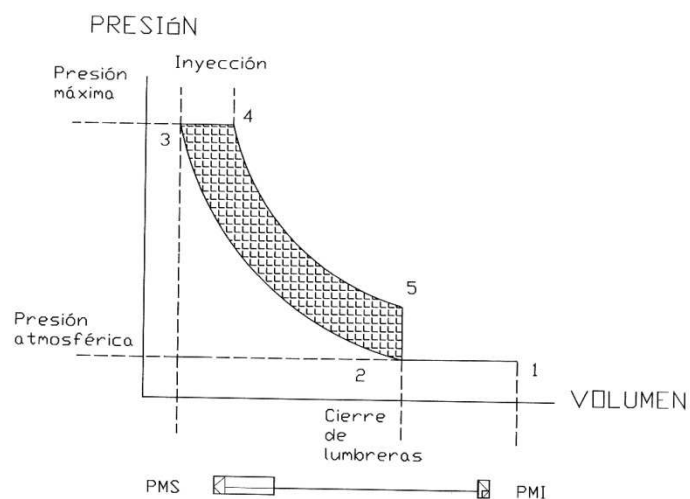


Fuente: [3]

3.3.3. Diagrama P.V. del ciclo teórico diésel de 2 tiempos

A continuación inserto imagen del diagrama presión- volumen del ciclo diésel teórico.

Ilustración N° 16. Diagrama P.V. del ciclo teórico diésel de 2 tiempos



Fuente: [3]

3.4. Partes básicas de un motor de combustión interna de ciclo diésel de 2 tiempos

Este tipo de motores, muy ampliamente utilizados en el ámbito marino, presentan un diseño bastante común entre ellos. Acto seguido, daremos una breve descripción sobre estos elementos.

Bastidor: esta pieza es el bloque del motor. Incorpora la galería de aire de barrido y el soporte del eje de camones.

Culatas: son de acero forjado, con conductos taladrados. Tienen un alojamiento central para la válvula de seta de escape y alojamientos para los inyectores. También tienen una válvula de seguridad, una de arranque y otra de purga.

Camisas: son simétricas, de diseño simple.

Cigüeñal: es totalmente forjado.

Émbolos: van refrigerados por aceite.

Eje de camones: ubicado en el bastidor. Se encuentran en una posición alta. Acciona las bombas de combustible y las válvulas de escape.

Válvulas de escape: componente de gran importancia. Se encuentra sujeta a un importante esfuerzo en su proceso de desarrollo. Accionadas hidráulicamente, realizándose su cierre mediante un resorte neumático.

Sistema de combustible: este sistema es cerrado y presurizado. Los inyectores son sin refrigerar, de muy ligero peso. Las bombas de combustible regulan el paso del mismo mediante cremalleras.

Mecanismo de inversión: esta se lleva a cabo mediante un mecanismo muy simple y seguro que incorpora un rodillo desplazable angularmente en el accionamiento de la bomba de cada cilindro. Cada cilindro es independiente y es activado mediante aire comprimido.

3.5. Primeros motores de combustión interna a bordo de un buque mercante

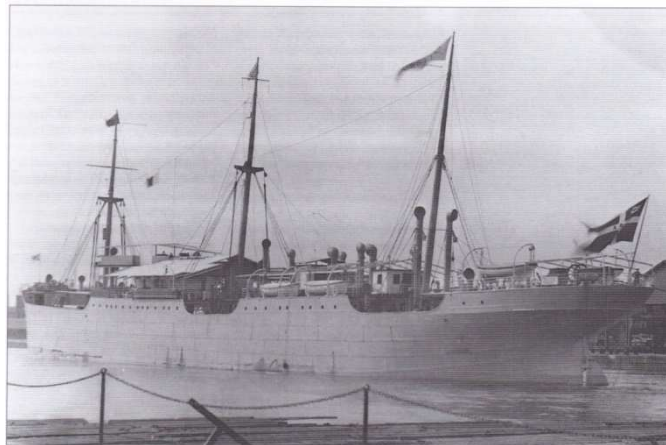
Este hecho se produce a principios del siglo XX, debido en gran medida al perfeccionamiento en los aviones de motor a reacción, desapareciendo casi por completo el comercio de pasajeros a largas distancias. El transporte de mercancías se revolucionó. La propulsión a vapor dió paso al diésel, más eficaz, económico y productivo.

3.5.1. Selandia (Dinamarca, 1912)

Este buque fue el primero de un grupo de tres que la compañía East Asiatic puso en servicio justo antes de la Primera Guerra Mundial. Primeramente, operó entre Europa y Tailandia. Fue la primera embarcación transatlántica cuya potencia provenía de motores diésel. Fue un éxito inmediato. Los motores eran muy ineficaces y enormes, con ocho cilindros independientes.

El viaje inaugural de este buque fue de 40750 km. y demostró que la maquinaria diésel era más económica que el vapor.

Ilustración N° 17. El buque Selandia



Fuente: [4]

Tabla N°1. Características del buque Selandia

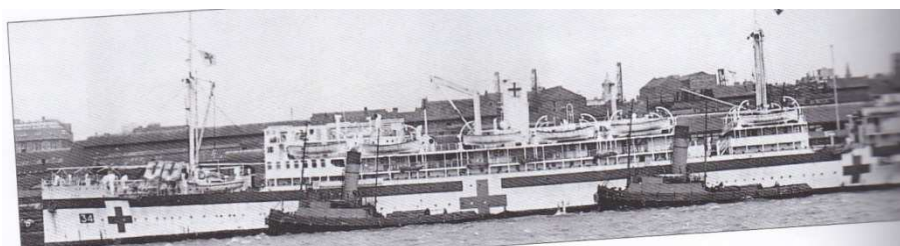
Características técnicas.	
Tonelaje: 4.964 toneladas brutas.	Ruta: Copenhague – Bangkok.
Dimensiones: 117.65 x 16.2 x 7 m.	Capacidad: 26 personas, 7.400 Tm de carga máx.
Maquinaria: dos ejes, diésel; 2.500 cv.	Constructor: B&W, Copenhague.
Velocidad: 11.25 nudos.	Material: acero.
Función: transatlántico/carguero.	Construido para: East Asiatic Co.

Fuente: [4]

3.5.2. ABA (Gran Bretaña, 1917)

Primer buque de pasajeros que fue movido por la potencia de dos motores diésel. Se construyó en un principio para el gobierno zarista de Rusia. Fue terminado en el año 1917 y empleado como transporte de tropas por el ejército de Estados Unidos. Después de la guerra, cambió su nombre a Glenapp y se utilizó para conectar Londres y Nigeria. Durante la Segunda Guerra Mundial es requisado y utilizado como buque hospital. En 1947 se hundió en un muelle mientras lo estaban reparando.

Ilustración N° 18. El ABA, durante la Segunda Guerra Mundial, siendo empleado como buque hospital



Fuente: [4]

Tabla N°2. Características técnicas ABA

Características técnicas.	
Tonelaje: 7.937 Tm brutas.	Ruta: Reino Unido – África Occidental.
Dimensiones: 137.2 x 17 m.	Capacidad: 220 de 1ª, 105 de 2ª y 35 de 3ª.
Maquinaria: dos ejes, diésel. 4.800 cv.	Constructor: Barclay, Curle and Co. Ltd., Clydeside.
Velocidad: 14 nudos.	Material: acero.
Función: Transatlántico.	Construido para: gobierno ruso.

Fuente: [4]

3.5.3. Vulcania (Italia, 1926)

Este buque junto a su hermano el Saturnia fueron los buques más grandes a motor de su época. Construidos para operar entre Trieste y Nueva York. Durante la Segunda Guerra Mundial sirvió como transporte de tropas tanto para los italianos como para los estadounidenses. En 1965 fue vendido a la SIOSA line y se dedicó al transporte de emigrantes de Europa al Caribe hasta el año 1974, que fue retirado.

Ilustración N° 19. El buque Vulcania



Fuente: [4]

Tabla N° 3. Características técnicas del buque Vulcania

Características técnicas.	
Tonelaje: 23.970 Tm brutas (después 24.469)	Ruta: Trieste - Nueva York; Caribe – Europa.
Dimensiones: 192.45 x 24.35 m.	Capacidad: 310 de 1-º, 460 de 2ª, 310 tur., 700 de 3ª; 240 de 1ª, 270 de 2ª, 860 tur.
Maquinaria: dos ejes, diésel.	Constructor: Cantiere Navale Triestino, Monfalcone.
Velocidad: 19 nudos (después 21).	Material: acero.
Función: transatlántico, transporte de tropas.	Construido para: Cosiluch Line.

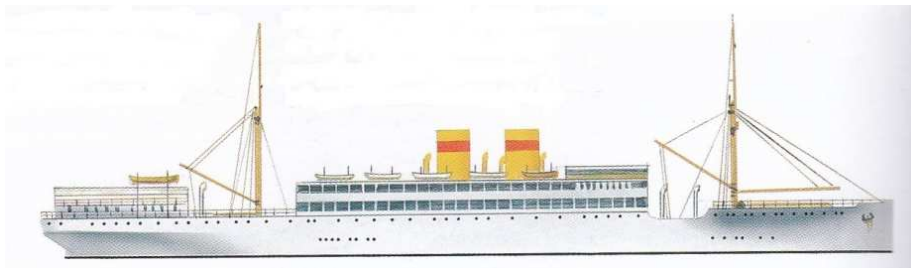
Fuente: [4]

3.5.4. Infanta Beatriz (España, 1928)

Este buque fue el primero construido a motor para España. Destinado para el transporte de pasajeros, el alojamiento de los mismos era de alto nivel, poco corriente para la época. Luego, las bodegas se acondicionaron para el transporte de plátano, entre las Islas Canarias y Alemania.

En el año 1939, mientras se encontraba en Barcelona, este buque fue bombardeado y se hundió. Posteriormente, se reflató, se reparó y prestó servicio hasta la década de 1960.

Ilustración N° 20. El buque Infanta Beatriz



Fuente: [4]

Tabla N°4. Características técnicas del buque Infanta Beatriz

Características técnicas.	
Tonelaje: 6.279 Tm brutas.	Ruta: Alemania – Islas Canarias.
Dimensiones: 125 x 15.8 x 6.4 m.	Capacidad: 134 de 1ª, 38 de 2ª, 60 de 3ª, 5.200 Tm de carga máxima.
Maquinaria: dos ejes, diésel, 4.340 cv.	Constructor: Krupp AG (Germaniawerft), Kiel.
Velocidad: 14 nudos.	Construido para: Cía. Trasmediterránea.
Función: transatlántico/carguero.	

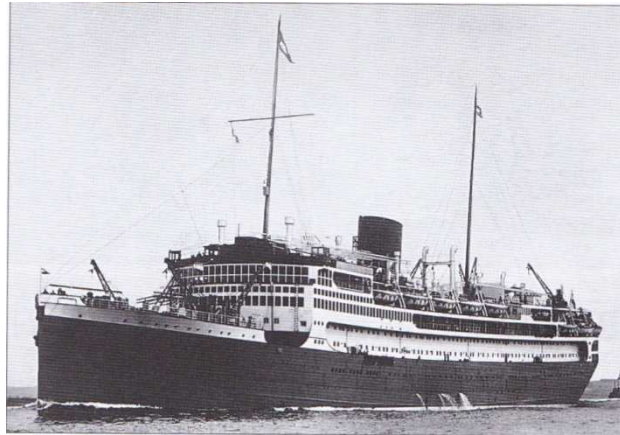
Fuente: [4]

3.5.5. Baloeran (Países bajos, 1930)

Uno de los primeros transatlánticos que se propulsan con un motor de 2 tiempos, producido por los hermanos Sulzer. Operó en los trópicos hasta que durante la Segunda Guerra Mundial los Países Bajos se rindieron a Alemania, tomando ésta el buque y

utilizándolo como buque hospital. En el año 1943 se hunde en el mar del Norte al colisionar con una mina.

Ilustración N°21. El buque Baloeran



Fuente: [4]

Tabla N° 5. Características técnicas del Baloeran

Características técnicas.	
Tonelaje: 16.981 Tm brutas.	Ruta: Países Bajos – Indias Orientales.
Dimensiones: 175 x 21.3 x 8.5 m.	Capacidad: 236 de 1ª, 280 de 2ª, 70 de 3ª y 48 de 4ª
Maquinaria: dos ejes, diésel, dos tiempos.	Constructor: Astillero de Wilton – Fijenoord, Schiedam.
Velocidad: 18 nudos.	Construido para: Rotterdam – Lloyd line.
Función: transatlántico/carguero.	

Fuente: [4]

3.6. ¿Por qué un motor de combustión interna de 2 tiempos a bordo?

En el caso de que la velocidad del buque no sea un objetivo prioritario y dispongas de una sala de máquinas generosa, un motor de combustión interna de 2 tiempos es un motor que muestra una mayor fiabilidad y durabilidad en contra de un motor de 4 tiempos.

Este tipo de motores presenta una mayor simplicidad mecánica. Esto hace que los elementos que se puedan averiar sean en un porcentaje menor. Son motores lentos, con

pocas oscilaciones, lo que conlleva a que el descanso y la vida a bordo sean de más calidad.

En igualdad de cilindrada, un motor de 2 tiempos desarrolla una mayor potencia frente a uno de 4 tiempos.

IV. METODOLOGÍA

IV. METODOLOGÍA

En este capítulo he incluido tres apartados, documentación bibliográfica, metodología del trabajo de campo y el marco referencial.

4.1. Documentación bibliográfica

La documentación aparecida en este trabajo de fin de grado, es, a partir de una fuente bibliográfica en la que se incluyen páginas web, libros técnicos de texto, informes y manuales del buque, además de los conocimientos adquiridos en mi período de prácticas en la empresa PETROGÁS S.L.U. Para los aspectos técnicos de la descripción del motor principal se ha recurrido a los manuales proporcionados por el fabricante.

4.2. Metodología del trabajo de campo

La realización de este trabajo de fin de grado viene de mi experiencia de un trabajo de campo llevado a cabo durante mi período de prácticas en el buque tanque ``TINERFE`` en el cual pude estar presente y ser partícipe de distintos mantenimientos aplicados al motor principal, aportando fotos de elaboración propia con reseñas en las mismas que aportan más claridad al lector del trabajo de fin de grado.

4.3. Marco referencial

Nuestro marco referencial es el buque tanque ``TINERFE``, de la empresa distribuidora marítima PETROGÁS S.L.U., en el cual he tenido la oportunidad de realizar parte de mi período de prácticas para la elaboración de este trabajo de fin de grado. Este buque trabaja con un motor propulsor de ciclo diésel de 2 tiempos, por lo que decidí hacer el trabajo basándome en los conocimientos que adquirí durante la experiencia a bordo.

V. RESULTADOS

V. RESULTADOS

En este capítulo he realizado una descriptiva del buque, así como una descripción de su sala de máquinas y sus circuitos. De igual manera, hago una descripción del eje de cola del motor propulsor, hablo sobre éste y expongo sus características particulares.

5.1. B/T Tinerfe

El buque tanque Tinerfe es un buque quimiquero de tipo II. Está fletado por la compañía de hidrocarburos CLH y se dedica al transporte de derivados del petróleo (gasóleo, gasolina y queroseno) navegando entre puertos de la península, principalmente por el mediterráneo.

Ilustración N°22. Buque tanque Tinerfe atracado en Huelva



Fuente: [trabajo de campo]

Este buque es de doble casco, con 17539 toneladas de peso muerto. Fue construido en noviembre del año 2009, en los astilleros Samho Shipbuilding Co., ubicados en Corea del Sur. Su nombre inicial fue el de Shamo Freedom.

Tabla N°6. Especificaciones generales del B/T Tinerfe

ESPECIFICACIONES GENERALES.	
N° IMO:	9498107
Eslora total (m):	144.06
Eslora entre perpendiculares (m):	136.00
Manga (trazado) (m):	22.60
Puntal (m):	12.50
Calado (m):	9.20
Arqueo bruto (GT):	11.259
Arqueo neto (NT):	5.265
Peso muerto (DWT):	17.539
Desplazamiento (T):	22.541
Velocidad máxima (kn):	14
Fecha de construcción:	24.11.2009

Fuente: [5]

Tabla N°7. Equipamiento del B/T Tinerfe

EQUIPAMIENTO DEL BUQUE.	
Hélice propulsora:	Paso fijo; 4 palas; (Ni-Al-Bronce)
Timón:	Pala estándar
Hélice de proa:	500 kW

Fuente: [5]

Tabla N°8. Motor principal y equipos auxiliares del B/T Tinerfe

MOTOR PRINCIPAL Y AUXILIARES.	
Motor principal:	MAN B&W 8S35MC 5.950 kW 173 rpm
Fuel:	HFO 380 cSt 179 g/kW h
Motores auxiliares:	YANMAR 3x745 kW x 900 rpm
Motor de emergencia:	VOLVO PENTA 160 kW x 1.800 rpm
Caldera:	Vapor 1x 14.000 kg/h 7 bar
Economizador:	900 kg/h 7 bar

Fuente: [5]

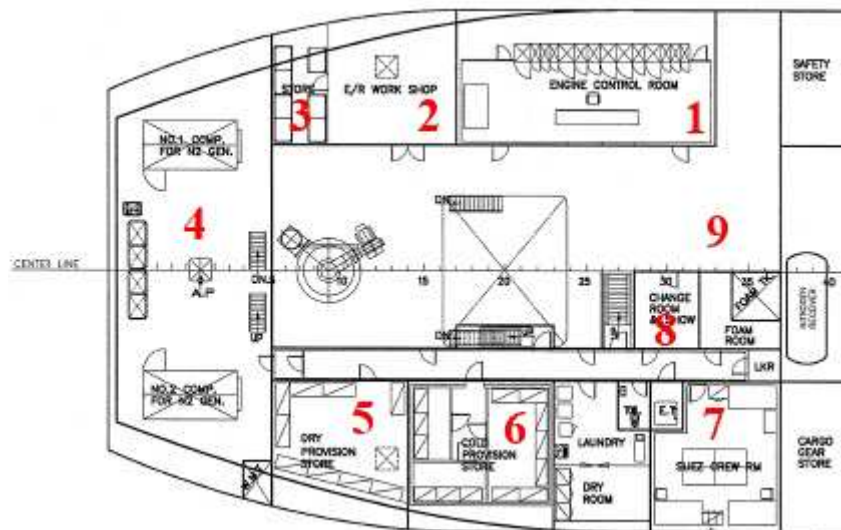
5.2. Sala de máquinas y circuitos

La sala de máquinas del B/T Tinerfe es bastante generosa en cuanto a espacio. Está compuesta por 4 tecles, en los cuales están dispuestos los diferentes equipos. La bancada del motor propulsor se encuentra en el doble fondo y se eleva hasta el tercer tecele. En cuanto a los circuitos, podemos distinguir seis diferentes. El de agua salada, el de agua dulce de baja y alta temperatura, el de combustible, el de aire de arranque y el de aceite.

5.2.1. Tecele superior

Este es el tecele de acceso principal a la máquina. En él destaca la ubicación de la sala de control, la caldera de vapor, el taller principal y los compresores de nitrógeno utilizados para inertizar los tanques de carga.

Ilustración N°23. Tecele superior de la sala de máquinas



Fuente: [6]

Tabla N°9. Tecele superior de la sala de máquinas del B/T Tinerfe

Tecele superior de la sala de máquinas del B/T Tinerfe

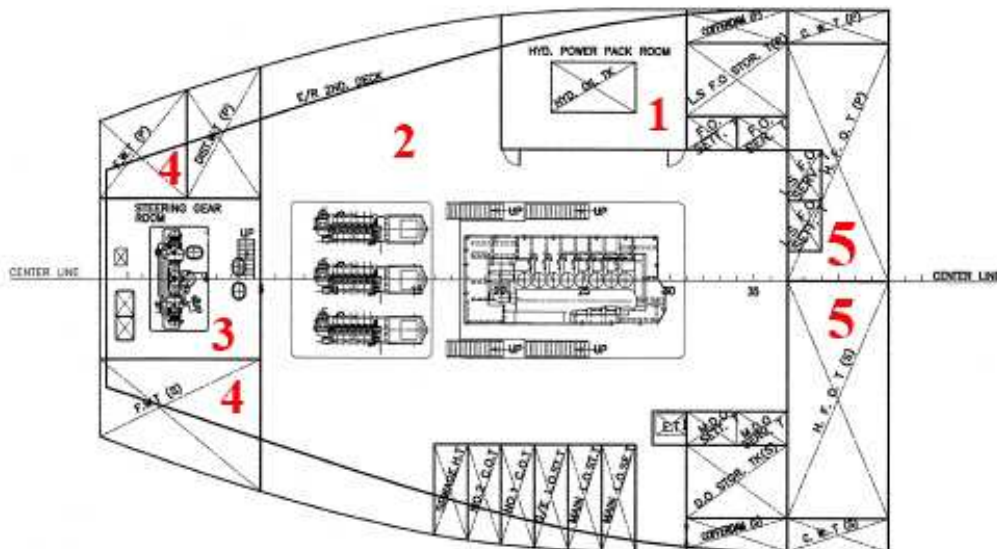
1: sala de control	5: gambuza
2: taller de trabajo	6: almacén refrigerado de comida
3: pequeño pañol de consumibles	7: pañol de respetos
4: sala de compresores de gas inerte	8: pequeño cambiador
9: ubicación de la caldera de vapor	

Fuente: [elaboración propia]

5.2.2. Tecele segundo

En este tecele están situados los compresores y las botellas de aire, las bombas hidráulicas para alimentar las bombas de descarga, el local del servo, el tanque de cascada, los tanques de agua para consumo, los tanques almacenes de aceite y de fuel y equipos auxiliares como el termo de agua doméstica y la planta de aguas fecales.

Ilustración N°24. Segundo tecele de la sala de máquinas del B/T Tinerfe



Fuente: [6]

Tabla N°10. Segundo tecele de la sala de máquinas del B/T Tinerfe

Segundo tecele de la sala de máquinas del B/T Tinerfe	
1: local del FRAMO	3: local del servo

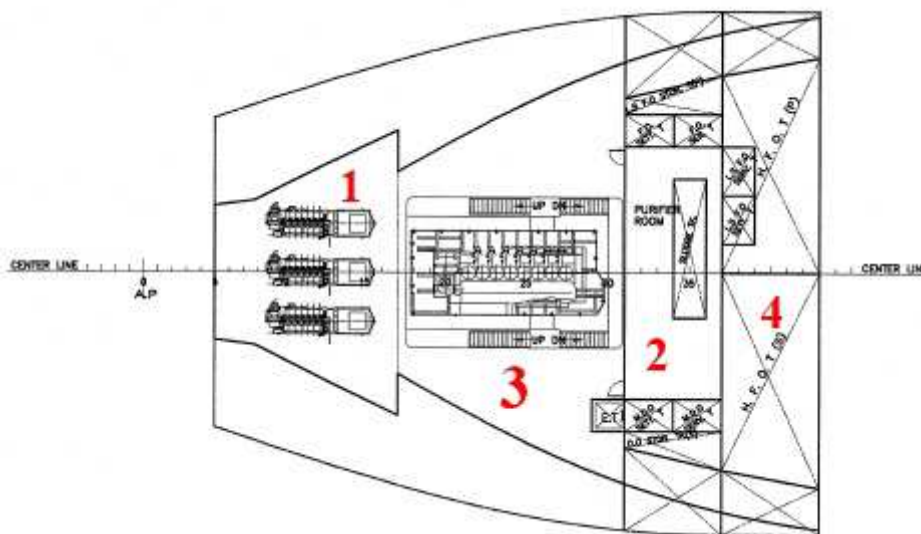
2: Ubicación de los compresores, botellas y tanque de cascada	4: tanques de agua dulce
5: tanques almacén de fuel	

Fuente: [elaboración propia]

5.2.3. Tercer tecele

En este tecele está ubicado el módulo de combustible, los 3 motores auxiliares, equipos como las bombas de alimentación de la caldera, los hidróforos, el generador de agua dulce y la parte superior del motor propulsor, pudiendo desde aquí manipular las válvulas indicadoras de diagramas, las cremalleras, acceder al colector de aire de barrido...también se encuentra, en el interior del módulo de combustible, los tanques diario de diésel y fuel.

Ilustración N°25. Tercer tecele de la sala de máquinas del B/T Tinerfe



Fuente: [6]

Tabla N°11. Tercer tecele de la sala de máquinas del B/T Tinerfe

Tercer tecele de la sala de máquinas del B/T Tinerfe	
1: motores auxiliares	3: ubicación de distintos equipos, como las bombas de alimentación de la caldera, los hidróforos, el generador de agua dulce

2: módulo de combustible

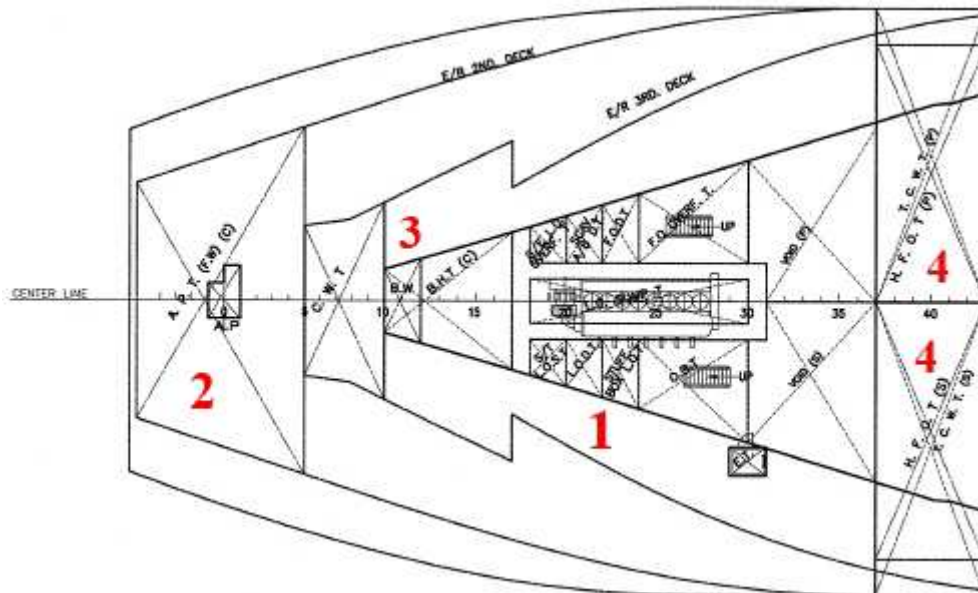
4: tanques diarios de fuel y diésel

Fuente: [elaboración propia]

5.2.4. Cuarto tecele

En este último tecele se encuentra la bancada del motor propulsor desde donde podemos acceder a su cárter. También hay equipos como las bombas de agua salada, las de trasiego de fuel y diésel, los enfriadores de aceite del motor propulsor, los enfriadores de agua dulce, la bomba de aceite y el eje de la hélice.

Ilustración N°26. Cuarto tecele o doble fondo de la sala de máquinas del B/T Tinerfe



Fuente: [6]

Tabla N°12. Cuarto tecele de la sala de máquinas del B/T Tinerfe

Cuarto tecele de la sala de máquinas del B/T Tinerfe	
1: bancada del motor propulsor así como los enfriadores de aceite, de agua, las bombas de agua salada, las de aceite y las de trasiego de combustible	3: eje de la hélice

2: bocina del buque

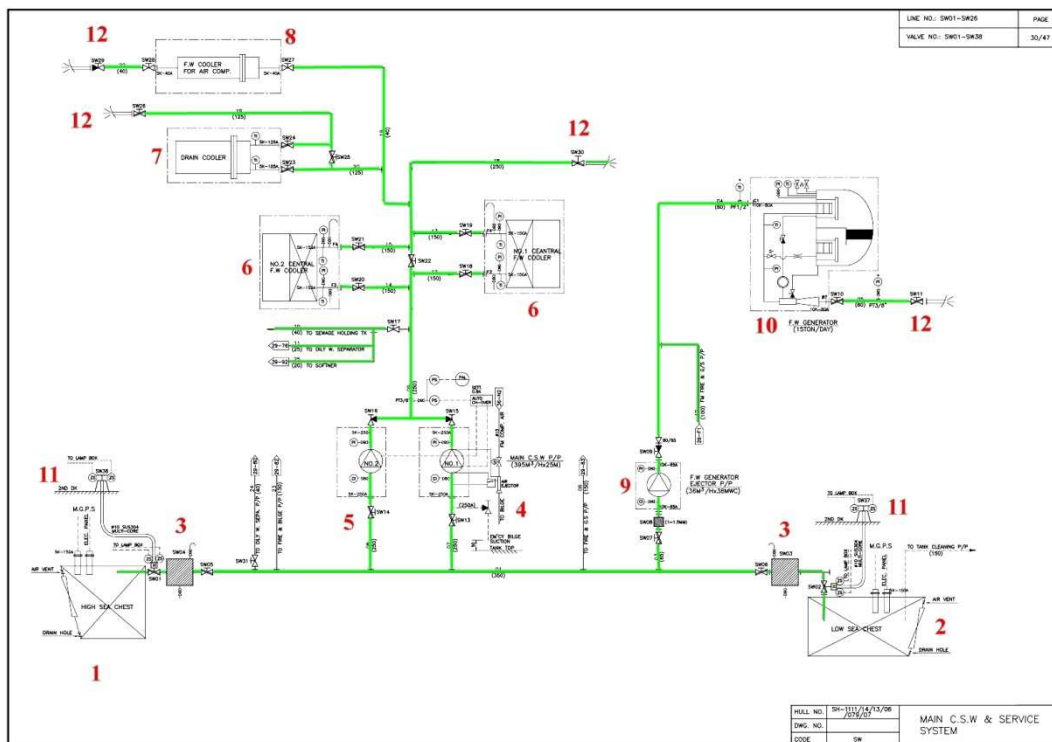
4: tanques almacén de fuel

Fuente: [elaboración propia]

5.2.5. Circuito de agua salada

Este circuito es fundamental a bordo ya que aprovechamos el medio que nos rodea para emplearlo para nuestros intereses. El inconveniente que tiene es que el agua salada corroe los materiales por lo que suele necesitar un mayor mantenimiento.

Ilustración N°27. Circuito de agua salada del B/T Tinerfe



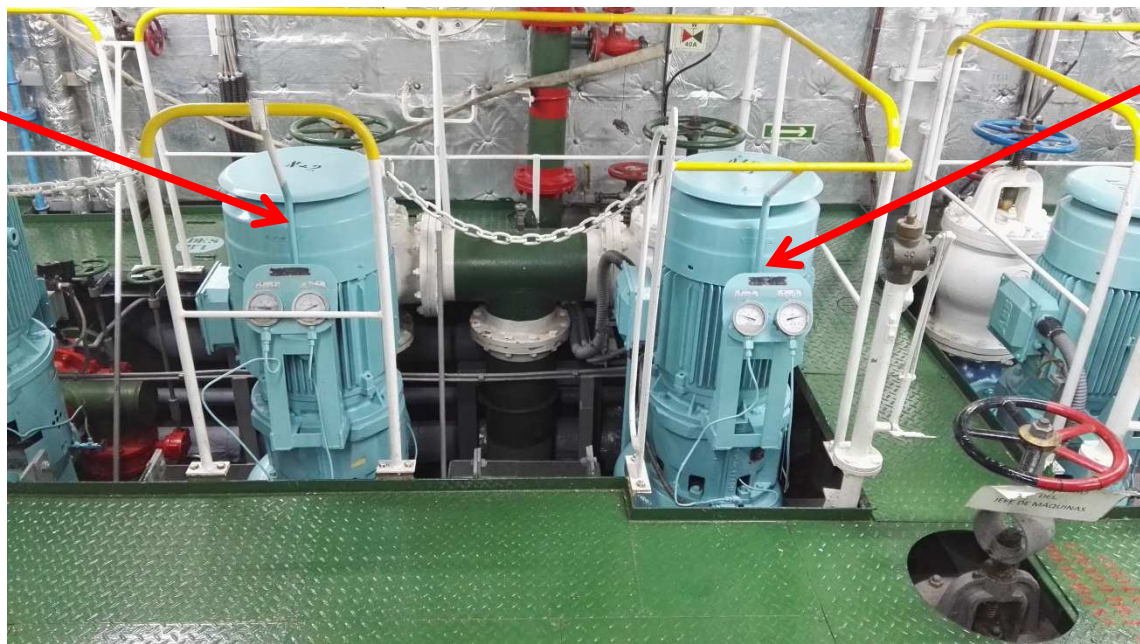
Fuente: [6]

El circuito de agua salada del B/T Tinerfe consta de 2 tomas de mar (una de alta y otra de baja) representados en el plano como número 1 y 2 respectivamente. Estas tomas de mar están protegidas de la corrosión mediante un sistema de electrólisis, compuesto por una aleación de cobre y aluminio. A continuación, con el número 3 nos encontramos con los filtros de mar. Tanto las cajas de mar como los filtros de fondo constan de una des-aireación. Cumplen la función de eliminar el posible aire que queda

atrapado tanto en las cajas de mar como en los filtros de fondo, evitando así cebar la línea y las bombas.

Siguiendo la línea de aspiración, vamos a dar con las bombas centrífugas de agua salada. Están representadas con los números 4 y 5.

Ilustración N°28. Bombas centrífugas de agua salada



Fuente: [trabajo de campo]

Siguiendo la línea nos encontramos con los enfriadores de agua de baja temperatura (representados con el número 6). Emplearemos el agua salada para refrigerar el agua dulce que irá destinada, a su vez, a refrigerar el enfriador de aceite del motor principal, el enfriador de aire del motor principal y el enfriador de agua de alta temperatura del motor principal.

Ilustración N°29. Enfriadores de agua de baja temperatura

Enfriadores de agua de baja



Salida de agua salada

Entrada de agua dulce de baja

Salida de agua dulce de baja

Entrada de agua salada

Fuente: [trabajo de campo]

Como podemos observar, las líneas que están pintadas de verde son de entrada y salida de agua salada, mientras que las que están de azul, de agua dulce. Estos enfriadores son de placas.

Ilustración N°30. Placas antes y después de un mantenimiento

Placas del
enfriador antes
del
mantenimiento

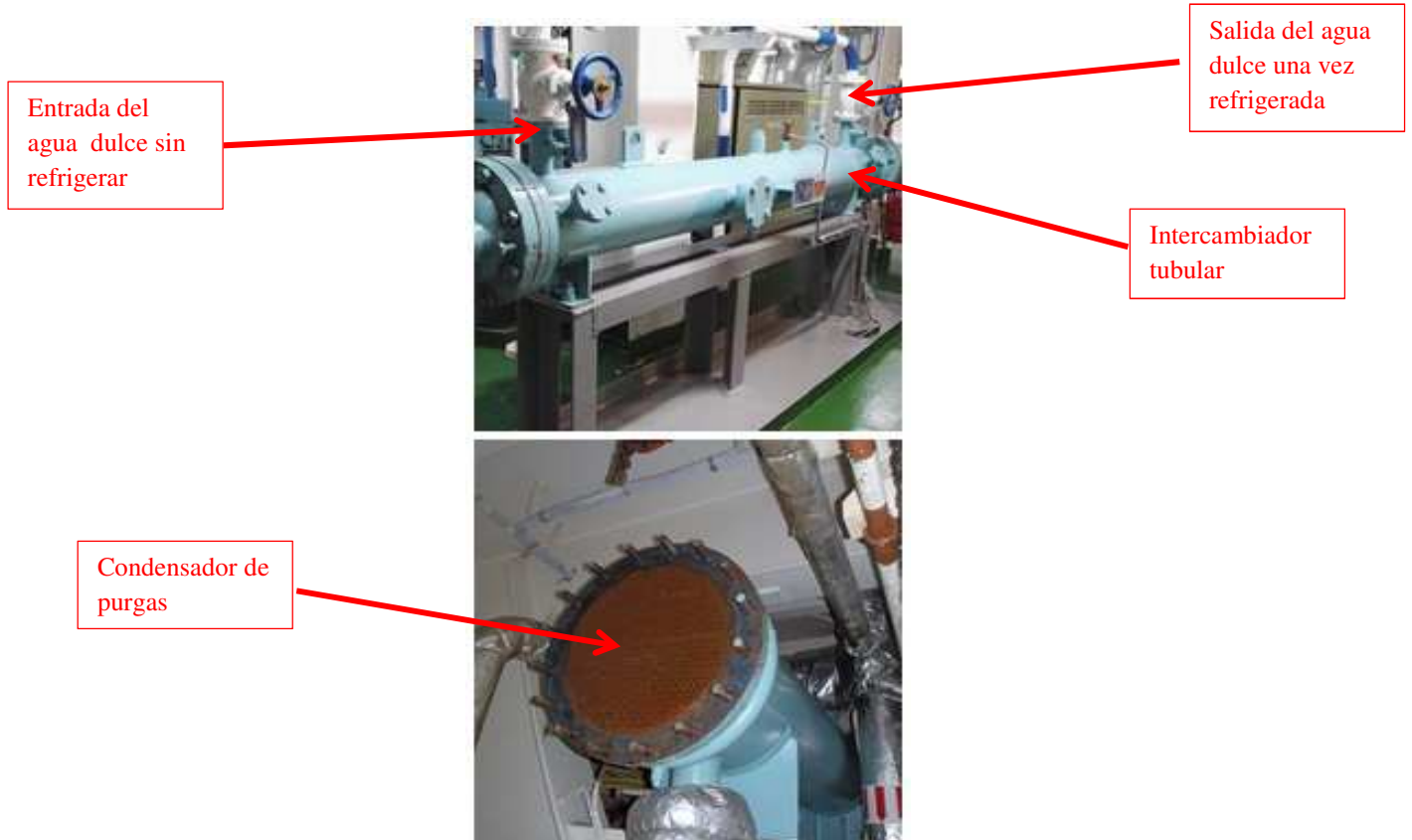


Placas del
enfriador
después del
mantenimiento

Fuente: [trabajo de campo]

Volviendo al plano, y siguiendo la línea, con los números 7 y 8 nos encontramos, respectivamente, con el condensador de purgas y con el enfriador de agua dulce para los compresores de aire de arranque. En este caso, el agua salada será empleada en el condensador de purgas para enfriar el vapor a estado líquido y que sea depositado en el tanque de cascada para su posterior uso en la caldera (esta agua estará a bastante temperatura). En el caso del enfriador de agua para las culatas de los compresores, el agua salada se emplea para refrigerar el agua dulce destinada para este fin. En estos dos casos descritos, dichos enfriadores serán tubulares.

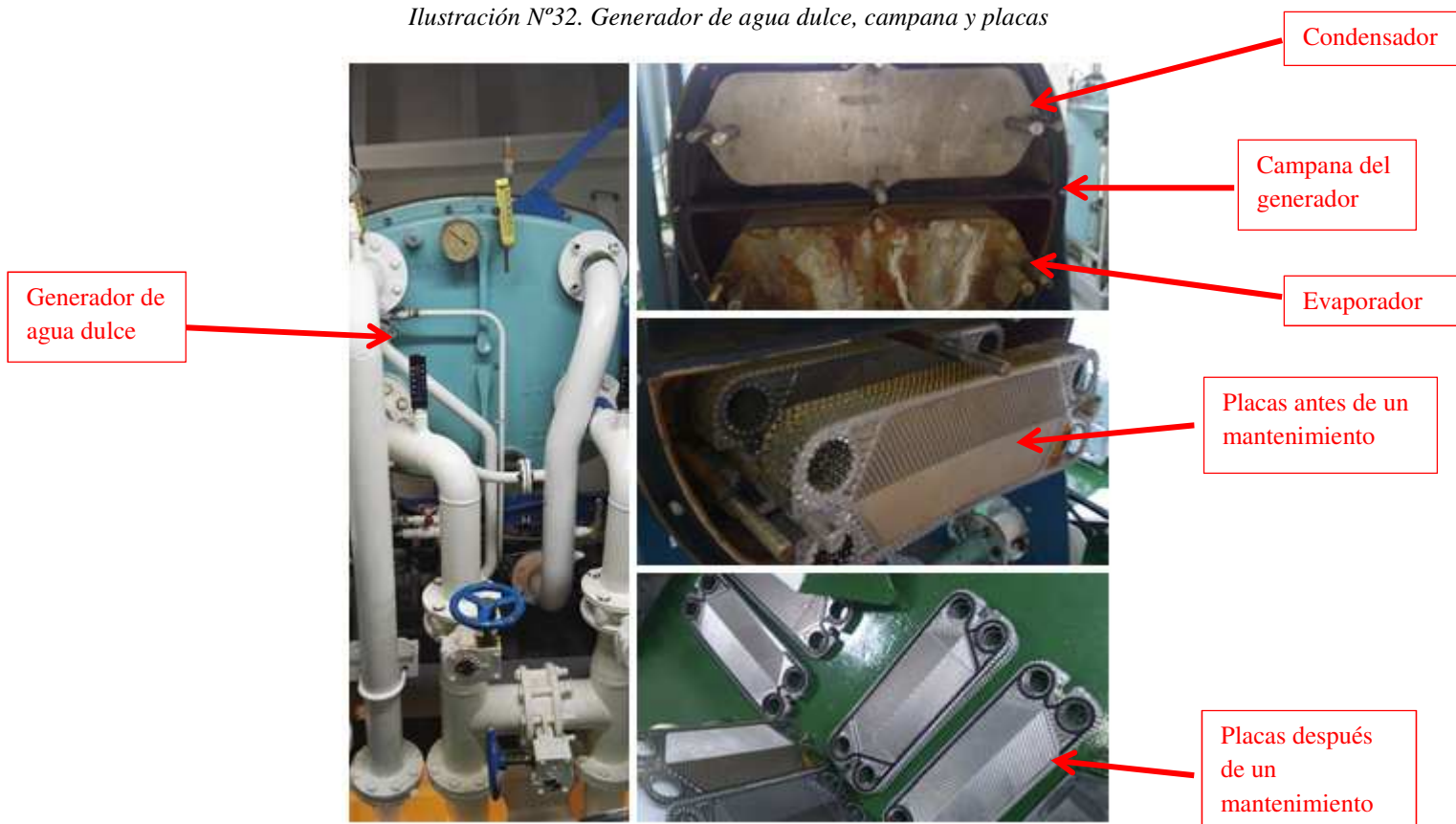
Ilustración N°31. Enfriador de agua para la culata de los compresores y condensador de purgas



Fuente: [trabajo de campo]

Volviendo al plano, con el número 9 y 10 nos encontramos con el generador de agua dulce y su bomba eyectora. Esta bomba dispone de un eyector, el cual va a crear una depresión en el interior de la campana del generador de agua para así reducir notablemente la temperatura a la cual el agua va a evaporarse. Esta temperatura de ebullición es entre los 40 y 45 grados centígrados y la presión de vacío es de unos -0.8 bares. Este generador es de placas.

Ilustración N°32. Generador de agua dulce, campana y placas



Fuente: [trabajo de campo]

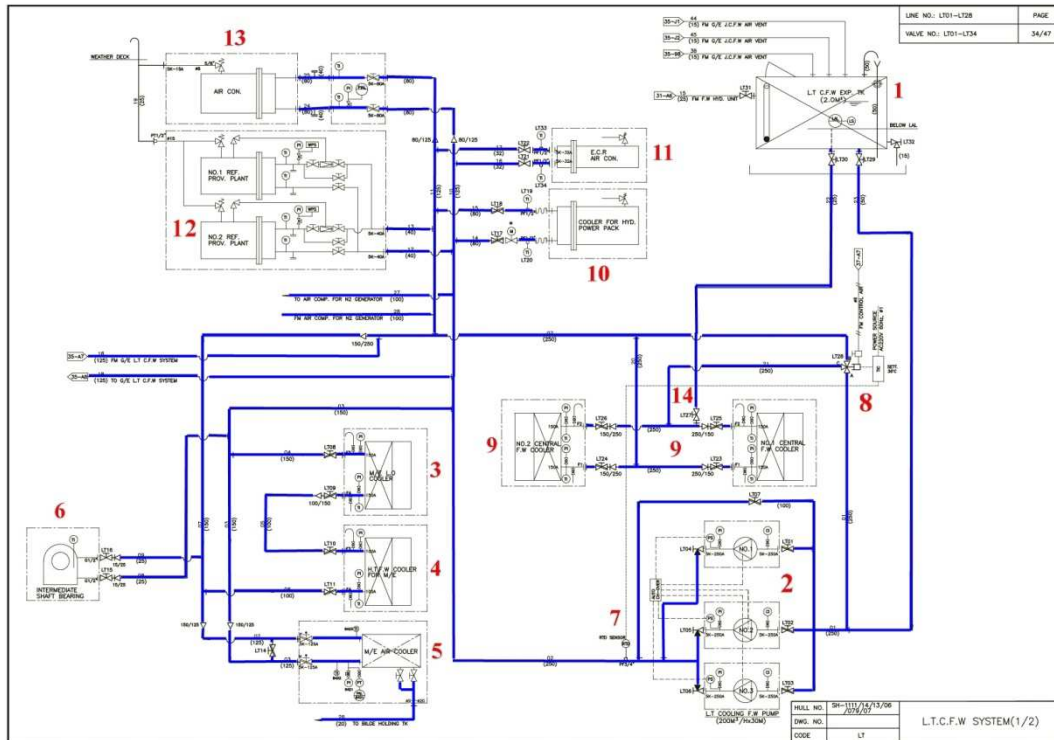
Representados en el plano con el número 11, nos encontramos con 2 válvulas de apertura o cierre a distinta altura. Están ubicadas 2 teclas por encima de las válvulas de fondo original, las cuales abren o cierran el paso del agua desde los machos de fondo hacia los filtros de mar. Estas válvulas son de seguridad. En caso de necesidad por inundación, estas válvulas podrán ser manipuladas desde esta nueva ubicación.

Por último, representados en el plano con los números 12, podemos observar las válvulas de retorno a la mar de toda nuestra agua salada después de haber pasado por sus respectivos equipos y haber sido aprovechada con un intercambio de temperatura.

5.2.6. Circuito de agua dulce de baja temperatura

Como ya dije en el anterior apartado, el agua dulce va a ser refrigerada por el agua salada. Emplearemos esta agua a baja temperatura para refrigerar el aire de barrido, el enfriador de aceite del motor propulsor y también para refrigerar el agua de alta temperatura.

Ilustración N°33. Circuito de agua dulce de baja temperatura de la sala de máquinas



Fuente: [6]

Como vemos en el plano, representado como número 1, está el tanque de expansión de baja temperatura. Esta agua es almacenada en un tanque de 2 metros cúbicos y aspirada por las bombas centrífugas de baja temperatura (número 2). En este caso, el B/T Tinerfe dispone de 3 bombas de baja temperatura. Usamos en el mes par el equipo par, y en mes impar el equipo impar. Por ejemplo, en enero usamos la 1 y en febrero la 2. La bomba número 3 es arrancada únicamente en la descarga en puerto cuando arrancamos el equipo de gas inerte, para refrigerar con mayor eficacia a los 3 motores auxiliares que están generando unos 550 kW cada uno a 900 rpm.

Ilustración N°34. Bombas centrífugas de agua de baja temperatura y el tanque de expansión de agua de baja

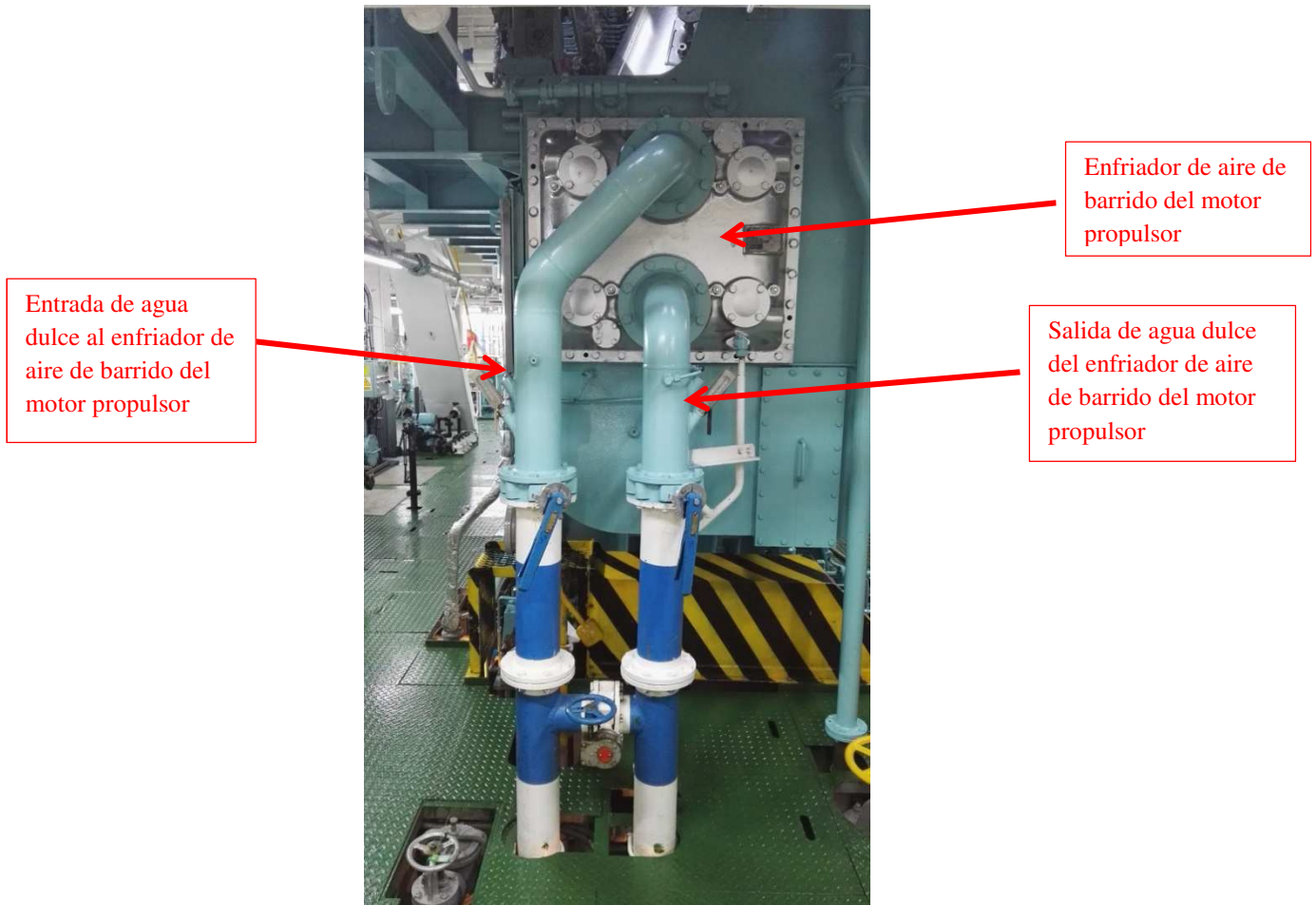


Fuente: [trabajo de campo]

Siguiendo en el plano la descarga de las bombas de agua dulce de baja temperatura, nos encontramos, representado con el número 3 el enfriador de aceite del motor principal. El agua dulce de baja temperatura va a enfriar el aceite del motor pasando por este enfriador de placas. Después de este intercambio de temperatura, el agua sale directo hacia el enfriador de agua de alta temperatura. Aquí va a ocurrir otro intercambio en el cual el agua de baja temperatura va a reducir en unos grados la temperatura del agua de alta del motor principal. Este enfriador está representado en el plano con el número 4 y también es de placas.

Volviendo a la línea de descarga de las bombas de baja, ubicado en el plano justo debajo de estos 2 enfriadores ya descritos, nos encontramos con el enfriador de aire del motor principal (número 5). El aire de barrido generado por la compresión del turbo va a pasar por este enfriador, antes de ser introducido en el primer tiempo de aspiración y compresión. Conseguimos con esto reducirle la temperatura al aire, aumentando su densidad y volumen.

Ilustración N°35. Enfriador de aire del motor propulsor



Fuente: [trabajo de campo]

Volviendo de nuevo a la descarga de las bombas de baja, a la izquierda de estos 3 enfriadores ya descritos, nos encontramos con el cojinete de apoyo (número 6). Este cojinete es hidráulico, en este caso funciona con aceite, y a su vez, este aceite es refrigerado por agua dulce de baja temperatura.

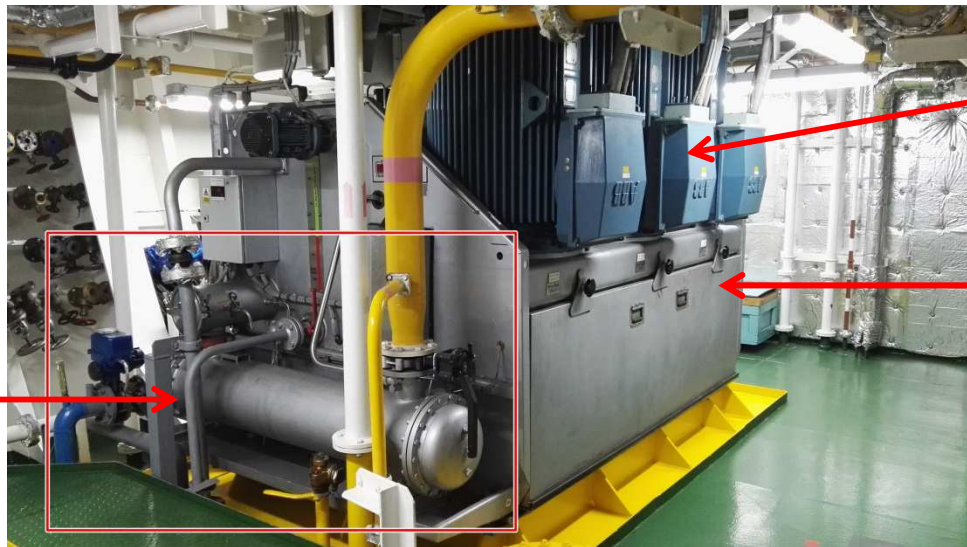
Volviendo al plano, fijándonos en la descarga de las bombas de baja, representado con el número 7, nos encontramos con un sensor de temperatura RTD (Resistance Thermal Detectors). Este sensor va a mandar una señal a un actuador que a su vez va a actuar sobre una válvula termostática de 3 vías (número 8 en el plano, en el retorno del agua dulce de baja a su paso por los enfriadores del motor principal). La función de esta válvula termostática es la de redirigir el agua de baja dependiendo de la temperatura a la cual sale a la descarga de la bomba. La temperatura de consigna es de 36 grados centígrados. Si la temperatura a la cual sale el agua es superior a la de consigna, esta termostática abrirá el paso del agua hacia los enfriadores de agua de baja

temperatura (número 9), que son refrigerados, no lo olvidemos, por agua salada. Si no es así, y la temperatura de consigna a la descarga de las bombas de baja se mantiene, esta termostática hace recircular de nuevo el agua a la aspiración de las bombas para así comenzar el circuito.

Destaquemos que siempre parte del agua de baja temperatura va a retornar al tanque de expansión de baja habiendo pasado por los enfriadores (número 9) y mediante la apertura parcial de la válvula número 14 representada en el plano.

Volviendo de nuevo al plano, en la parte superior izquierda, nos encontramos con algunos equipos auxiliares que son refrigerados por agua de baja temperatura. Empezamos describiendo el equipo número 10, que es un enfriador tubular para el almacén hidráulico que alimenta a las bombas de descarga de los tanques de carga. El agua de baja temperatura va a refrigerar el aceite usado en este proceso de alimentación de bombas de descarga.

Ilustración N°36. Equipo de descarga hidráulico FRAMO y su enfriador tubular de aceite



Enfriador tubular de aceite del sistema de descarga FRAMO

Bombas hidráulicas para la descarga

Almacén de aceite del sistema de descarga FRAMO

Fuente: [trabajo de campo]

Con el número 11, el condensador tubular del aire acondicionado de la sala de control.

Ilustración N°37. Sala de control y ubicación del equipo de aire acondicionado



Equipo de aire acondicionado de la sala de control

Pantallas de alarmas y control de la sala de máquinas

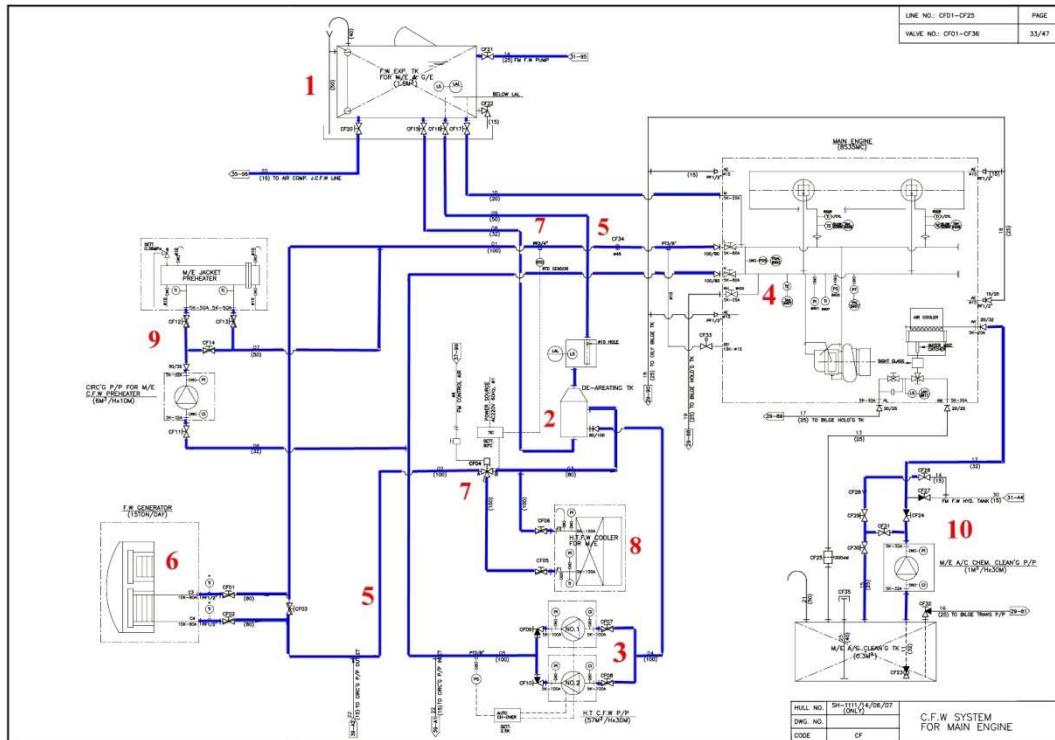
Fuente: [trabajo de campo]

Con el número 12 el condensador de aire refrigerado con agua dulce tubular para las plantas frigoríficas del B/T Tinerfe. Y con el número 13 el condensador de aire refrigerado con agua dulce, también tubular, para las habitaciones del B/T Tinerfe. Este equipo se encuentra fuera de la sala de máquinas.

5.2.7. Circuito de agua de alta temperatura del motor propulsor

El objetivo del agua de calefacción de alta temperatura del motor propulsor es el de mantener a una temperatura adecuada las camisas para obtener un mejor desempeño, disminuir el desgaste por rozamiento y reducir el calentamiento de los elementos que se mueven unos con otros.

Ilustración N°38. Circuito de agua de alta temperatura del motor propulsor



Fuente: [6]

Para explicar la circulación de este circuito vamos a distinguir 2 operaciones o 2 modos de actuación. El primero será cuando el motor se encuentra en marcha para lo cual operaremos sobre ciertos equipos y el segundo será cuando el motor se encuentra parado, momento en el que operaremos con otros sistemas.

Empezaremos describiendo la primera situación en el que el motor se encuentra en marcha. Si nos vamos al plano, vemos que tenemos representado el tanque de expansión de alta temperatura con el número 1.

Ilustración N°39. Tanque de compensación de agua de alta temperatura



Fuente: [trabajo de campo]

Desde este tanque va a ser aspirada el agua por las bombas de alta temperatura. Previo a esto, esta agua pasará por un tanque des-aireador (número 2) el cual extraerá el posible aire que se encuentre en la línea.

Ilustración N°40. Segundo tecla de la sala de máquinas



Fuente: [trabajo de campo]

Como vemos en el plano, disponemos de 2 bombas centrífugas para aspirar el agua de alta temperatura (número 3). En los meses pares usaremos la bomba número 2 y en los impares la bomba número 1.

Ilustración N°41. Bombas centrífugas de alta temperatura durante mantenimiento



Fuente: [trabajo de campo]

Siguiendo la descarga de las bombas, vamos a dar a la entrada de agua al motor principal (número 4). Esta agua entrará primero por las camisas de cada cilindro para después ser conducida a las culatas. Esta circulación de agua entre camisa-culata se consigue gracias a una unión entre ellas denominada ``ranas``. El retorno de esta agua, que lógicamente habrá ganado en temperatura, circulará de vuelta por una tubería de retorno (número 5 en el plano).

Ilustración N°42. Motor propulsor desde la banda de estribor



Fuente: [trabajo de campo]

En su vuelta al tanque de compensación, el agua pasará por el generador de agua dulce (número 6), aprovechando esta elevada temperatura para evaporar parte del agua salada, que entra impulsada por la bomba eyectora, y así crear agua dulce a partir de la salada gracias a esta evaporación y al ``demister'', el cual se encarga de quitar la sal a este vapor de agua generado.

Ilustración N°43. Campana del generador de agua dulce



Fuente: [trabajo de campo]

Siguiendo con la línea, y representado con los números 7, nos encontramos con un sensor RTD a la salida del agua del motor y con una válvula 3 vías a la entrada del enfriador de agua de alta (número 8). Este sensor RTD mandará una señal al actuador de la válvula para, en caso necesario, desviar parte del agua para dicho enfriador. Este enfriador es de placas y la temperatura de consigna a la cual oscila el rango para la abertura o cierre de la válvula será entre unos 65°C y unos 85°C.

Ilustración N°44. Enfriador de placas de agua de alta temperatura



Fuente: [trabajo de campo]

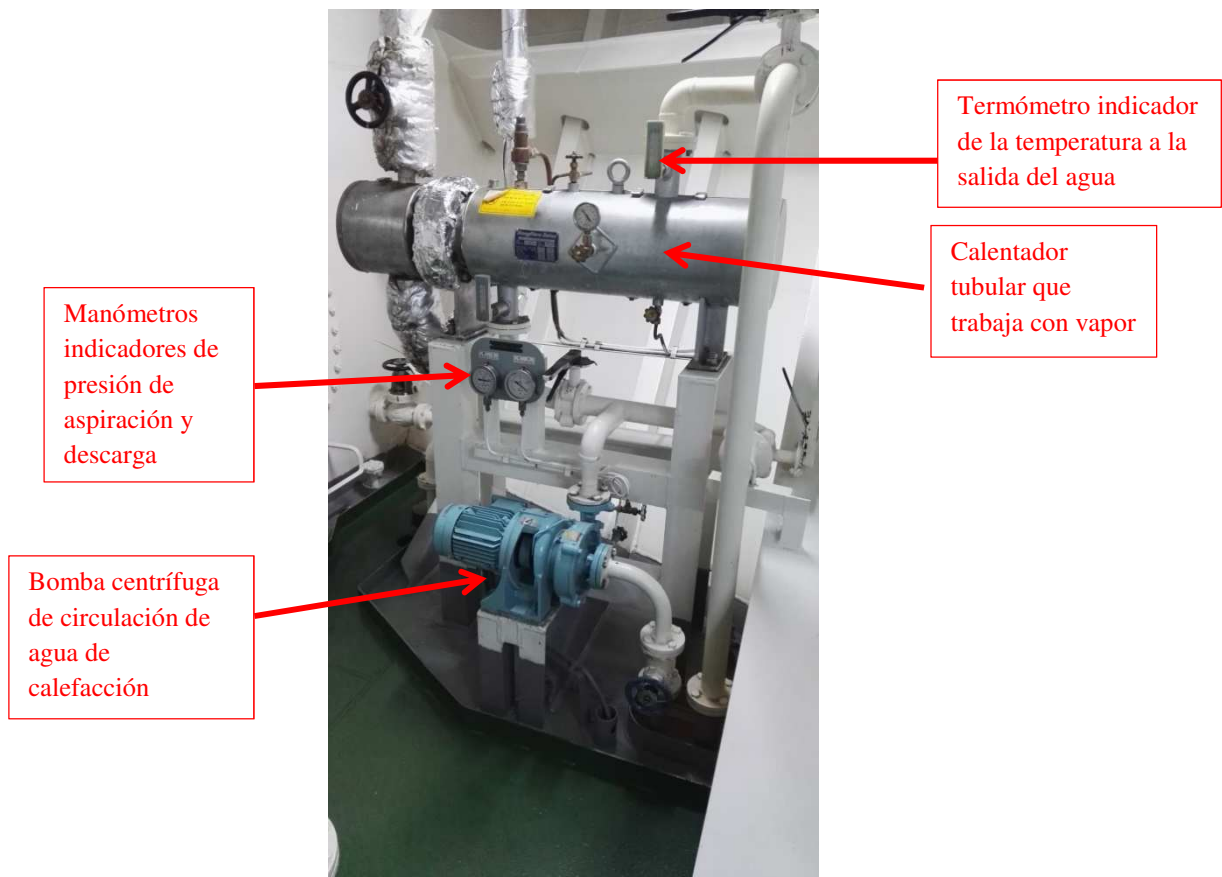
De vuelta al circuito, observamos cómo después del paso o no del agua por el enfriador, entra de nuevo al tanque des-aireador (número 2) para ser conducida de nuevo al tanque de expansión (número 1).

A continuación, explicaremos la 2 situación que se puede dar a bordo en el B/T Tinerfe que no es otra si no la que se encuentre el motor principal parado.

En este caso, sigue existiendo la misma necesidad de mantener tanto las camisas como la culata a cierta elevada temperatura. Al estar dicho motor parado, no va a existir un intercambio de calor que eleve la temperatura del agua, por lo que en este caso haremos circular toda esta agua por un calentador de camisas tubular funcionando con vapor.

Para ello, y empezando de nuevo por el tanque de compensación (número 1) lo hacemos pasar por el tanque des-aireador (número 2) siendo aspirada toda esta agua gracias a la acción de la bomba del calentador de camisas (número 9).

Ilustración N°45. Calentador de agua tubular de las camisas chaquetas



Fuente: [trabajo de campo]

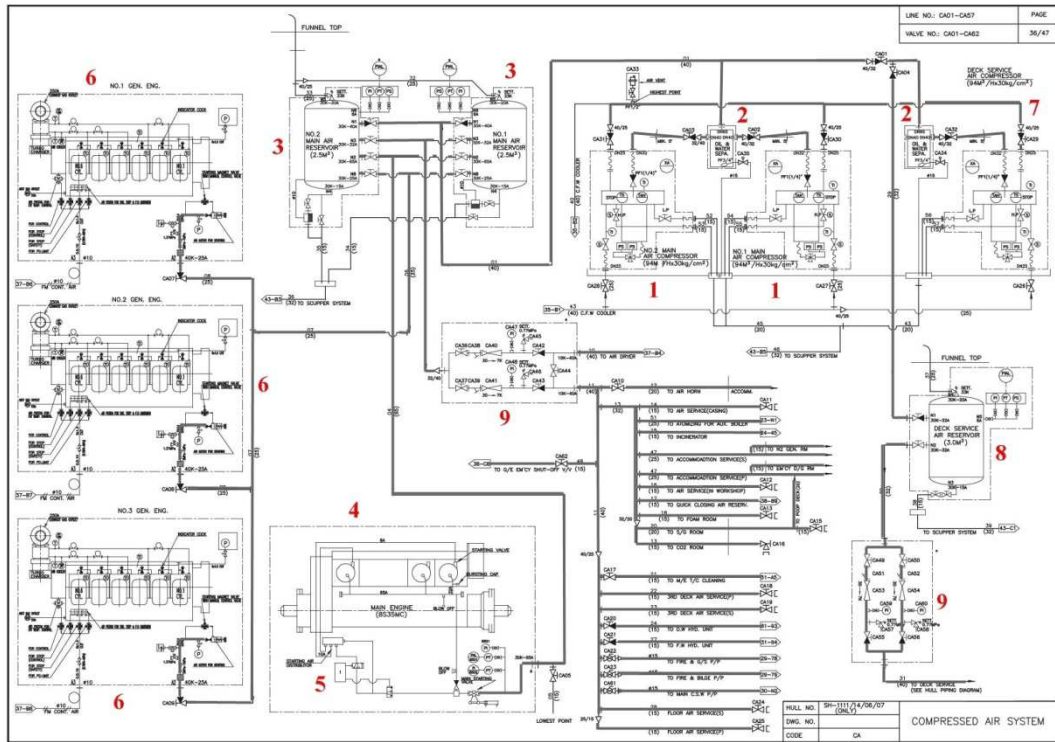
Una vez aquí, se va a producir un intercambio de calor en el cual el vapor cede temperatura al agua para que se introduzca en el motor (número 4), salga por la tubería de retorno (número 5) y vaya directo, sin pasar por el generador de agua dulce, y se dirija al enfriador de placas de alta. Después de este paso por el enfriador, retornará al tanque de compensación pasando por el tanque des-aireador.

Mencionaremos también que el circuito dispone de un tanque de agua con química para la limpieza del enfriador de aire del motor (número 10 en el plano).

5.2.8. Circuito de aire de arranque

El circuito de aire de arranque comienza con la generación del mismo en los compresores de aire.

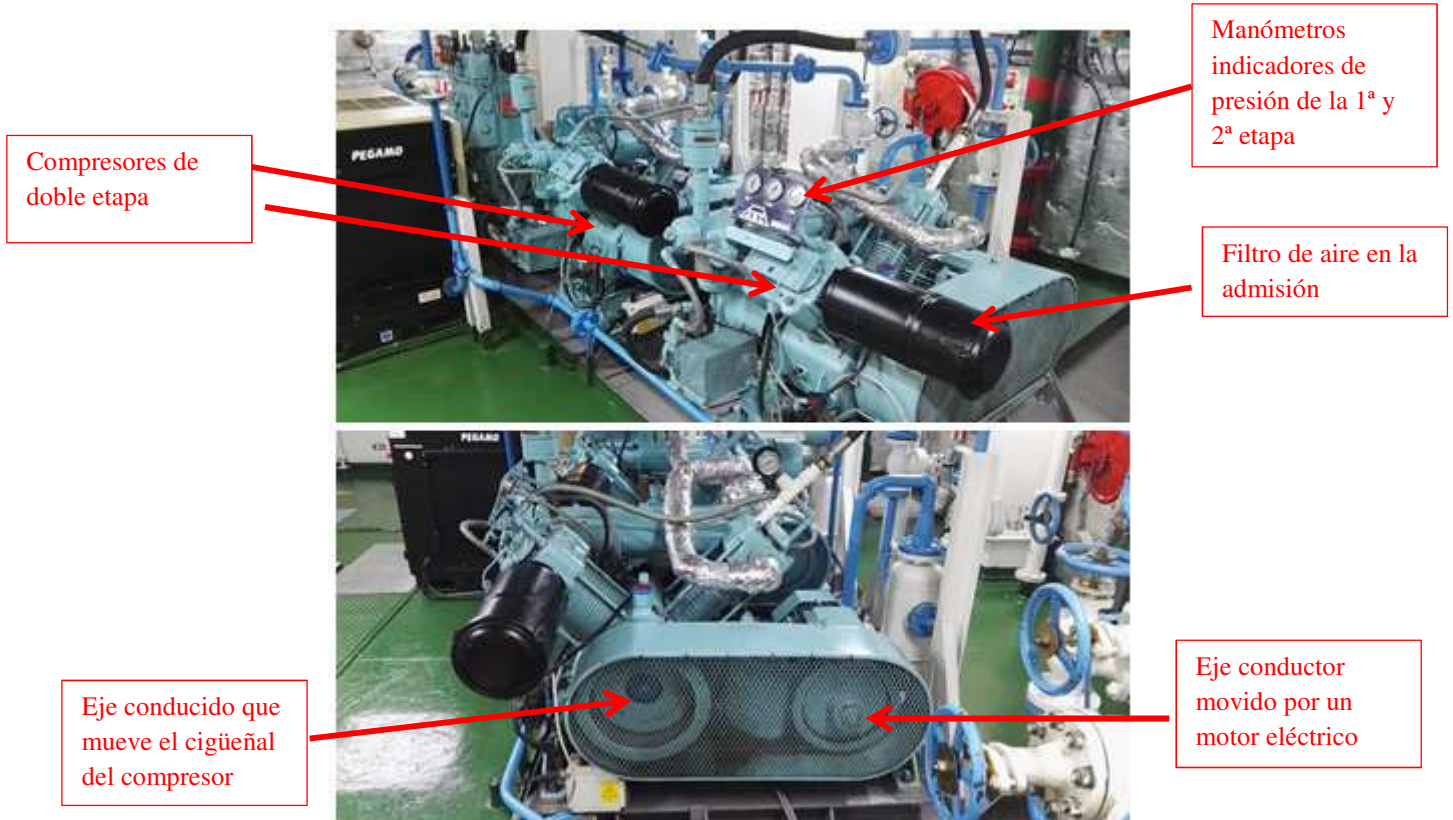
Ilustración N°46. Circuito de aire de arranque



Fuente: [6]

Estos compresores son de dos etapas y están representados en el plano con el número 1. Van a aspirar el aire y comprimirlo de dos veces hasta una presión aproximada de unos 27 bares.

Ilustración N°47. Compresores de doble etapa ``ABC``



Fuente: [trabajo de campo]

Los compresores utilizados en el B/T Tinerfe son de la marca ABC, de dos etapas y con refrigeración del aire por agua. El aire es aspirado por el filtro y se comprime en la etapa de baja hasta una presión de unos 8 bares aproximadamente. A continuación, el aire pasa por el enfriador de agua, para así disminuir su temperatura y aumentar el volumen. Acto seguido, entrará aspirado de nuevo a la etapa de alta, donde alcanzará una presión de unos 27 bares aproximados.

Siguiendo el plano, a la salida de aire del compresor, representado por el número 2, nos encontramos con el separador de agua de condensación y aceite. Dispone de un purgador manual el cual debía ser actuado en cada maniobra, tanto de arranque como de parada del motor principal. De la misma manera, en cada maniobra poníamos en standby los 2 compresores, a diferencia de cuando estamos navegando, donde sólo 1 de los compresores va en standby. En el plano también se aprecia, representado con el número 2, otro separador de agua de condensación y aceite. En este caso, es usado para el aire generado por el compresor de aire de servicio. Éste es purgado por el engrasador al inicio de cada jornada.

Siguiendo la línea del plano, con los números 3 nos encontramos con las botellas de aire de arranque. El aire generado por los compresores se almacena en dichas botellas. De manera parecida a los compresores, en navegación únicamente se abre 1 botella y en maniobra las 2 y son purgadas por la parte de abajo, donde se podía almacenar algo de condensación.

Ilustración N°48. Botellas de aire de arranque

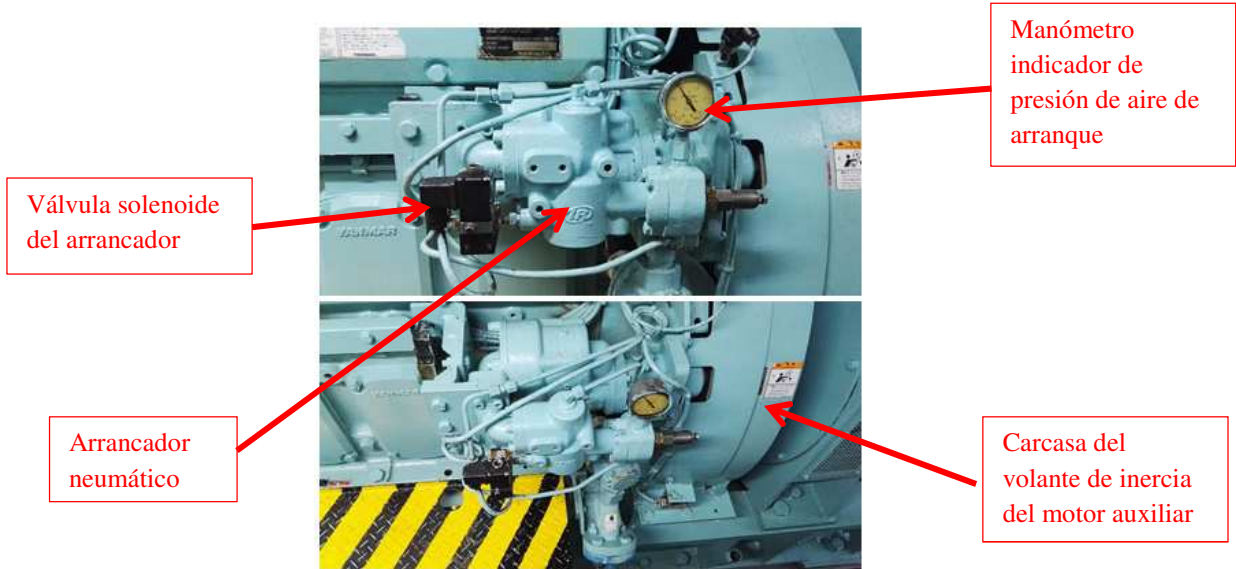


Fuente: [trabajo de campo]

Siguiendo la línea, el aire llega a unos 27 bares al motor principal, representado en el plano como el número 4. Para llegar aquí, antes pasa por una serie de válvulas distribuidoras comandadas desde el sable de la sala de control, hasta llegar al distribuidor de aire de arranque, representado en el plano con el número 5. No hay que olvidar que el B/T Tinerfe es un buque de hélice de paso fijo, por lo que habrá que parar el motor en las maniobras y en ocasiones revertir su sentido de giro.

Volviendo al plano, y representados por los números 6, nos encontramos con los motores auxiliares. Estos son arrancados mediante un arrancador neumático o "Gali" el cual engrana con el volante de inercia de los motores auxiliares durante un breve periodo de tiempo haciendo así que arranquen.

Ilustración N°49. Arrancadores neumáticos



Fuente: [trabajo de campo]

Volviendo al plano, con los números 7 y 8 están representados el compresor de aire de cubierta y la botella de aire de cubierta. Este compresor es de 2 etapas, refrigera el aire con agua y genera unos 30 bares de presión. Esto es acumulado en la botella de aire de servicio de cubierta y cuando hay demanda, este aire pasa por unas reductoras (representadas con el número 9) y es empleado en cubierta a unos 7 bares.

Ilustración N°50. Compresor de aire de cubierta



Fuente: [trabajo de campo]

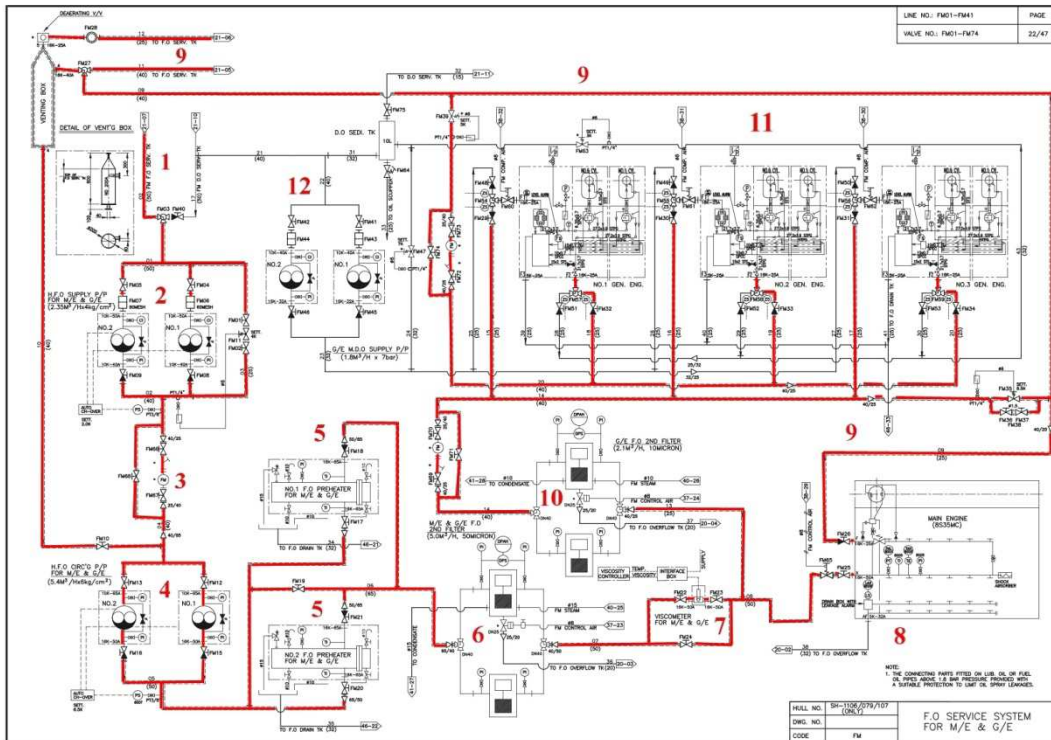
Indicadores y pulsadores

Por último, si nos fijamos en el plano, en una de las salidas de aire de las botellas de arranque, nos encontramos con otro grupo de válvulas reductoras (representadas también con el número 9). De igual manera, el aire es enviado desde las botellas a unos 30 bares, pasa por estas reductoras y puede ser usado por ejemplo, en equipos como el incinerador, el aire de servicio usado en el taller, la habitación de CO₂.

5.2.9. Circuito de combustible

El combustible empleado en el motor propulsor del B/T Tinerfe es fuel. De igual manera, utilizamos este mismo combustible para los motores auxiliares mientras nos encontrábamos navegando, en puerto utilizamos diésel para alimentar estos motores.

Ilustración N°51. Circuito de combustible de la sala de máquinas



Fuente: [6]

Comenzaremos describiendo el circuito de combustible desde el tanque de diario de fuel. Hasta aquí llega el fuel una vez trasegado del almacén al tanque de sedimentación y depurado del tanque de sedimentación al diario. En el plano, se representa el tanque de diario con el número 1.

Ilustración N°52. Módulo de combustible con los tanques de diario de fuel al fondo



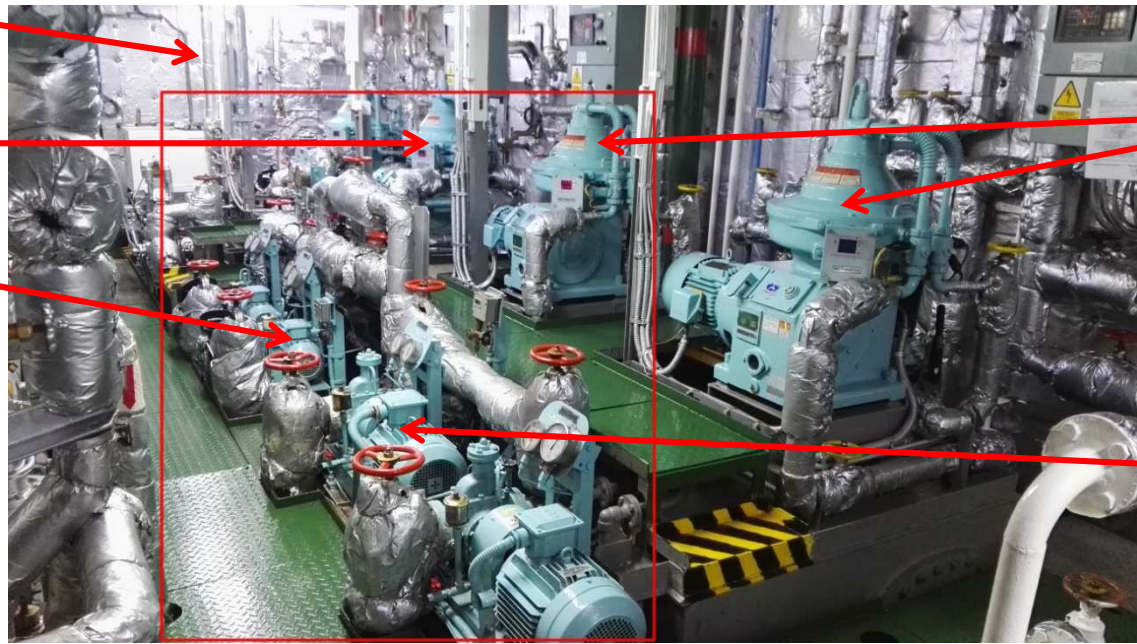
Fuente: [trabajo de campo]

Siguiendo la línea, nos encontramos con 2 bombas paralelas de alimentación (número 2) para el motor principal y los motores auxiliares. Estas bombas se encuentran en el módulo de combustible y previo al paso por ellas del fuel existe un filtro.

Continuando con la línea, representado con el número 3 nos encontramos en el plano con un contador de fuel. En cada maniobra de salida, abrimos las válvulas para hacer que el fuel pase por este contador y así poder realizar un cálculo a la llegada a puerto, y parada del motor principal, del consumo de fuel durante la navegación. Justo en este momento, en el de la parada del motor principal, manipulábamos de nuevo estas válvulas para cerrarlas y abrir la otra paralela, haciendo que siguiera circulando el fuel continuamente pero sin que pase por este contador.

Siguiendo la línea del circuito, con el número 4 nos encontramos de nuevo con 2 bombas paralelas de circulación de fuel tanto para el motor principal como para los generadores. Se encuentran en el módulo de combustible, al igual también que los calentadores por vapor de fuel para el motor principal y los auxiliares (número 5 en el plano). También existe una válvula para incomunicar estos calentadores y hacer que el fuel fluya sin pasar por estos. Dichos calentadores son tubulares.

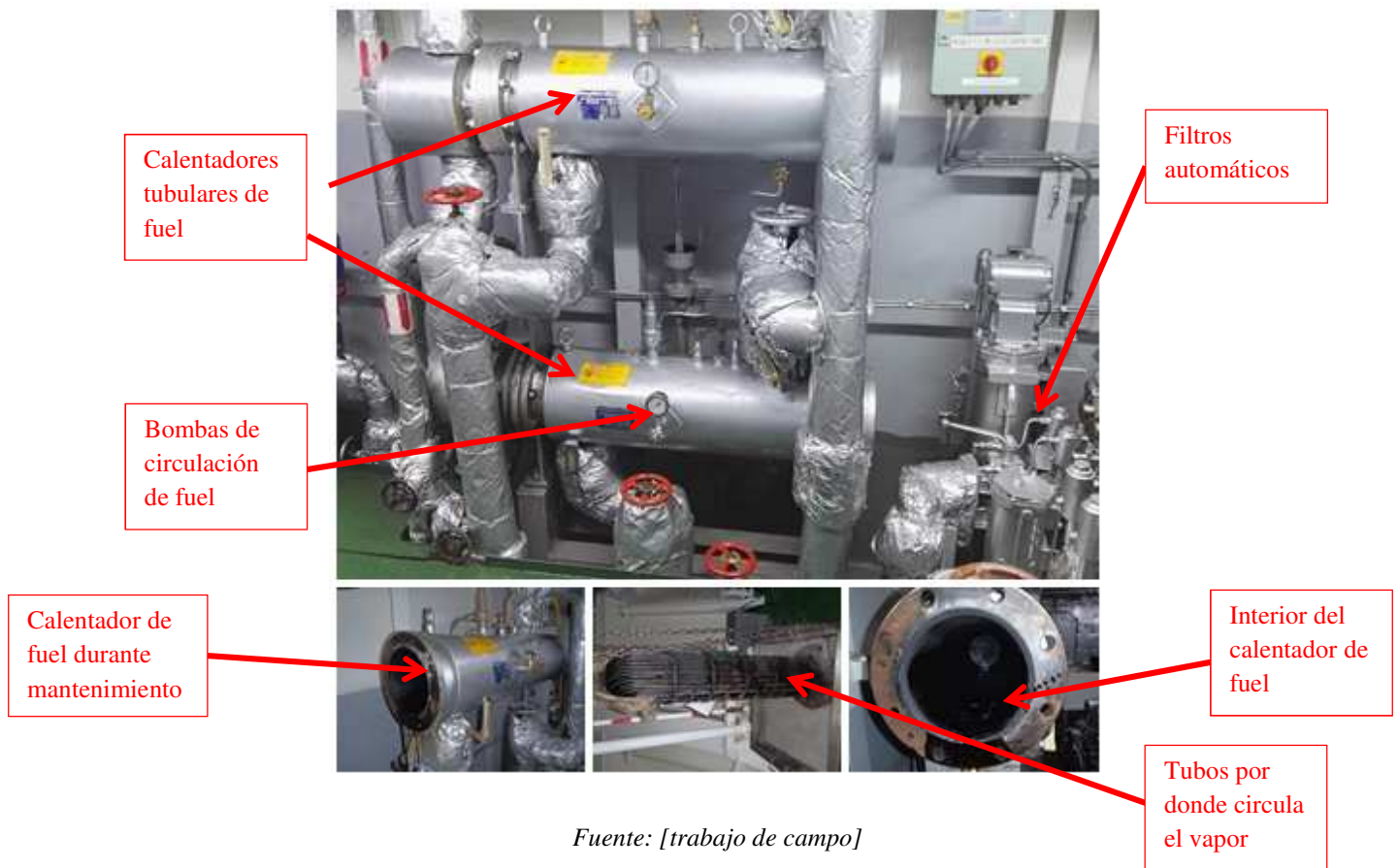
Ilustración N°53. Módulo de combustible con las bombas de circulación y alimentación



Fuente: [trabajo de campo]

Continuando con la línea nos encontramos con unos filtros automáticos de fuel (número 6). Estos eran accionados manualmente en cada maniobra de salida y cada cierto intervalo de tiempo de manera remota durante la navegación. El fuel que no es filtrado se manda al tanque de derrame de fuel, para su posterior puesta a tierra mediante el bombeo de lodos.

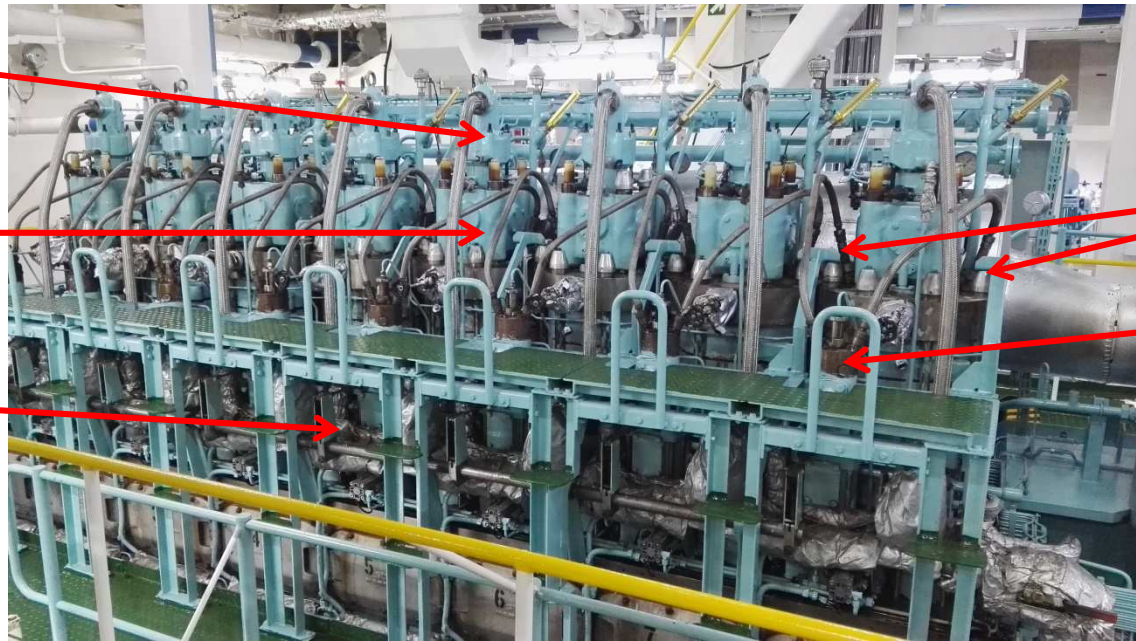
Ilustración N°54. Módulo de combustible con los calentadores tubulares de fuel y los filtros automáticos



Fuente: [trabajo de campo]

Después del paso del fuel por estos filtros, pasa por un viscosímetro (número 7). Este viscosímetro dispone de un display en la sala de control donde se visualiza, entre otros datos, la temperatura y la viscosidad. Este paso es previo a la entrada del fuel a las bombas del motor principal (número 8) las cuales dirigen el fuel a los inyectores (2 inyectores por cilindro) para ser inyectados y producir la combustión.

Ilustración N°55. Motor propulsor visto desde babor en el tercer tecla



Fuente: [trabajo de campo]

Cuando el motor está en marcha, el fuel no empleado en el tiempo de aspiración y compresión es devuelto al tanque de diario por la línea de retorno del motor principal (número 9 en el plano). Cuando el motor se encuentra parado, este fuel va a estar circulando de igual manera, a excepción de que no va a entrar en el cilindro ni pasa por los inyectores. La línea necesita estar a temperatura adecuada en todo momento. Las bombas de alimentación y de circulación van a estar arrancadas para aspirar y descargar el fuel en su respectivo tanque de diario.

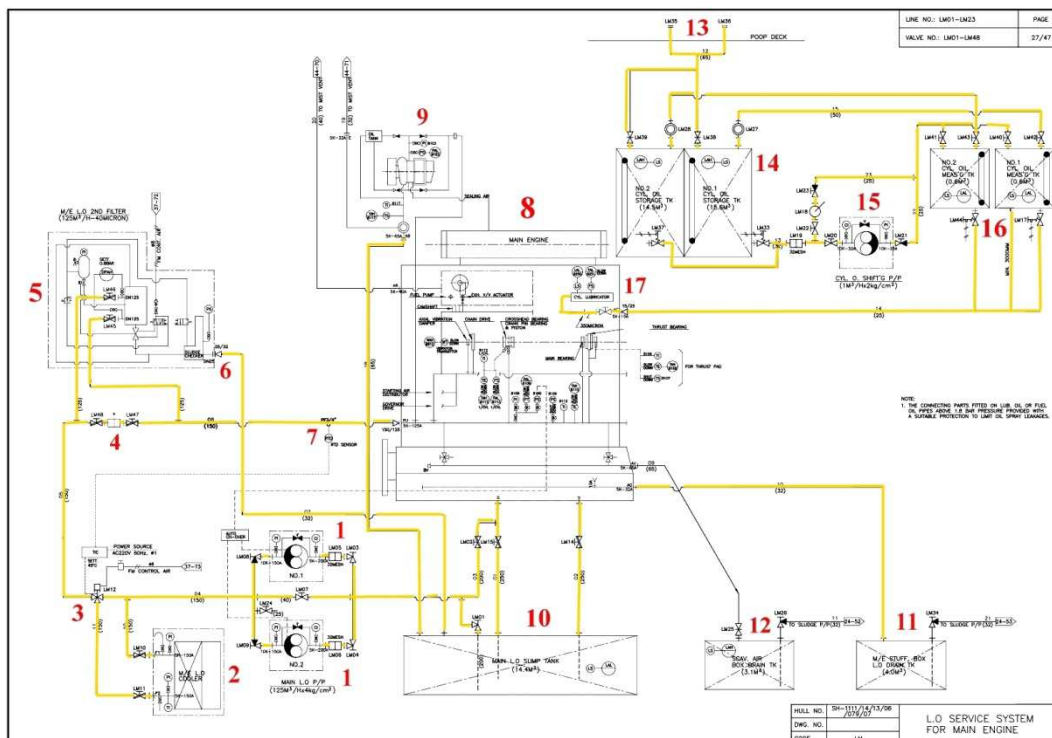
Volviendo al plano, justo después del viscosímetro, apreciamos como hay una línea que no llega a entrar al motor principal y se desvía hacia unos filtros automáticos (número 10). Estos filtros son también de fuel y son empleados para los motores auxiliares (número 11). En el B/T Tinerfe no existe alternador de cola, por lo que durante la navegación, el buque es alimentado por uno de los generadores. Dicho generador, durante navegación irá a fuel y en puerto, tanto en carga como en descarga, este generador y los que vayamos a utilizar irán a diésel, consiguiendo así dos cosas. Un ahorro de combustible al quemar fuel en vez de diésel durante la navegación, y un menor coste medioambiental en puerto al quemar diésel en vez de fuel. En el plano se encuentra también representado con el número 12 dos bombas paralelas de alimentación para los auxiliares de diésel.

Como ya expliqué, el motor principal del B/T Tinerfe es alimentado por fuel, pero existe la posibilidad de alimentarlo con diésel. Para ello, si nos fijamos en el plano, ubicado en el número 1 se encuentra como ya mencioné unos apartados arriba, el tanque de diario de fuel, pero a su lado se encuentra representado el tanque de diario de diésel. Para alimentar el motor principal con diésel debemos manipular las válvulas representadas como ``FM03`` y ``FM40``. Esto es útil por ejemplo en labores de mantenimiento para las bombas de inyección del motor principal.

5.2.10. Circuito de aceite de la sala de máquinas

Para describir el circuito de aceite de la sala de máquinas vamos a separar este apartado en dos; por un lado vamos a distinguir el circuito que refrigera y lubrica las partes internas del motor principal (cojinetes, bielas, vástago) y por otro el que lubrica a los cilindros.

Ilustración N° 56. Circuito de aceite de la sala de máquinas



Fuente: [6]

Comenzando con el plano, representado con el número 1 nos encontramos con las bombas de aceite del motor principal. Estas bombas son de engranajes y constan de un filtro por el cual va a pasar el aceite que va a ser aspirado del cárter (número 10) del motor principal. No hay que olvidar que el cárter está separado del motor principal, ya que su cárter es seco.

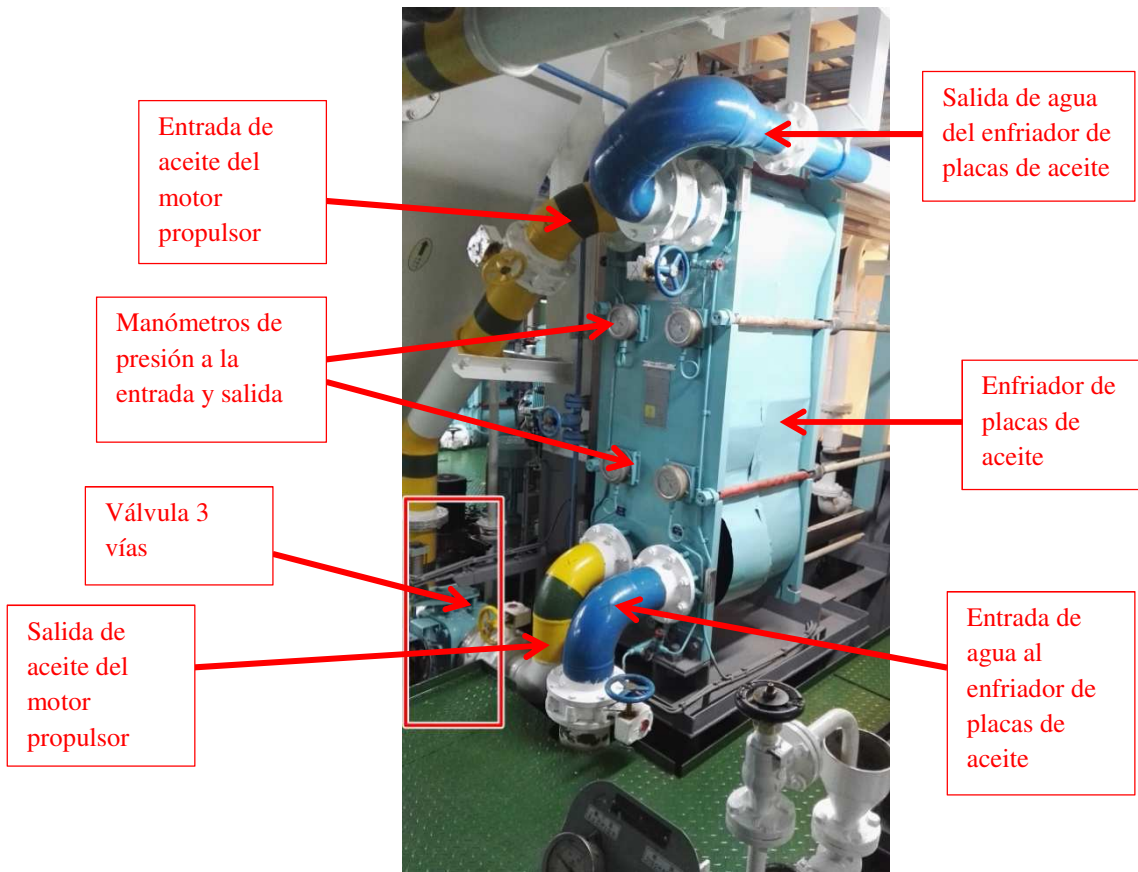
Ilustración N°57. Bomba de aceite del motor propulsor



Fuente: [trabajo de campo]

Siguiendo la descarga de las bombas de aceite, nos encontramos con el enfriador de aceite del motor principal (número 2). A la salida de este enfriador nos encontramos con una válvula neumática de 3 vías (número 3), la cual va a estar comandada por un actuador, que dependiendo de la temperatura a la cual el aceite esté entrando en el motor principal, medida por un sensor RTD (número 7 en el plano), va a recircular el aceite por el enfriador abriendo más una válvula que otra, o si la temperatura es la adecuada, va a cerrar el paso a esta recirculación. Este enfriador es de placas.

Ilustración N°58. Enfriador de placas de aceite del motor propulsor



Fuente: [trabajo de campo]

Siguiendo la línea, después del enfriador, con el número 4, nos encontramos con un filtro de aceite a la entrada del motor principal. Por encima de éste, representado con el número 5 está el filtro automático de velas. Este filtro es accionado manualmente en la maniobra de preparación de salida y accionado remotamente cada cierto intervalo periódico de tiempo durante la navegación. El aceite filtrado es dirigido al motor principal pero el aceite no filtrado pasa a depositarse en el tanque de este filtro para pasar a su vez por un filtro de papel (número 6) y conducido de nuevo al cárter del motor principal (número 10).

Continuando con el plano, tras el paso del aceite por los filtros, éste entrará al motor principal, representado con el número 8. Aquí el aceite lubricará a la biela, a el pistón, al cigüeñal, a los cojinetes...también lubricará al eje de la turbo, que en el plano está representada con el número 9.

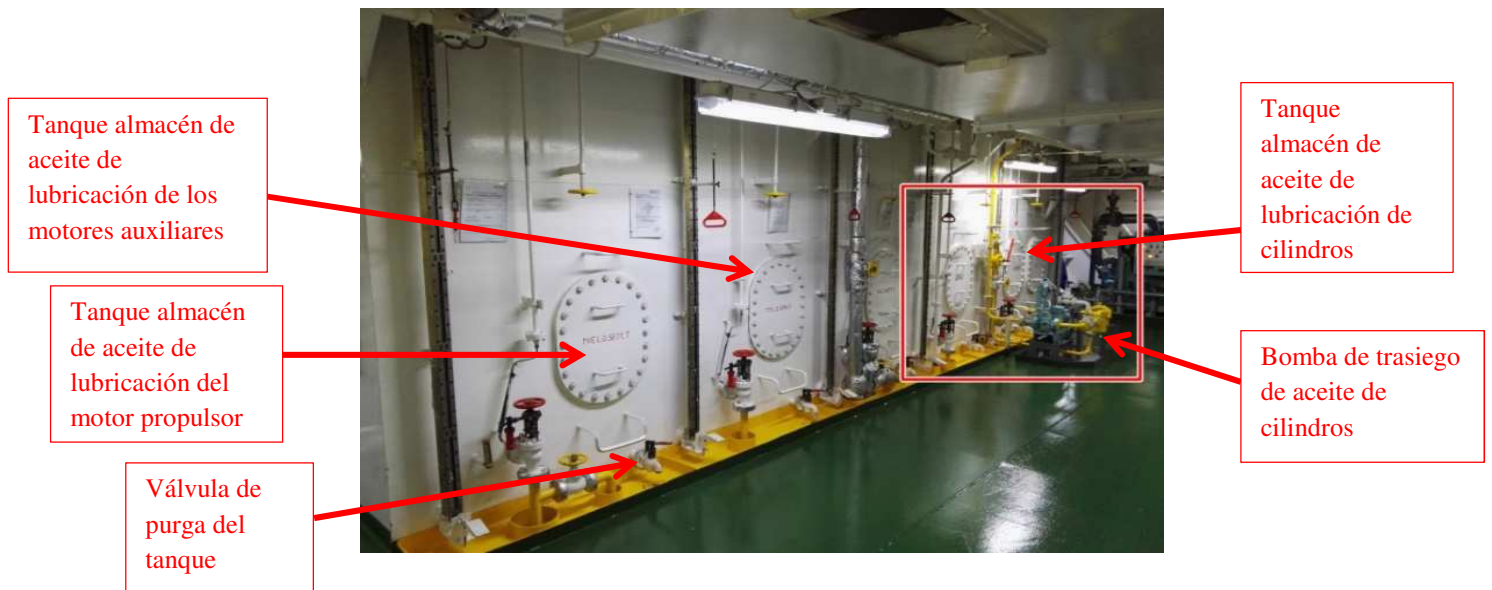
Siguiendo con la numeración del plano, nos encontramos con un tanque representado con el número 11. Éste será el denominado tanque de drenaje de aceite del stuffing box.

Siguiendo con el plano, con el número 12 nos encontramos con el tanque de aire de barrido. En este tanque se irá depositando toda la carbonilla y los desechos producidos por la combustión de fuel y aceite.

Hasta aquí hemos explicado el circuito de aceite para la lubricación y refrigeración del motor principal. Ahora empezaremos con el circuito de aceite para la lubricación de los cilindros.

Comenzaremos en el número 13, que como se ve, son entradas de aceite ubicadas en la cubierta, a las cuales se les conecta una manguera desde tierra donde se bombea este aceite. Este aceite bombeado va a parar a los tanques almacén de aceite para la lubricación de los cilindros (número 14).

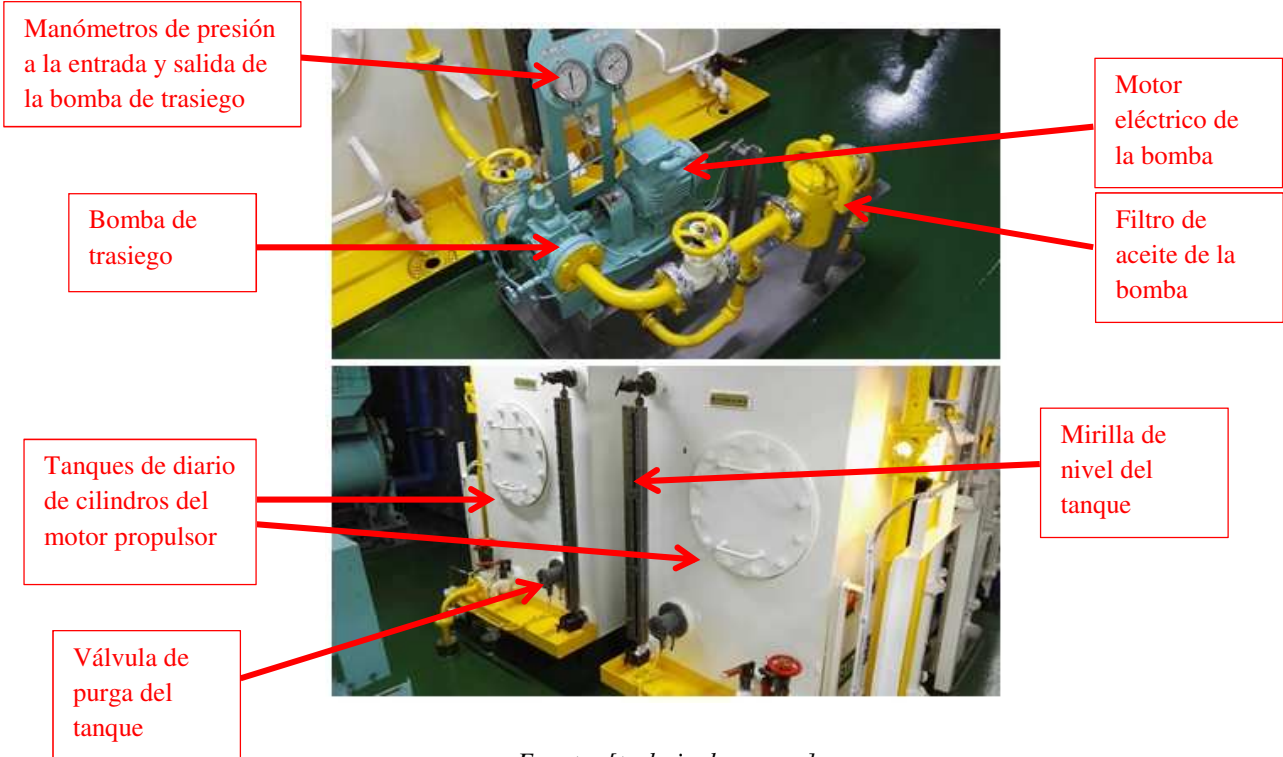
Ilustración N°59. Tanques almacén de aceite de la sala de máquinas. Segundo tecla



Fuente: [trabajo de campo]

Desde aquí el aceite va a ser trasegado desde este tanque al de diario (número 16 en el plano) mediante una bomba de trasiego (número 15).

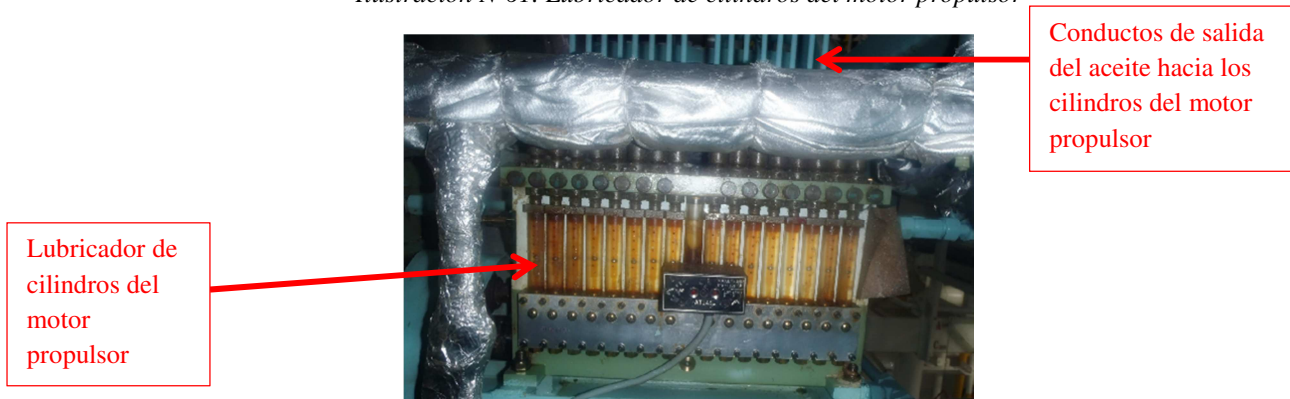
Ilustración N°60. Bomba de trasiego de aceite y tanques de diario de cilindros del motor propulsor



Fuente: [trabajo de campo]

Una vez aquí, se dirige al lubricador de cilindros (número 17), el cual va a distribuir el aceite para introducirlo en el cilindro mediante 2 cavidades diferentes, para conseguir su lubricación y refrigeración. Este lubricador de cilindros tiene varias posiciones, para lo cual en maniobra hacemos que entre más cantidad que cuando estamos navegando.

Ilustración N°61. Lubricador de cilindros del motor propulsor

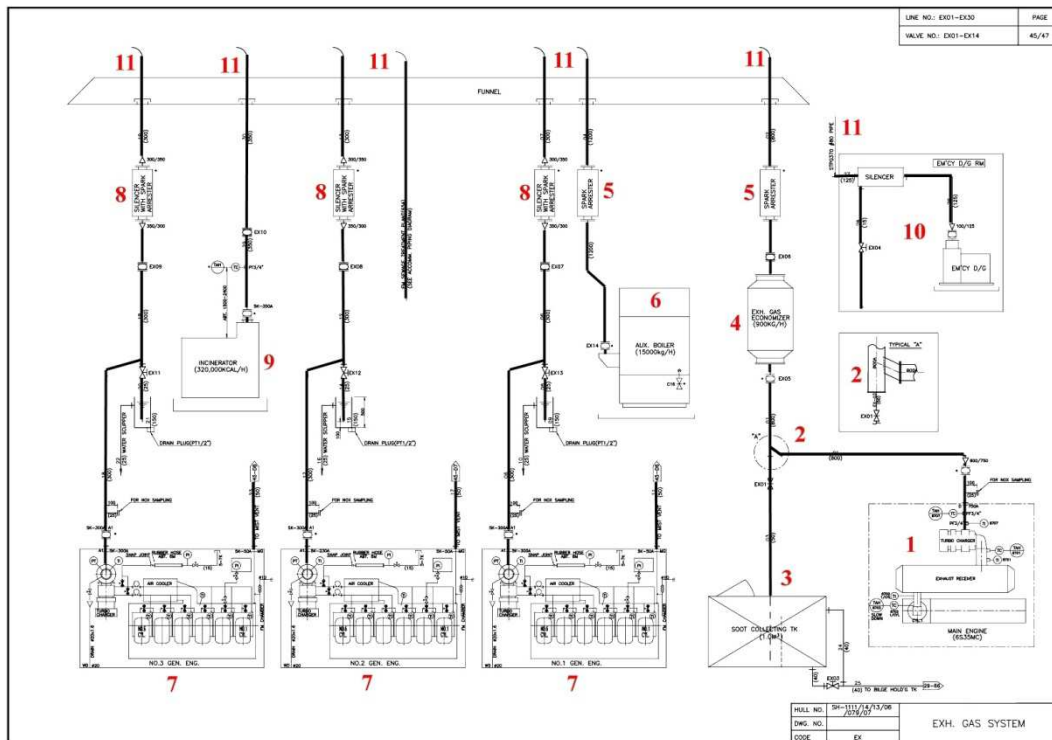


Fuente: [trabajo de campo]

5.2.11. Circuito de gases de escape de la sala de máquinas

Los gases de escape generados por la combustión salen del motor por la válvula de seta de escape, van a dar al colector de aire de barrido y son expulsados del mismo pasando por la turbina del turbocompresor.

Ilustración N°62. Circuito de gases de escape de la sala de máquinas



Fuente: [6]

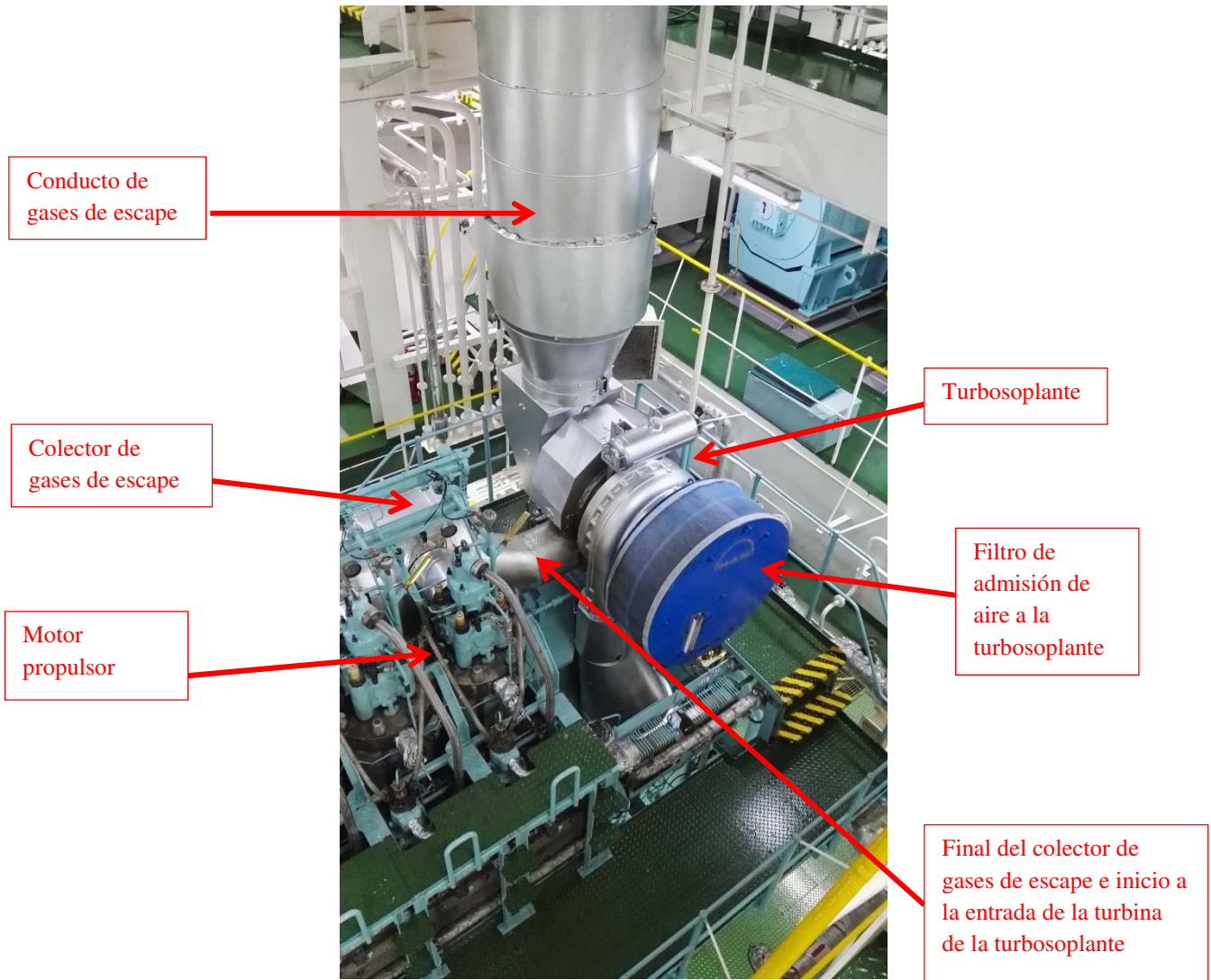
En el plano, representado con el número 1, el motor principal, el colector de aire de barrido y el turbocompresor.

Siguiendo la línea, representado en el plano con el número 2, nos encontramos con una conexión a la salida de los gases de escape del motor principal. Esta salida va a ser vertical, y como se puede apreciar en el plano, en la parte de debajo se encuentra un tanque de hollín y carbonilla (representado con el número 3) y en la de arriba la caldereta o economizador (representado con el número 4).

La función del economizador no es otra si no aprovechar los gases de escape del motor principal para que con su alta temperatura, haciendo pasar agua dulce por el interior del economizador (el agua pasa a través de unos tubos) llevarla al estado de

ebullición, generando así vapor (recordar que el barco tiene una caldera de vapor que trabaja a 7 bares, aproximadamente) e introduciéndola en la caldera continuamente, para así ahorrar combustible (la caldera se alimenta de diésel) en el arranque del quemador y aprovechar de alguna manera estos gases, expulsándolos a la atmósfera a una temperatura inferior.

Ilustración N°63. Motor propulsor, final del colector de barrido, turbosoplante y conducto de gases de escape



Fuente: [trabajo de campo]

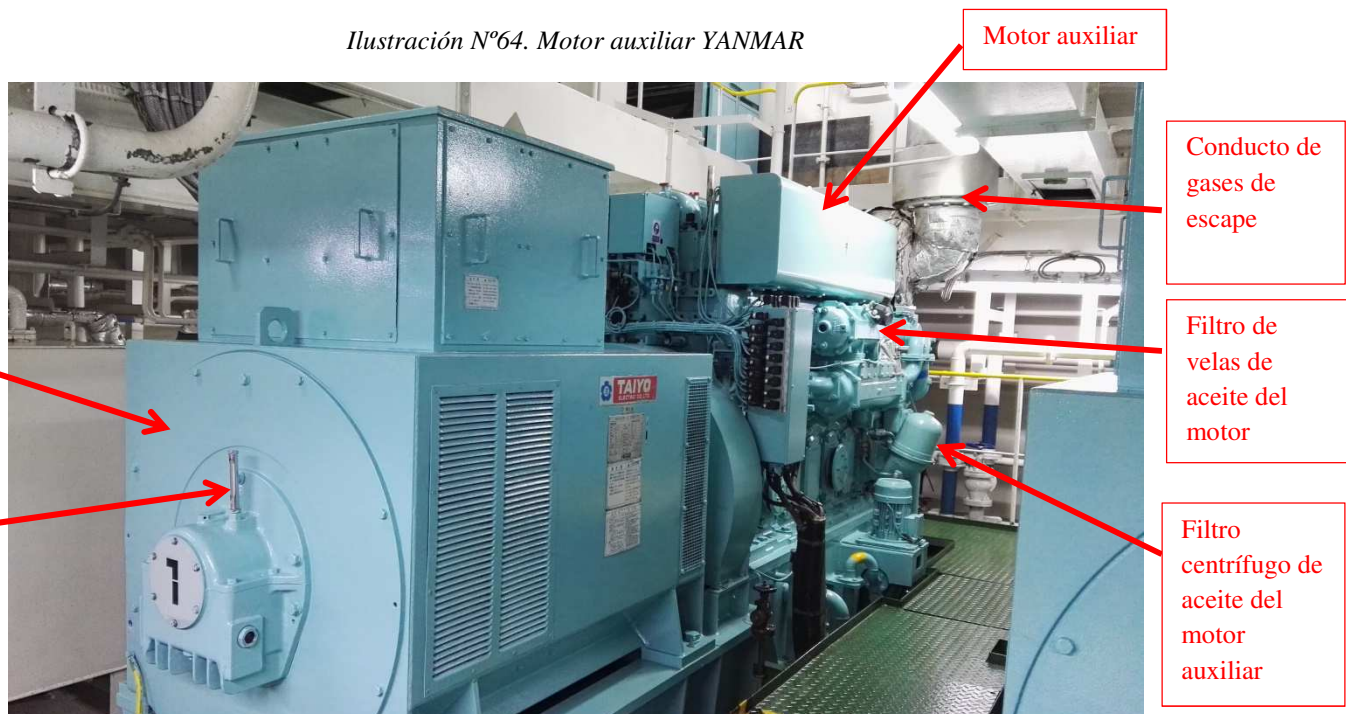
Acto seguido, los gases, después de ser enfriados, pasan por un apagachispas (en el plano, representados con el número 5) para ir a dar a la atmósfera pasando por una chimenea (representadas en el plano con el número 11).

Volviendo al plano, con el número 6 nos encontramos con la caldera de vapor. Trabaja aproximadamente a unos 7 bares y cuando el motor principal está parado, es

decir, cuando no hay gases de escape pasando por el economizador, el quemador propio de la caldera es el que va a llevar el agua a la ebullición. Esta combustión en el interior del quemador va a producir unos gases de escape. Dichos gases salen a la atmósfera mediante una chimenea (número 11) pasando por un apagachispas (número 5).

Siguiendo con el plano, a la izquierda de la caldera, representados con el número 7, nos encontramos con los motores auxiliares. Estos motores son unos Yanmar que funcionan a 900 rpm y son capaces de proporcionar una potencia de 745 kW cada uno. Pueden ser alimentados tanto por diésel como por fuel. Constan de un turbocompresor que es por donde van a salir los gases de escape yendo a dar a un silenciador con apagachispas (números 8) para salir a la atmósfera por su respectiva chimenea (número 11).

Ilustración N°64. Motor auxiliar YANMAR



Fuente: [trabajo de campo]

Regresando al plano, está dibujado con el número 9 el incinerador con su respectiva chimenea (número 11). No es muy utilizado a bordo ya que cada poco tiempo el B/T Tinerfe toca puerto y deja la basura ahí.

Por último, y volviendo a la esquina superior derecha del plano, representado con el número 10 nos encontramos con el generador de emergencia. Éste únicamente funciona a diésel, produciendo una potencia de 160 kW a 1800 rpm.

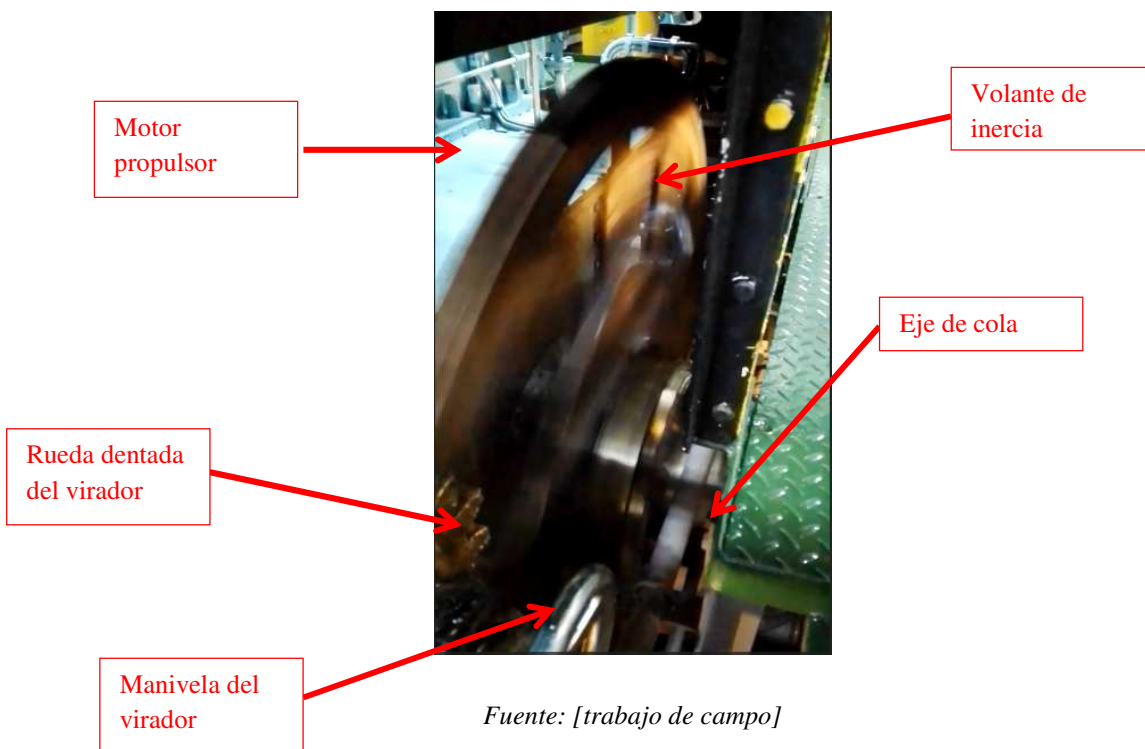
Consta de un turbocompresor por el cual van a salir los gases de escape de la combustión pasando por un silenciador y circulando hacia la atmósfera mediante la chimenea (número 11). Este motor se encuentra fuera de la sala de máquinas.

5.3. Eje de cola del motor propulsor

El eje de cola del motor propulsor del B/T Tinerfe comienza a la salida del eje del bloque del mismo motor. Lo primero que nos vamos a encontrar en este eje, yendo de proa a popa, es con la chumacera de empuje. La función de ésta es soportar al eje y transmitir un empuje longitudinal, contrario al empuje de la hélice. En otras palabras, cumple la función de evitar que el eje vaya hacia proa.

Seguidamente, nos encontramos con el volante de inercia. Es un almacén de energía. Absorbe trabajo y lo introduce en los momentos que por cualquier causa se tienda a disminuir la velocidad de giro del motor. Este volante se engrana al virador con las bombas de aceite arrancadas para lubricar las partes necesarias antes de cada maniobra de arranque del motor propulsor. Esta acción se realiza con las válvulas indicadoras de diagrama abiertas.

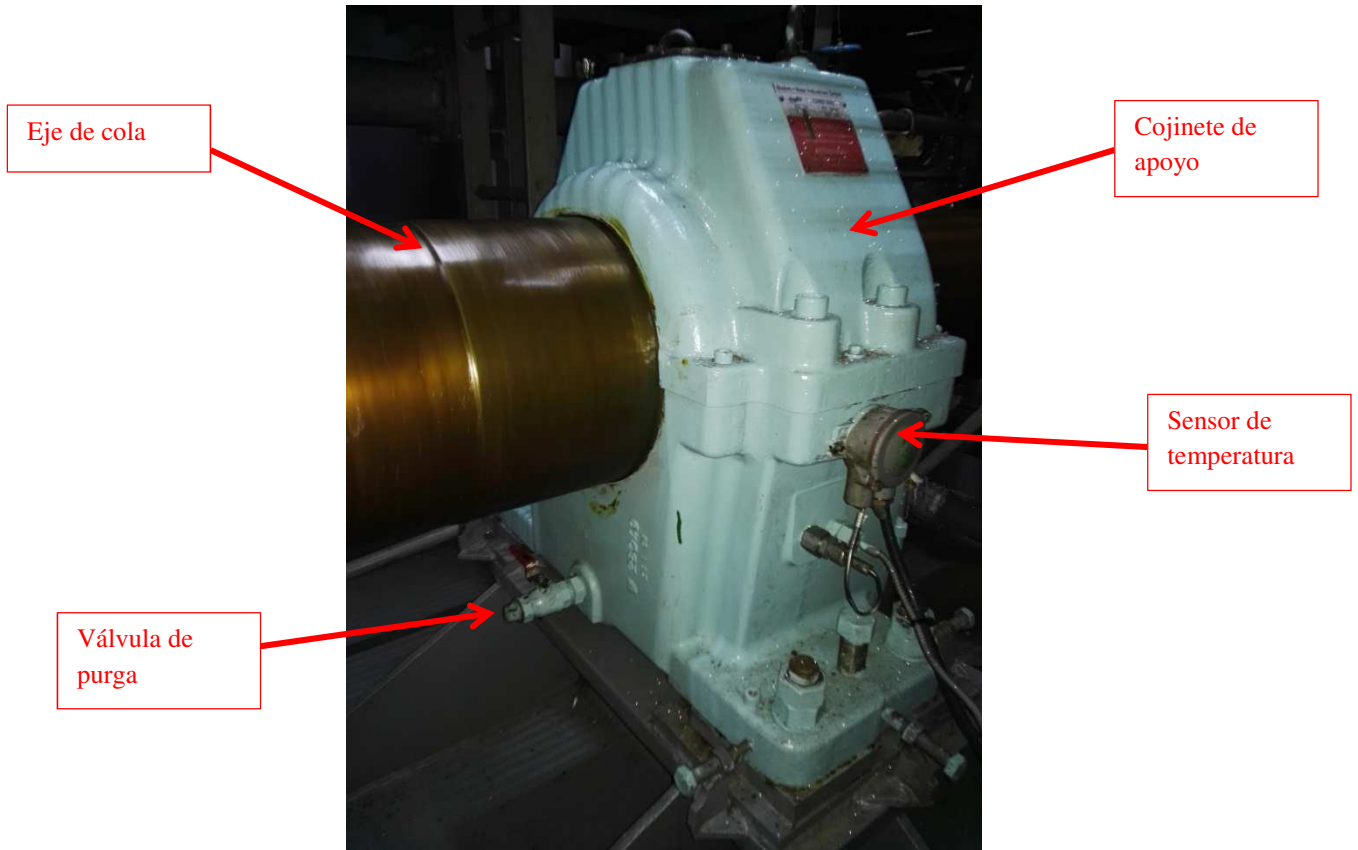
Ilustración N°65. Volante de inercia girando junto con el eje de cola



Fuente: [trabajo de campo]

Siguiendo el eje de cola, nos encontramos con un cojinete de apoyo, el cual es de deslizamiento y está lubricado por aceite. Va a tener un contacto directo con el eje y su función es la de sostenerlo.

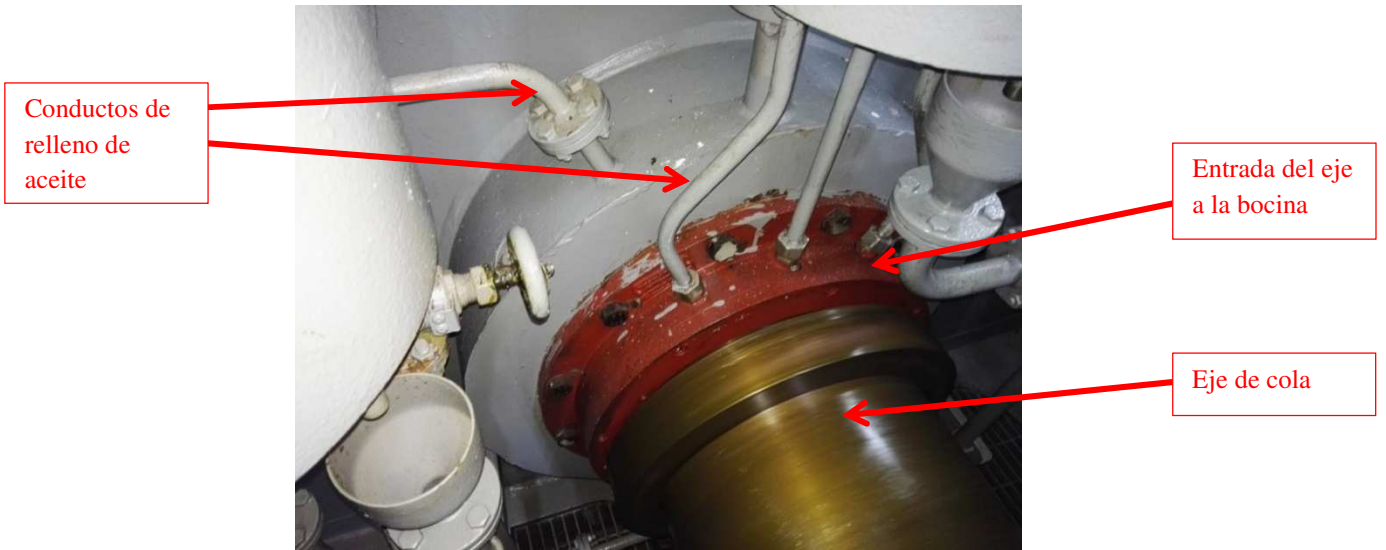
Ilustración N°66. Cojinete de apoyo del eje de cola



Fuente: [trabajo de campo]

Si seguimos más hacia popa nos encontramos con la entrada del eje de cola a la bocina, que es el orificio hecho en el casco del buque por donde pasa el eje que une el motor propulsor con la hélice. La bocina del B/T Tinerfe está dividida en 2 sellos. El sello de proa y el de popa, rellenos de aceite por gravedad. El tercer sello, el situado más a popa, está lleno de agua salada.

Ilustración N°67. Entrada del eje de cola a la bocina

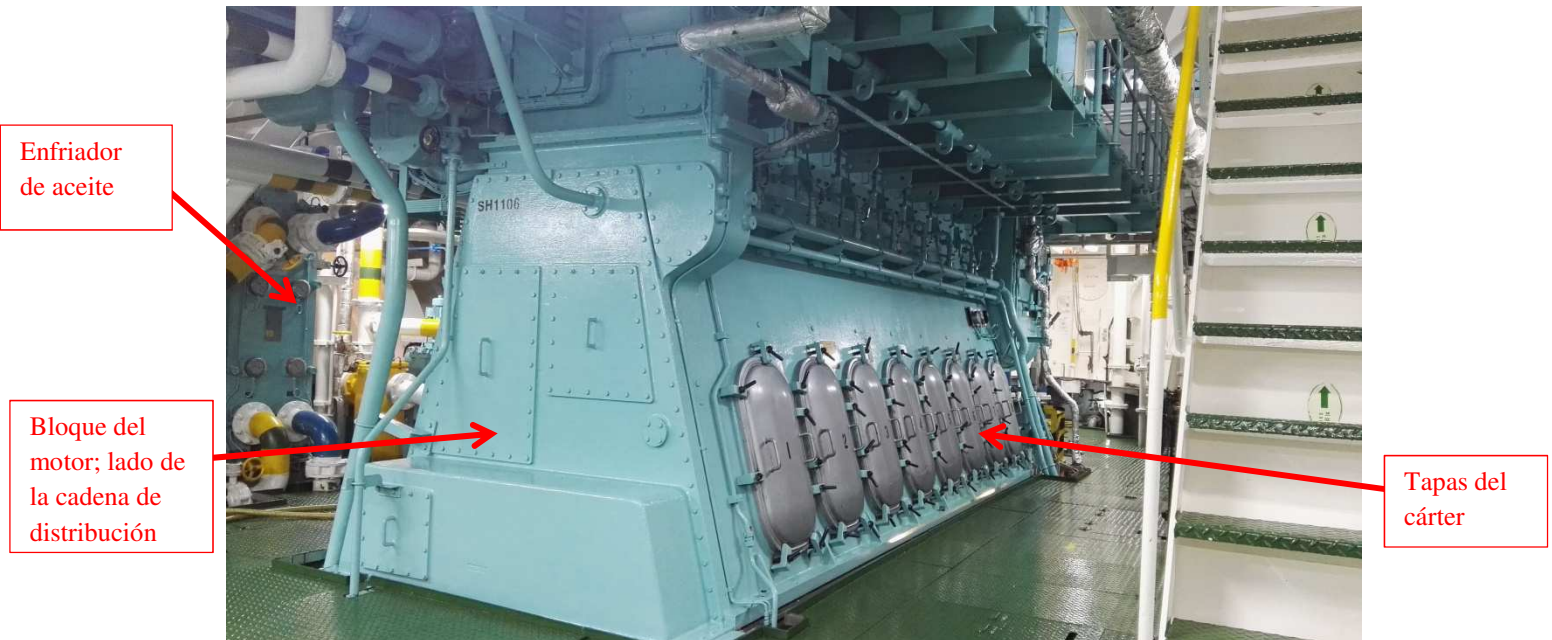


Fuente: [trabajo de campo]

5.4. Motor propulsor

El motor propulsor a bordo se trata de un motor de los fabricantes MAN y B&W, modelo 8S 35 MC. Dispone de 8 cilindros con un diámetro interior de 350 mm. y una carrera de 1400 mm. Este motor desarrolla una potencia de 5920 kW. a 173 r.p.m.

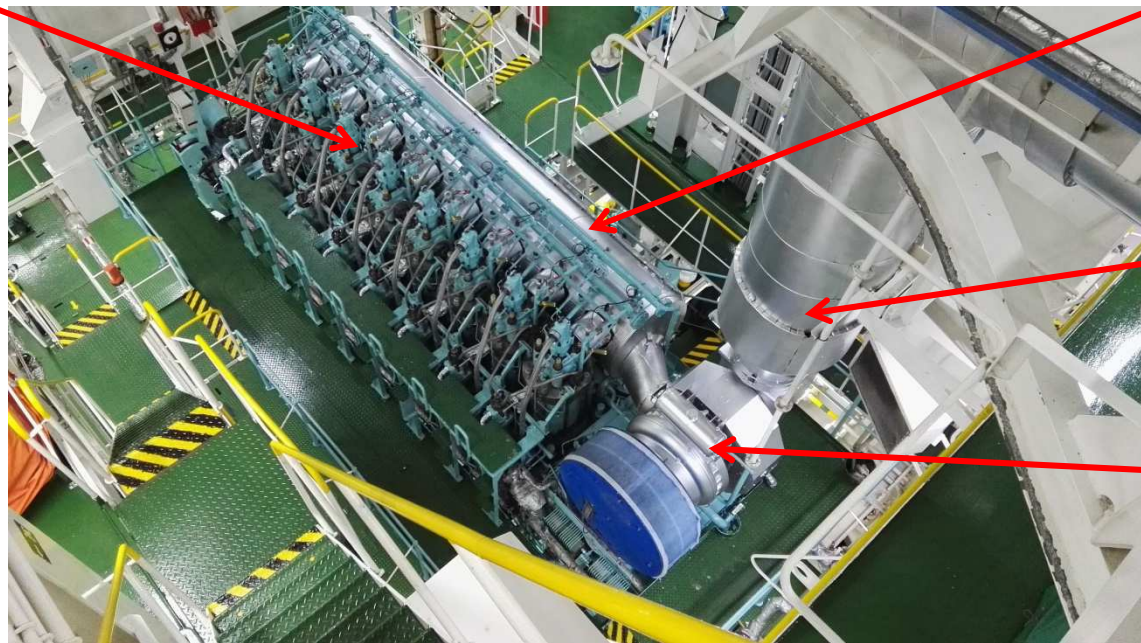
Ilustración N°68. Motor propulsor desde el doble fondo



Fuente: [trabajo de campo]

El motor trabaja con un ciclo diésel de 2 tiempos. Dispone de colector, galería y lumbrera de admisión y de una válvula de escape en forma de seta ubicada en la culata. Justo debajo de la lumbrera de admisión existe un elemento conocido como stuffing box. También dispone de un colector de gases de escape. El barrido realizado por este motor se conoce como barrido continuo.

Ilustración N°69. Motor propulsor desde el primer tecla



Fuente: [trabajo de campo]

El motor trabaja con un ciclo diésel de 2 tiempos. Dispone de colector, galería y lumbrera de admisión y de una válvula de escape en forma de seta ubicada en la culata. Justo debajo de la lumbrera de admisión existe un elemento conocido como stuffing box. También dispone de un colector de gases de escape. El barrido realizado por este motor se conoce como barrido continuo.

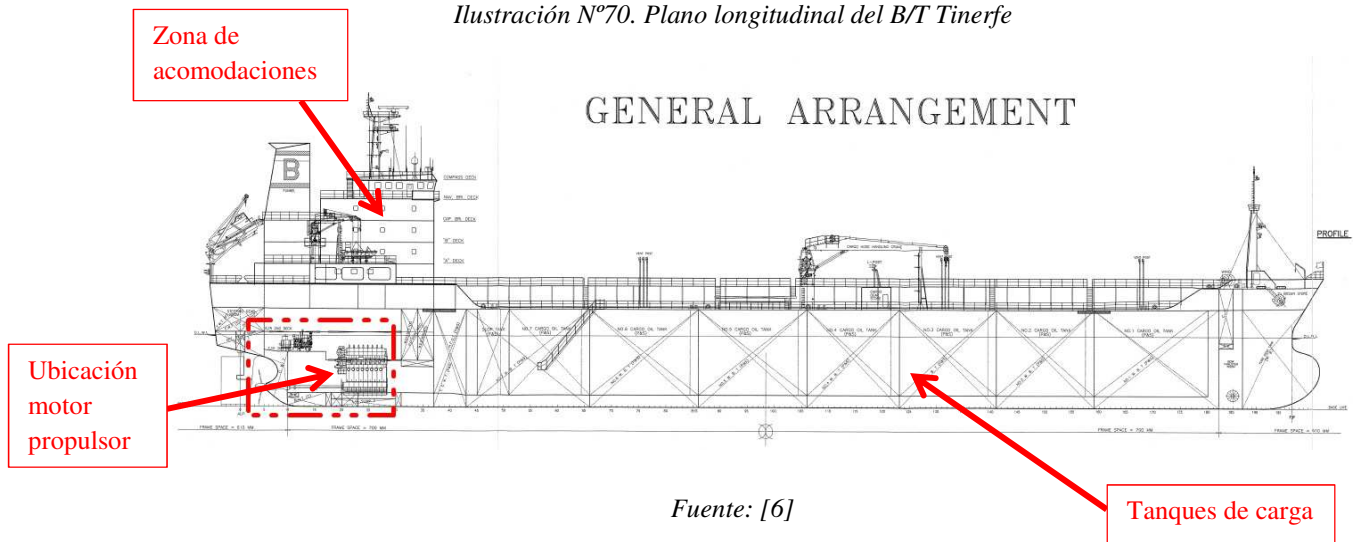
Se trata de un motor lento, con régimen de giro bajo y estable. La hélice gira a la misma velocidad a la que lo hace el motor. Dispone de un sistema de inversión de marcha y no posee reductora.

Este motor es del tipo de cruceta, de simple efecto y sobrealimentado. Se alimenta de fuel.

5.4.1. Ubicación del motor propulsor

La bancada del motor propulsor se encuentra a bordo en el doble fondo de la sala de máquinas, ubicado en la parte de popa del buque. Es de dimensiones considerables, por lo que llega a sobresalir hasta el tercer teque, donde podemos manipular elementos del motor.

Ilustración N°70. Plano longitudinal del B/T Tinerfe



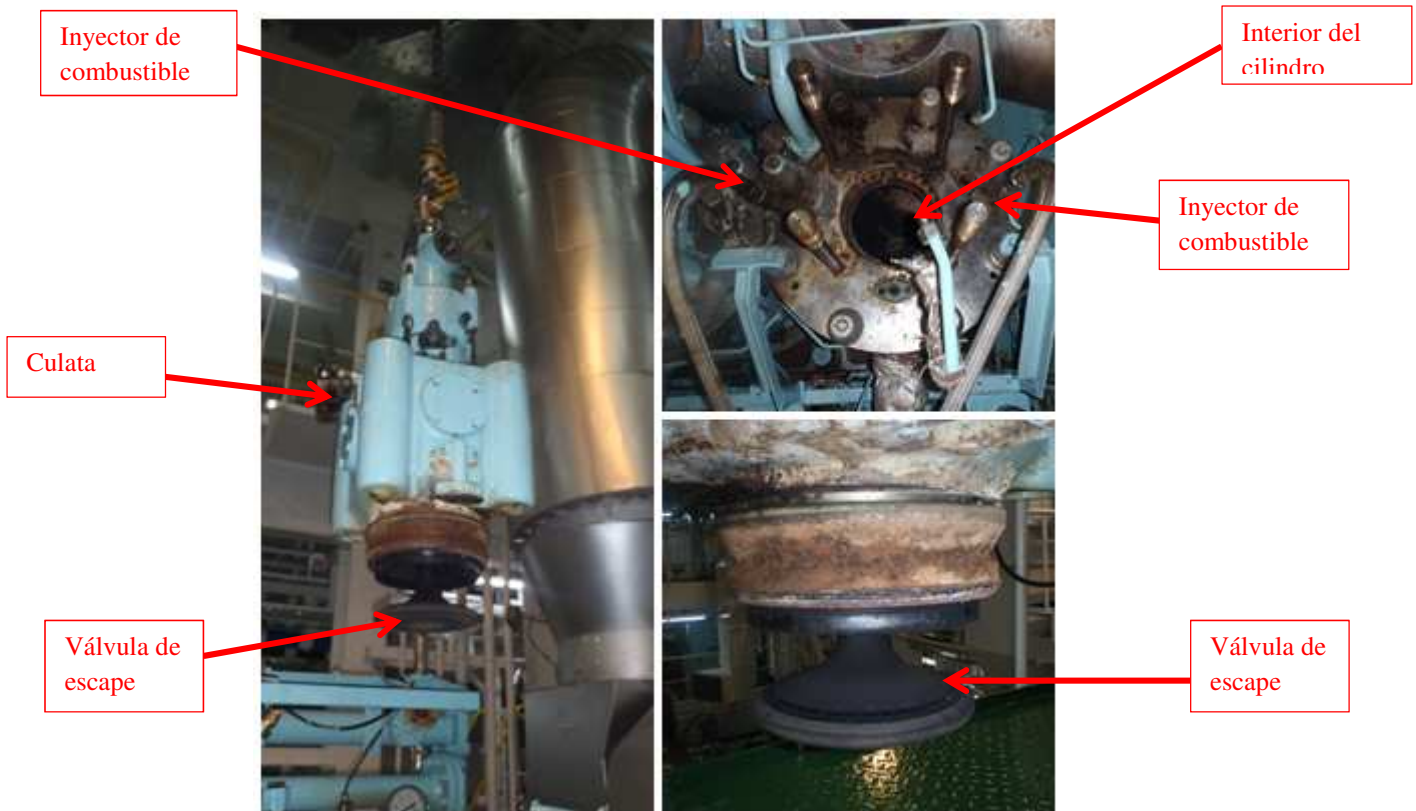
5.5. Características particulares del motor de combustión interna de 2 tiempos

Los motores de 2 tiempos presentan, por su construcción y mecanismo, ciertas particularidades frente a los motores de 4 tiempos. Estas características diferenciadores las estudiaremos a continuación.

5.5.1. Válvula de escape

La válvula de escape del motor propulsor se ubica en la culata de cada cilindro. La válvula se abre hacia la cámara de combustión de forma hidráulica, gracias a una bomba de aceite la cual hace fluir dicho liquido por un conducto de alta presión. La presión de aceite hidráulica es producida por el empuje de cada uno de los camones de escape del eje de camones.

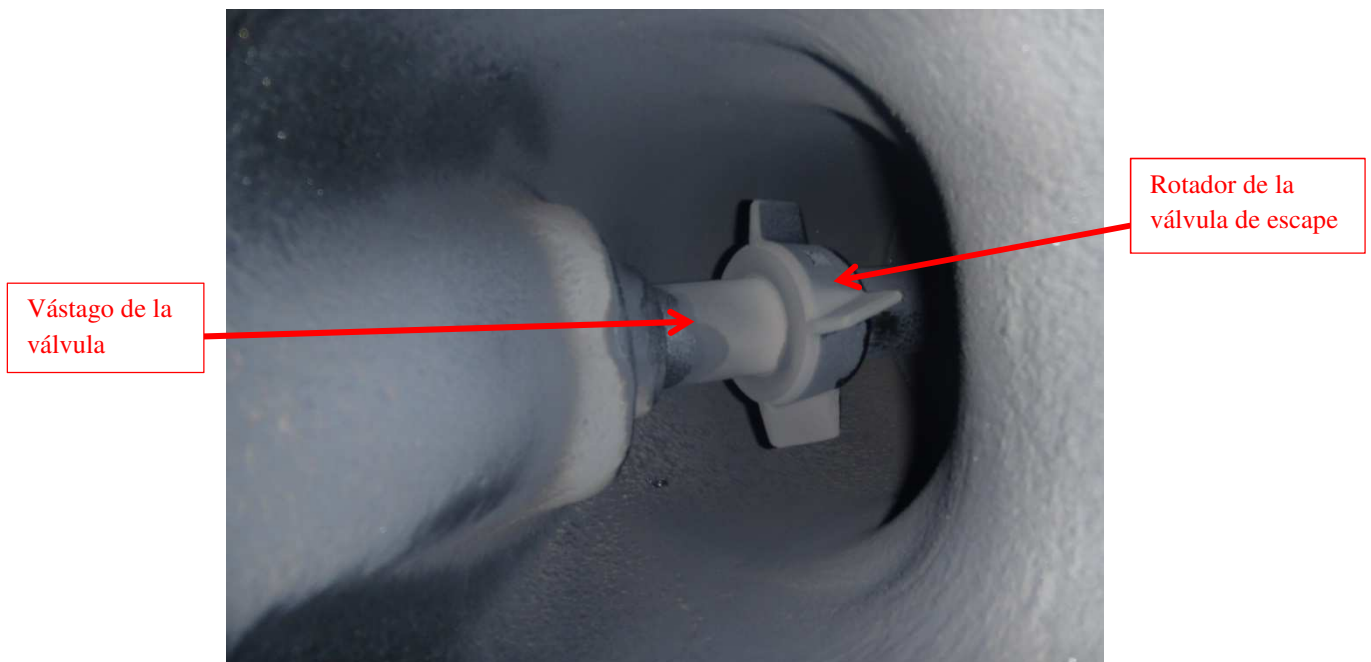
Ilustración N°71. Culata y válvula de escape durante un mantenimiento



Fuente: [trabajo de campo]

Durante la marcha del motor propulsor, la válvula va a girar sobre sí misma, gracias al paso de los gases de escape, consiguiendo un desgaste en las zonas de asiento más equilibrado.

Ilustración N°72. Vástago de la válvula de escape y rotador, que permite el giro de la válvula sobre si misma gracias al flujo de los gases de escape



Fuente: [trabajo de campo]

El cierre de la válvula de escape se realiza mediante un sistema neumático.

La válvula de escape va refrigerada por agua.

5.5.2. Carrera larga

En este tipo de motores la carrera es más larga de lo normal, esto es para desarrollar una mayor potencia por ciclo. En el caso concreto del motor propulsor del B/T Tinerfe la carrera por tiempo es de 1400 mm.

5.5.3. Lumbreras

Las lumbreras son cavidades ubicadas en cada cilindro por las cuales va a entrar el aire de barrido o salir los gases de escape. En el caso del B/T Tinerfe, el motor propulsor posee únicamente lumbreras de admisión.

Éstas están ubicadas por toda la periferia del cilindro, en su parte inferior. El ángulo de incidencia de las mismas está dispuesto de forma que cuando el aire de barrido entre en la cavidad volumétrica incida tangencialmente en el cilindro. De esta forma se consigue un barrido más completo.

Ilustración N°73. Cilindro, lumbreira de admisión y émbolo con aros



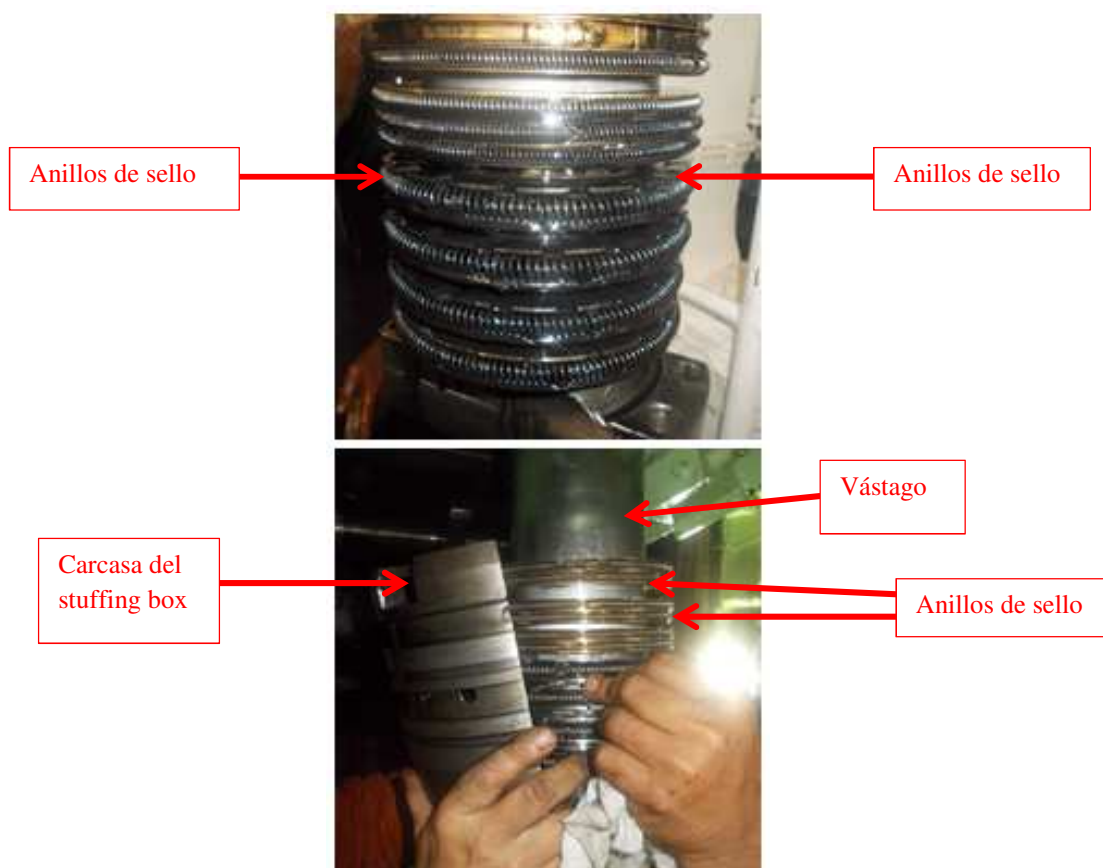
Fuente: [trabajo de campo]

5.5.4. Stuffing box

El stuffing box está ubicado justo debajo de la lumbreira de admisión y cumple una doble función. Evitar que le entre al cárter aire y evitar que le entre aceite a las galerías, colector y lumbreira de barrido.

Consta de dos partes que están atornilladas juntas, en las cuales van 7 anillos de sello.

Ilustración N°74. Stuffing box con sus anillos de sello y siendo montado



Fuente: [trabajo de campo]

5.5.5. Colector de aire de barrido y sistema de extinción en caso de incendio

El colector de aire de barrido es donde se almacena el aire que va a entrar en la cavidad volumétrica para la realización de la combustión. Al no existir válvula de admisión, la presión existente en este colector debe ser algo superior a la atmosférica (en torno a 1.2, 1.3 bar). De esta manera, los gases de escape serán expulsados a la atmósfera de una manera más limpia y el cilindro quedará lleno de aire fresco para la realización del ciclo siguiente.

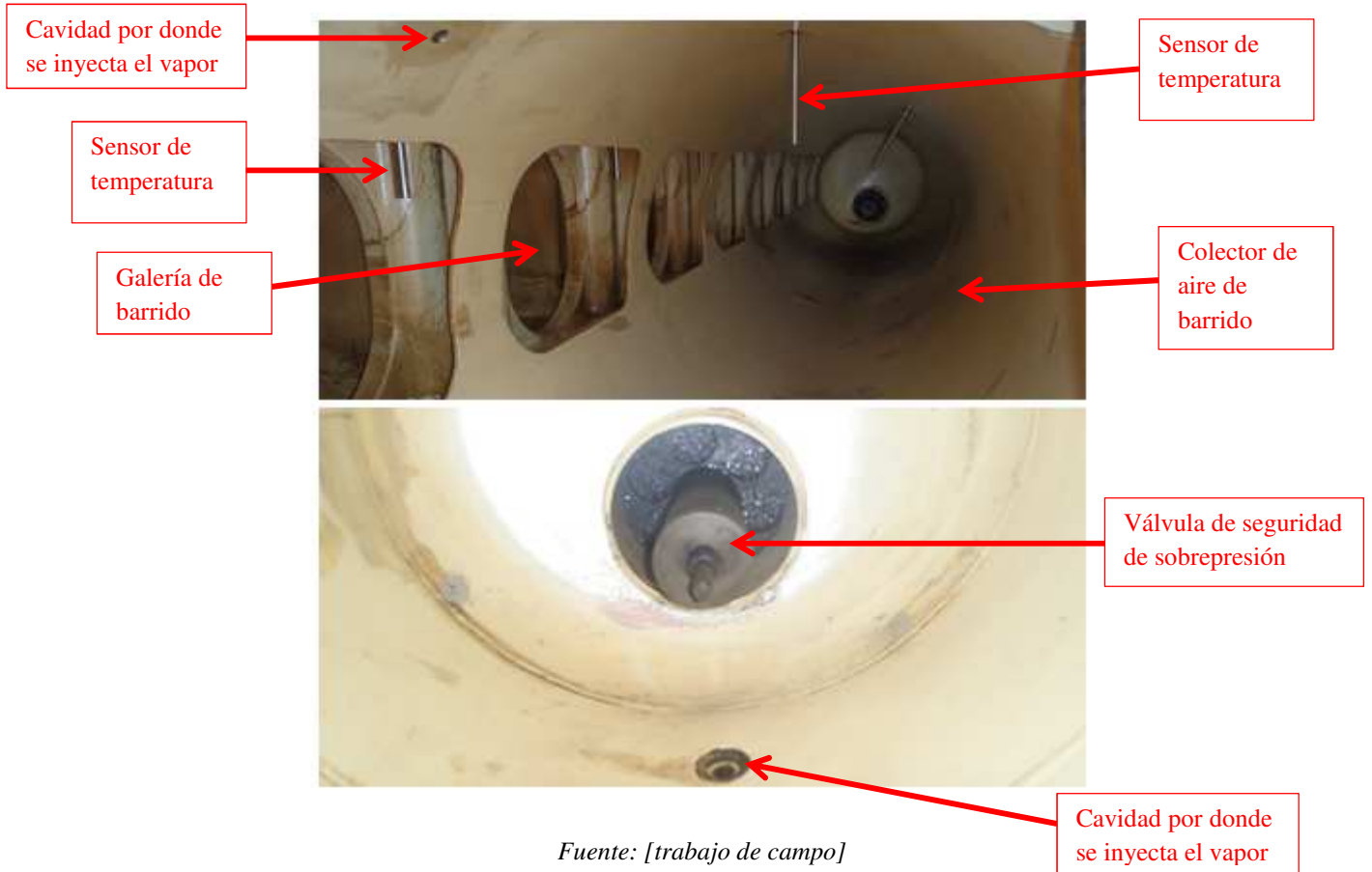
En el caso de darse una sobrepresión en el colector de aire de barrido, se cuenta con una válvula de seguridad ubicada en el mismo y timbrada con un muelle, a una presión ligeramente superior a la presión máxima de trabajo permisible (a 1.5, 1.6 bar).

En caso de inflamarse el producto de la combustión, existe un riesgo de incendio que, al estar comunicado durante un momento del ciclo el colector de gases de escape y

el colector de aire de barrido, puede hacer arder los 2 elementos de una manera muy fácil, ocasionando lo que menos se desea a bordo, un incendio.

Para ello, el colector de aire de barrido dispone de unas cavidades que inyectan vapor en caso de emergencia, desplazando el oxígeno del incendio hasta su extinción.

Ilustración N°75. Colector de aire de barrido, galerías y válvula de seguridad de sobrepresión



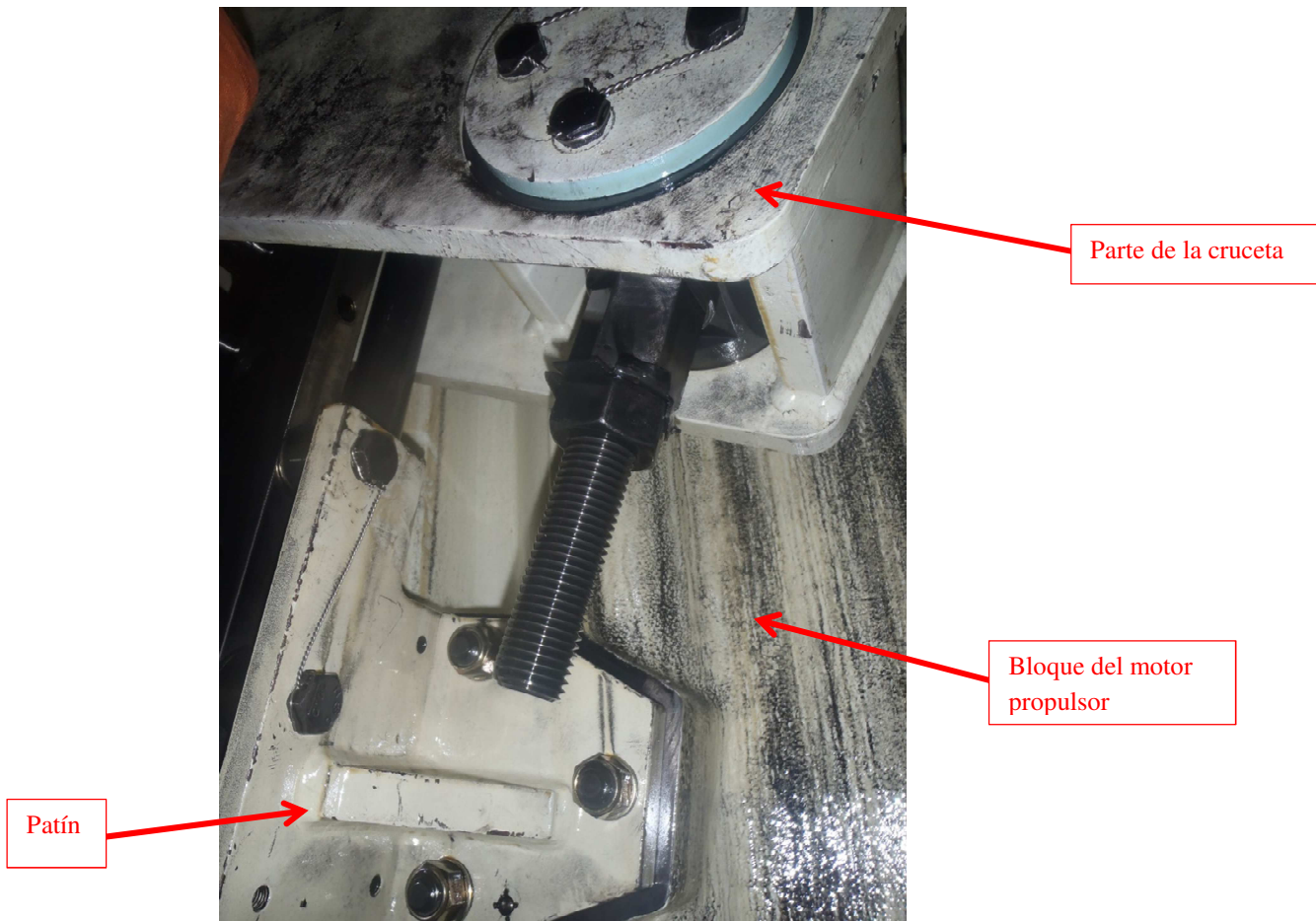
Fuente: [trabajo de campo]

5.5.6. Cruceta y patín

La cruceta es el elemento que enlaza el vástago con el pie de biela. Este órgano es propio de este tipo de motores.

El patín es una pieza que recoge los esfuerzos ejecutados por la biela. Este elemento va unido con la cruceta y todo esto va engrasado por aceite del circuito de lubricación del motor propulsor.

Ilustración N° 76. Patín y parte de la cruceta de uno de los vástagos del motor propulsor



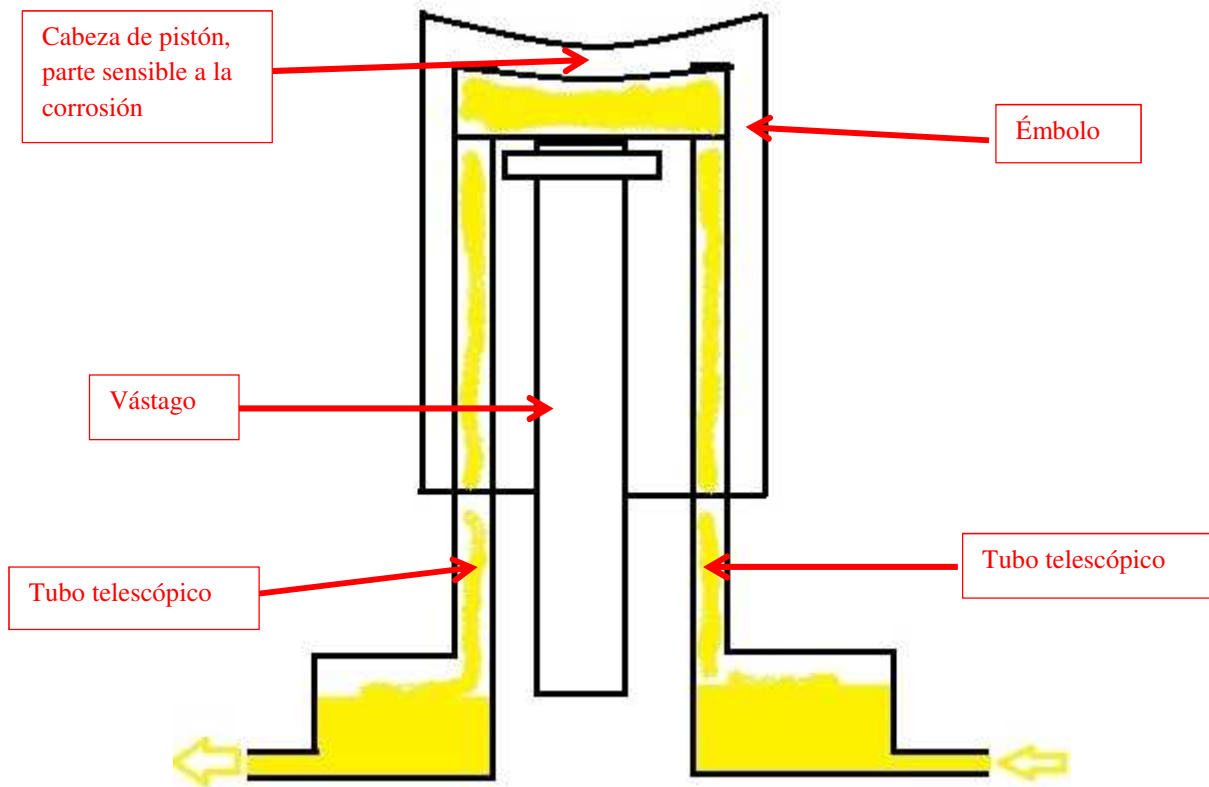
Fuente: [trabajo de campo]

5.5.7. Refrigeración de los pistones y corrosión en la cabeza

El vástago y el émbolo de este tipo de motores va refrigerado mediante tubos telescópicos, de lo contrario alcanzarían temperaturas muy altas. Esta refrigeración se puede conseguir utilizando aceite del circuito del motor propulsor, o bien mediante agua dulce o bien salada. En el caso del B/T Tinerfe, el émbolo y el vástago se refrigeran con aceite.

La cabeza del pistón, debido al gran esfuerzo que soporta, puede verse corroída. Debido a esta anomalía, podemos encontrar el caso en el que la corrosión es tan profunda que penetra hasta el punto en el que se ocasiona que el circuito de los tubos telescópicos quede descubierto, pudiendo ocasionar que el aceite se dirija a la cavidad volumétrica y se quemara junto a la combustión.

Ilustración N°77. Refrigeración del émbolo por aceite mediante tubos telescópicos



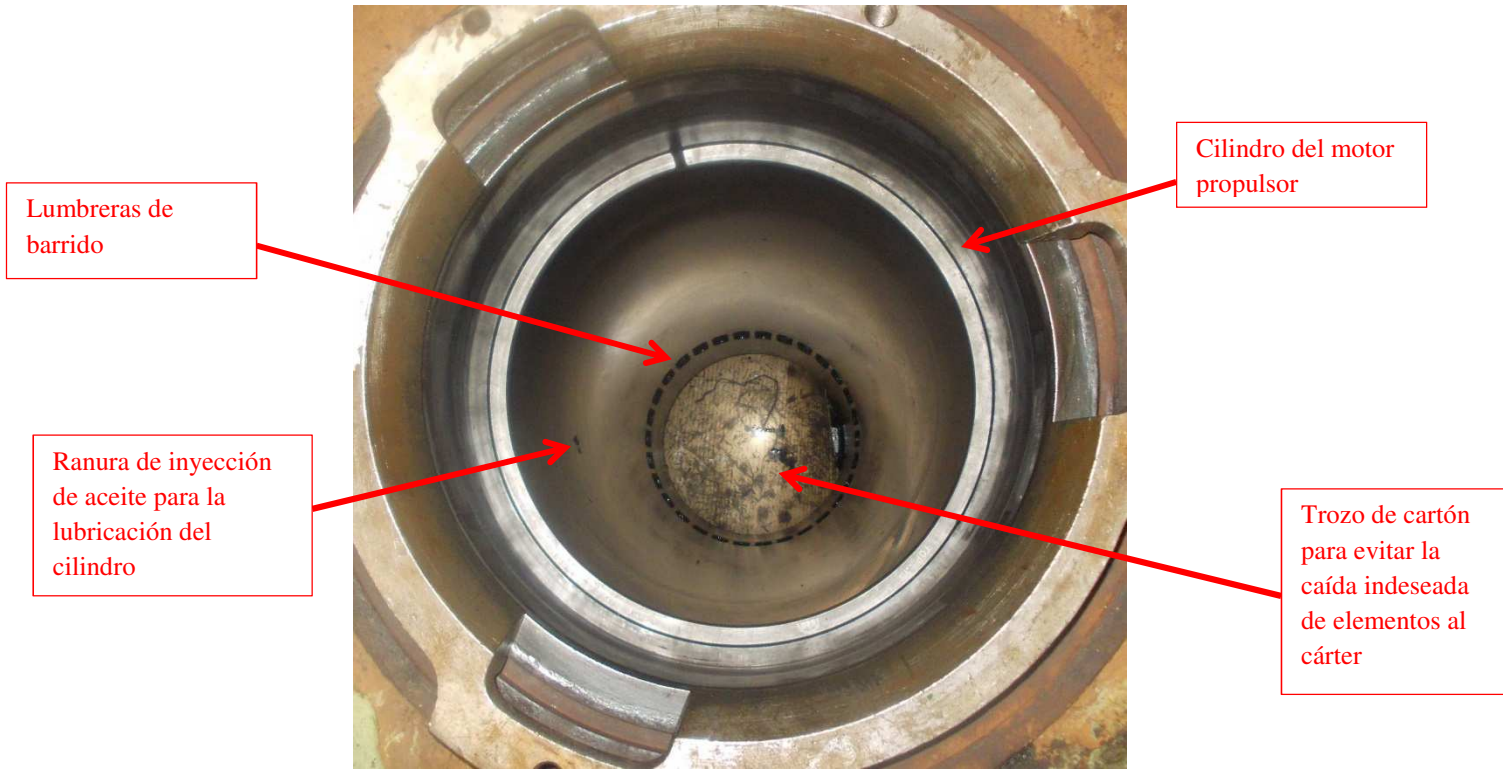
Fuente: [elaboración propia]

5.5.8. Lubricación de los cilindros

Al contrario de los motores de 4 tiempos, en los que la lubricación tanto del cárter como de los cilindros se efectúa con el mismo aceite y se comparte el mismo circuito, en los motores de 2 tiempos, como ya expliqué en el apartado del circuito de aceite de lubricación, vamos a diferenciar dos tipos de circuitos independientes. Uno, para la lubricación de los elementos interiores del motor (cojinete, vástago, biela) y otro para la lubricación de los cilindros. El aceite empleado para cada circuito debe ser diferente, con tanques de almacén y diario por separado. El aceite utilizado para el cárter no se quema durante la combustión, debido a la existencia del stuffing box, pero, por el contrario, el aceite empleado para la lubricación de los cilindros se quema durante el proceso de combustión. Es por esto que este aceite, que se inyecta en el cilindro, tiene ciertas propiedades, como un paquete para combatir la corrosión por el azufre y que al quemarse resulta menos nocivo para la atmósfera.

La lubricación de los cilindros supone una zona crítica. Tenemos que tener en cuenta que este tipo de motor gira a unas revoluciones lentas, y efectúa inversiones de giro. Los cilindros y las camisas poseen unas ranuras por las cuales se va a colar el aceite durante la marcha del motor propulsor.

Ilustración N°78. Cilindro del motor propulsor, ranuras de inyección de aceite y lumbreras de barrido



Fuente: [trabajo de campo]

5.5.9. Inversión de marcha

Puesto que la hélice del B/T Tinerfe es de paso fijo, tenemos la necesidad de invertir el sentido de giro del motor propulsor.

Esta inversión de giro en el motor se consigue actuando, mediante un circuito de aire de control, sobre unos cilindros de inversión que actuarán a su vez sobre las bombas de inyección y sobre el distribuidor de aire de arranque, enviando el aire a los cilindros correspondientes a la marcha requerida.

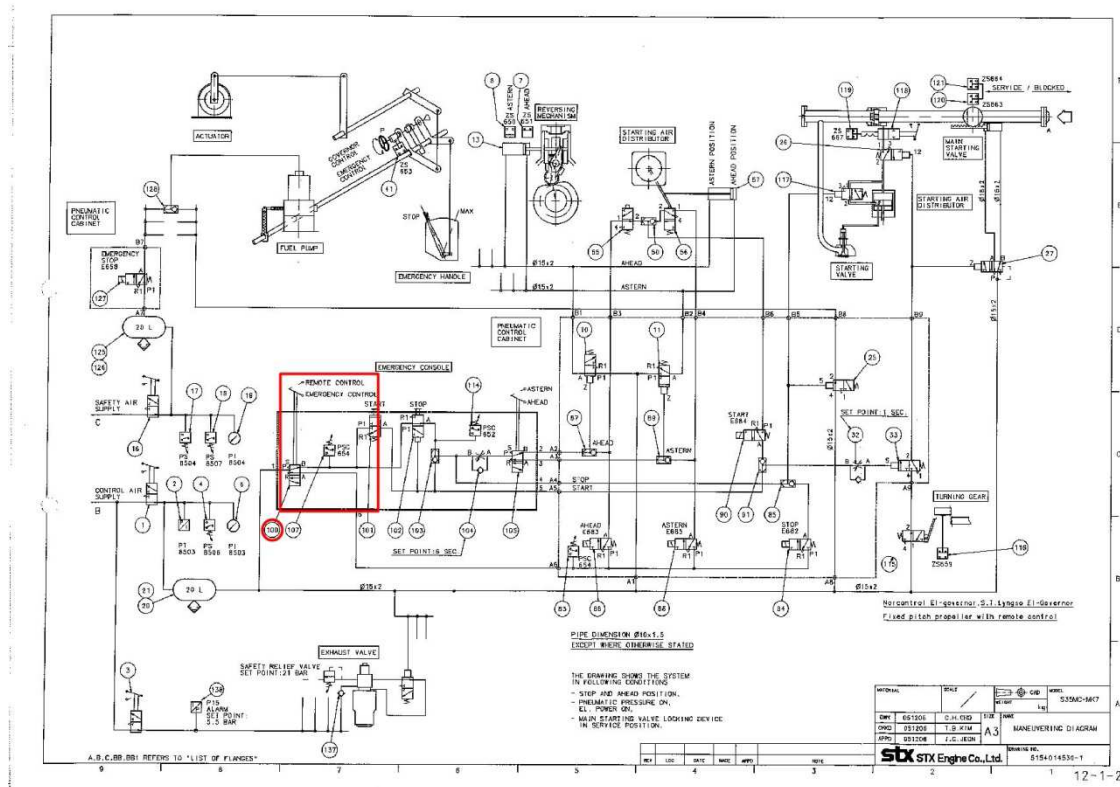
A continuación explicaré con más detalle este circuito de aire de control paso a paso hasta llegar a los cilindros de inversión.

5.5.9.1. Control remoto

El control remoto es el control sobre el motor propulsor desde el manubrio de la sala de control.

Para este modo, la válvula número 100, que es una válvula que se opera a mano y que manda el aire al sistema de emergencia o al sistema de control remoto, debe estar en posición remota.

Ilustración N°79. Diagrama de maniobra con la válvula 100 resaltada



Fuente: [6]

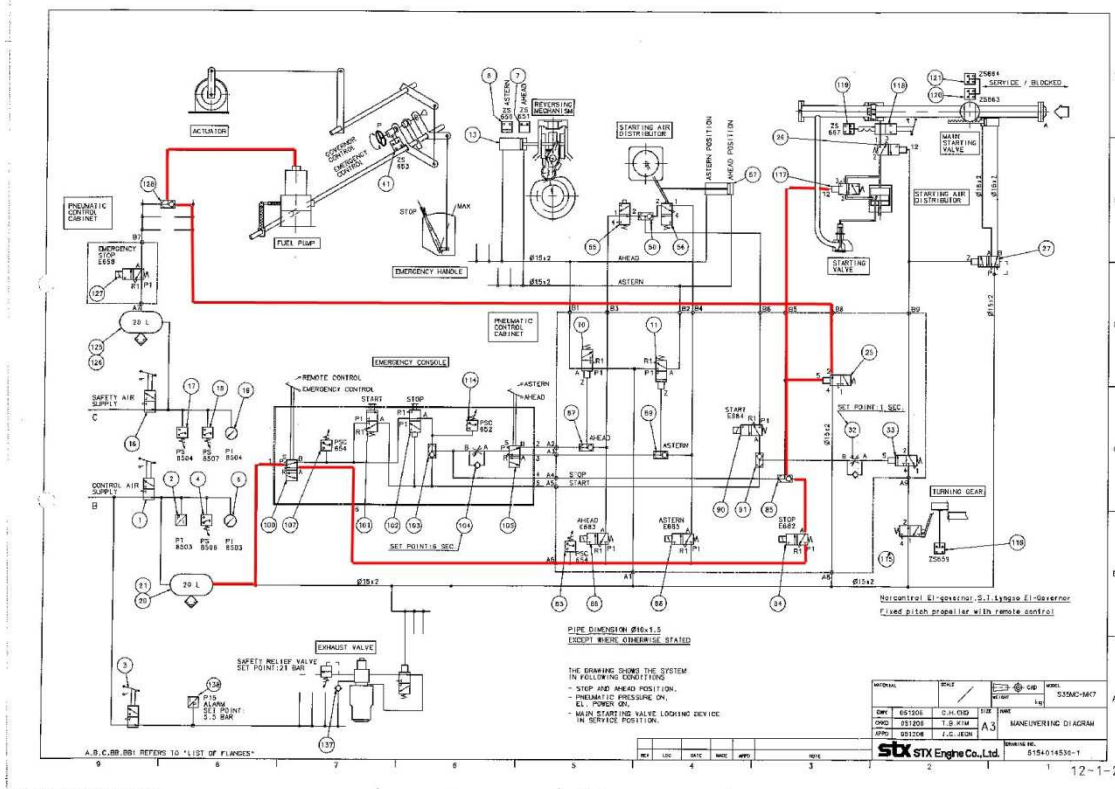
5.5.9.2. Parada del motor propulsor

En esta condición, la válvula solenoide STOP (número 84) es actuada. Esta válvula manda una señal piloto a la válvula 25 y a la válvula 117.

La válvula 25 manda aire a las bombas de fuel para activar las puncture del sistema de alta presión de fuel.

La válvula 117 manda aire a la primera parte de la ranura de distribución en el distribuidor de aire de arranque.

Ilustración N°80. Diagrama de maniobra y condición de STOP



Fuente: [6]

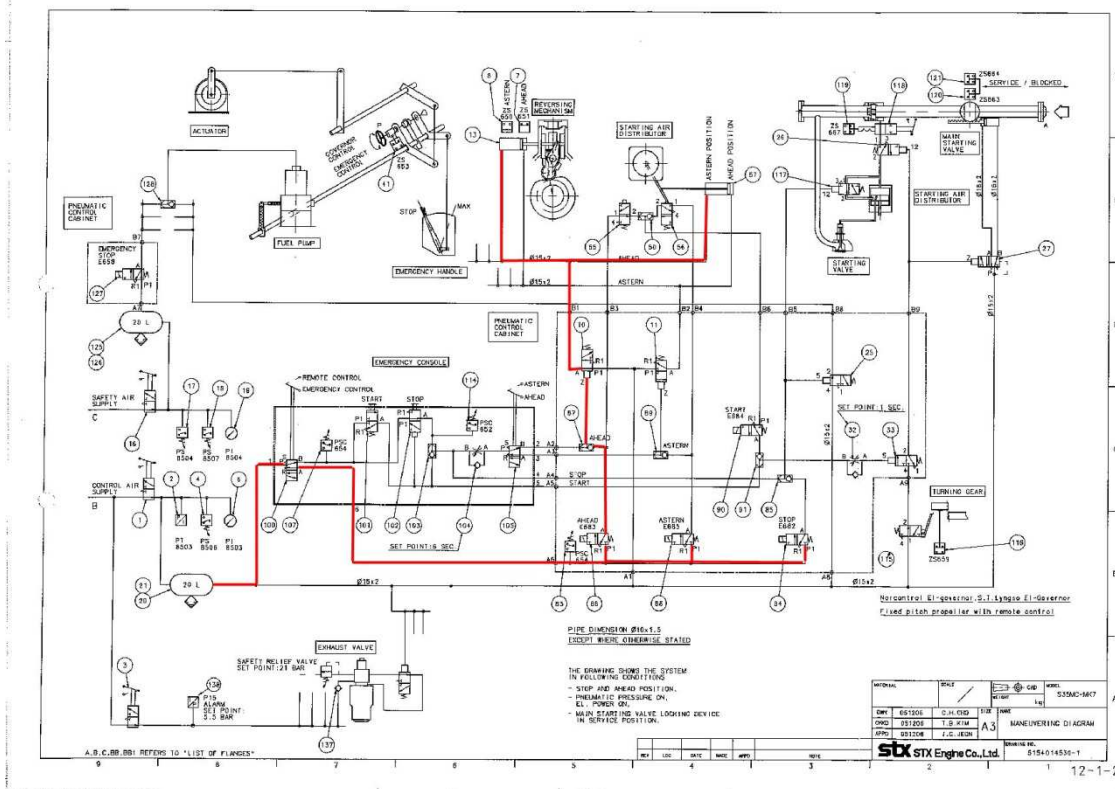
5.5.9.3. Arranque avante

En esta condición la válvula solenoide 84, la válvula 86 de AVANTE y la válvula 90 son actuadas.

La válvula 86 manda una señal piloto a la 10 y aire a la 55.

La válvula 10 alimenta de aire al cilindro de inversión 13 y al cilindro de inversión 57 para invertir las guías de rodillo y el distribuidor de aire de arranque.

Ilustración N°81. Diagrama de maniobra de arranque avante



Fuente: [6]

Cuando el distribuidor de aire de arranque se encuentra en la posición de avante, la válvula 55, que se encarga de bloquear la señal remota de arranque avante hasta que el distribuidor de aire de arranque se encuentra en posición AVANTE, manda aire a la válvula 90.

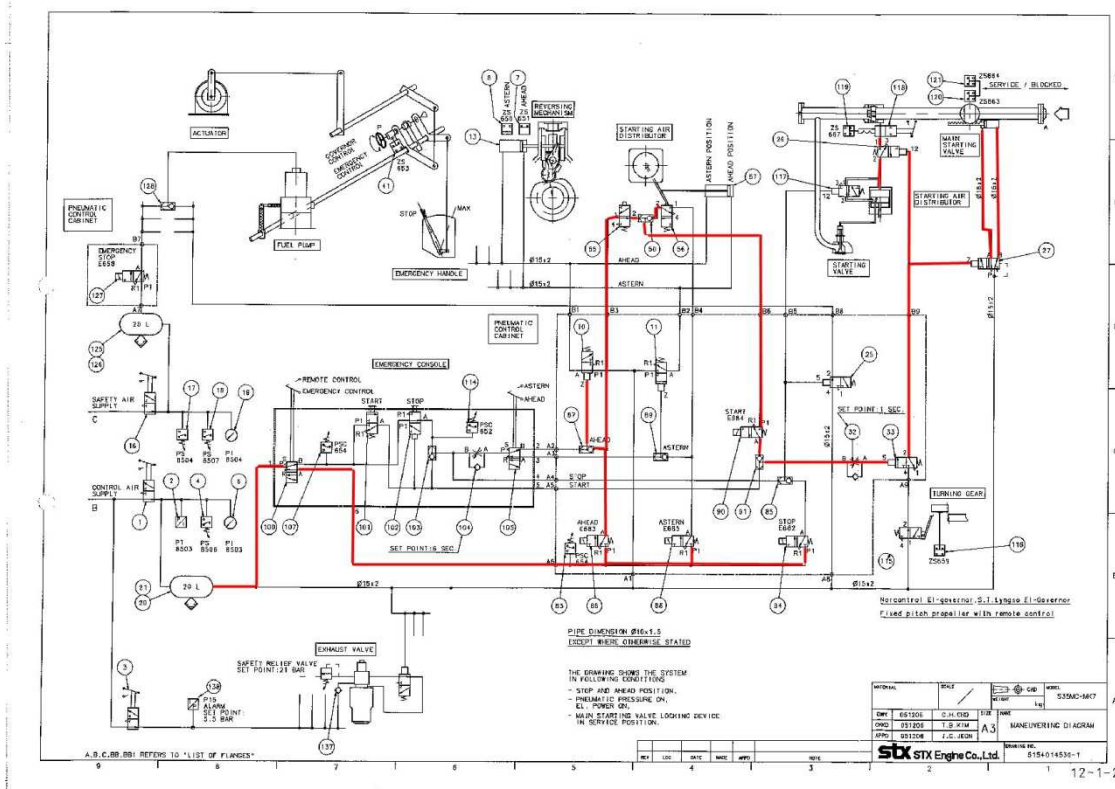
La válvula 90 manda una señal piloto a través de la 32 hacia la válvula 33, cuando el arranque es ordenado desde el sistema de control remoto y el distribuidor de aire de arranque se encuentra en la posición deseada.

Esto causa una señal piloto, que si el virador se encuentra desengranado, se manda a las válvulas 26 y 27.

La válvula 27 abrirá la válvula de arranque principal y la 26 alimenta de aire al distribuidor de aire de arranque.

El motor empezará ahora a girar.

Ilustración N°82. Diagrama de maniobra de arranque avante en el momento que empieza a girar el motor propulsor



Fuente: [6]

Cuando haya alcanzado unas rpm iniciales, las válvulas 84 y 90 serán descargadas.

Esto descargará también las válvulas 25 y 117.

La válvula 25 des-airará las válvulas puncture en las bombas de inyección, permitiendo que el fuel sea inyectado.

La válvula 117 cambiará el cronometraje del distribuidor de aire de arranque.

Un segundo después, retrasado por la válvula anti-retorno 32, la válvula 90 des-airará la válvula 33, causando una señal piloto a la válvula 26 y 27 que serán des-airadas.

La válvula 26 cerrará la alimentación de aire al distribuidor de aire de arranque.

La válvula 27 cerrará la válvula de arranque.

Seis segundos después la válvula 86 es liberada.

Esto des-airará la válvula 10, por lo tanto, los cilindros de inversión 13 y 57 serán des-airados.

5.5.9.4. Repetición de arranque

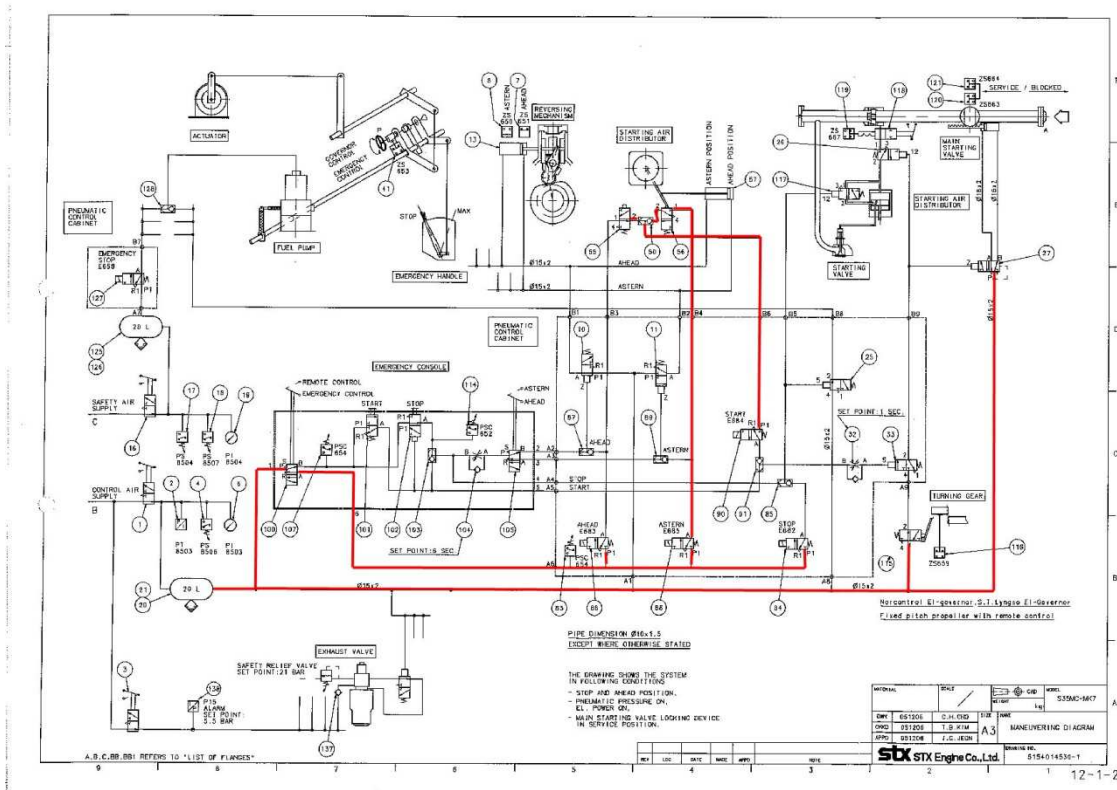
En caso de fallo de arranque, por ejemplo, si el motor para después de que la secuencia haya finalizado, es posible incrementar la salida del regulador.

Esto se hace activando la función en el regulador de cancelación de límites.

5.5.9.5. Inversión de giro y arranque atrás

El procedimiento para invertir el giro del motor propulsor y arrancar atrás es en principio el mismo descrito para el arranque AVANTE exceptuando que en vez de la válvula 86 ser actuada, es en este caso la 88, que mandará una señal a la 90 a través de la válvula 56, cuando el distribuidor de aire de arranque esté en la posición correcta.

Ilustración N°83. Diagrama de maniobra para el arranque atrás



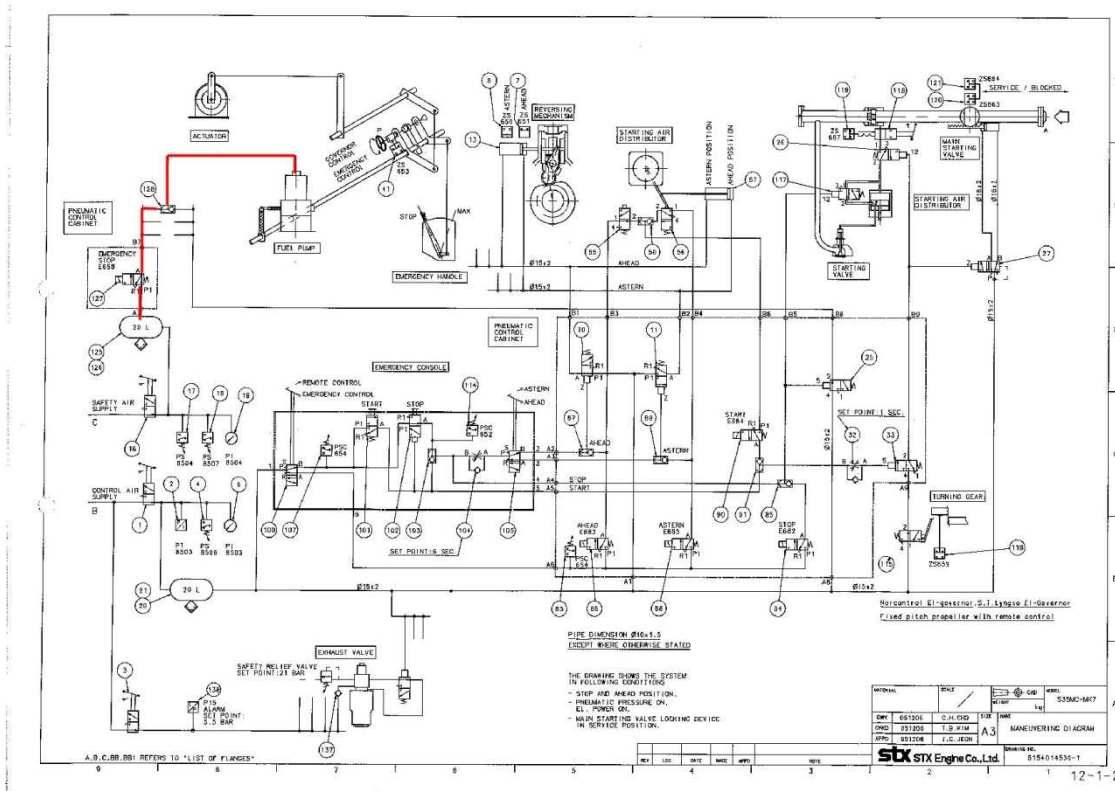
Fuente: [6]

5.5.9.6. Parada de emergencia

Esta parada se activa desde el sistema de aire de seguridades, independiente del sistema de aire de control.

Cuando se activa, el aire de seguridades es enviado a través de la válvula 128 a las válvulas puncture, parando la inyección de combustible en el motor.

Ilustración N°84. Diagrama de maniobra actuando sobre las válvulas puncture de las bombas de inyección desde el sistema de aire de seguridades



Fuente: [6]

5.5.9.7. Control de emergencia.

En caso de rotura del sistema neumático de maniobra, el regulador o su electrónica, el motor puede ser operado desde la consola de emergencia.

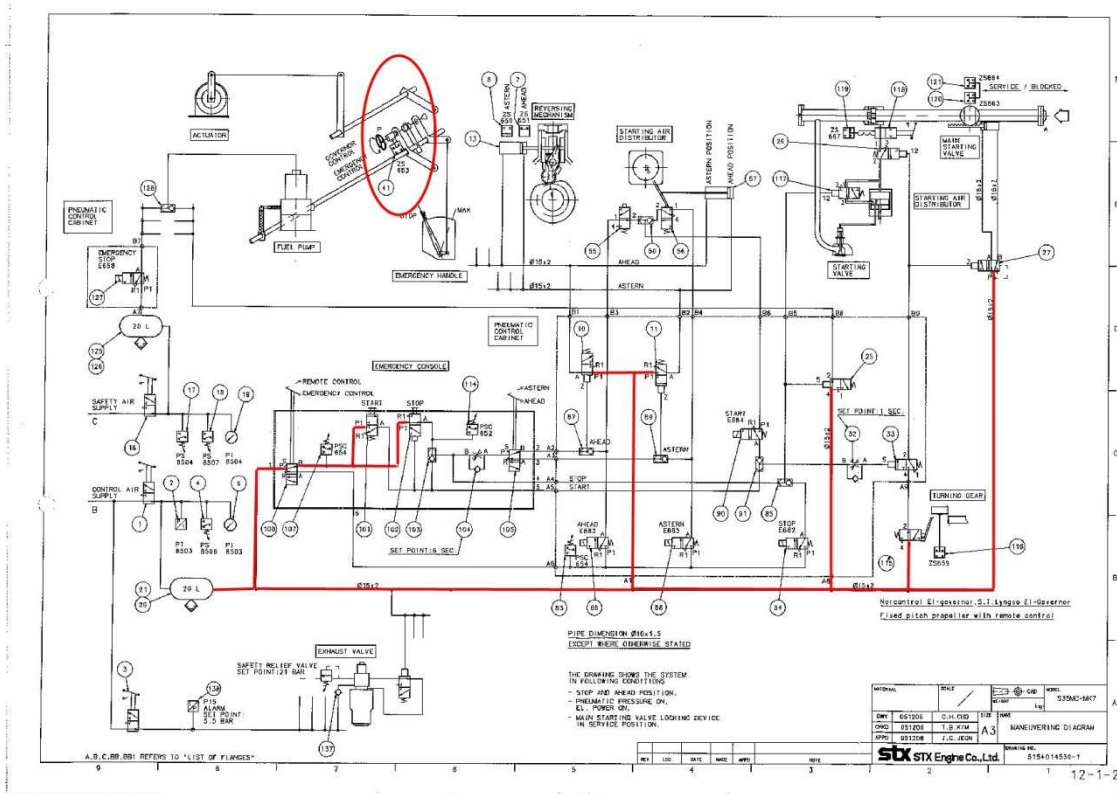
Para cambiar de control remoto a este control, se gira a mano la rueda que lleva las cremalleras de las bombas. De esta manera, desconectamos el regulador de las bombas y la regulación del control de emergencia está conectada a ellas.

Además, la válvula 100 ha de ser cambiada de control remoto a control de emergencia.

Mediante esto, la alimentación de válvulas en el control de emergencia está presurizado y la alimentación a las válvulas 84, 86 y 88 des-airadas.

Después del cambio de la válvula 100, hay que comprobar que la válvula 102 está pulsada y que la 105 está en la posición buscada (AVANTE/ATRÁS).

Ilustración N°85. Diagrama de maniobra para el arranque avante atrás actuando desde el control de emergencia



Fuente: [6]

En la condición de STOP con la válvula 102 pulsada, los mismos componentes son activados al igual que en la condición de STOP desde el control remoto.

Para el arranque del motor, el sable de control de emergencia se mueve a la posición deseada y después de esto la válvula 101 es pulsada.

La secuencia de arranque es la misma que la descrita para el arranque desde el control remoto, exceptuando que:

La activación de la válvula 33 es a través de las válvulas 55 y 56.

La des-airación retardada de las válvulas 10 y 11 es causada por la válvula 104.

Cuando el motor ha alcanzado las rpm deseadas, la válvula 101 es liberada.

5.5.10. Ausencia de reductora

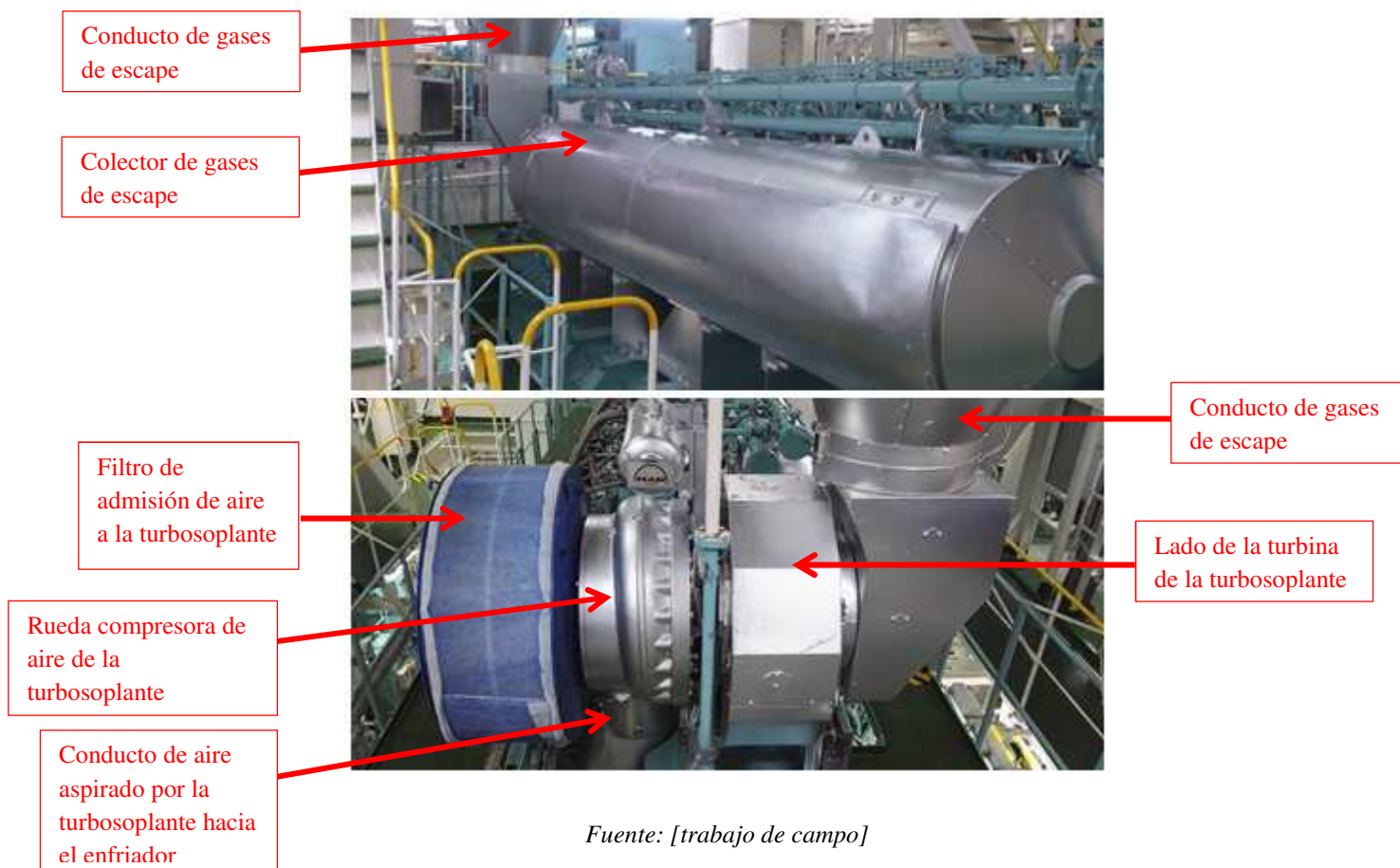
La velocidad de giro del motor propulsor es lenta, por lo que no existe necesidad de instalar una reductora. Esto crea el inconveniente de no poder utilizar durante la navegación un alternador de cola para generar el consumo eléctrico y ahorrarnos el gasto que supone alimentar otro alternador durante esta fase de navegación. Por el contrario, tiene la ventaja de prescindir de equipos como dicha reductora y el alternador pudiendo obtener como beneficio un menor número de equipos y todas las cosas positivas que ello conlleva.

5.5.11. Colector turbosoplante único

Este tipo de motores incorpora un colector de gases de escape que es conjunto a todos los cilindros.

De esta manera, los gases producidos por la combustión, salen del motor a través de la válvula de escape y van a dar a este colector para pasar por el eje de la turbina de la turbosoplante y de ahí dirigirse al conducto de gases de escape.

Ilustración N°86. Colector de gases de la turbosoplante y conducto de escape



5.5.12. Velocidad del motor propulsor = velocidad de la hélice

El eje de cola del B/T Tinerfe sale directo desde el motor propulsor hasta la hélice, por lo que la velocidad de la misma va a ser la velocidad de giro del motor propulsor. Se trata de una hélice de paso fijo, por lo que cuando el buque demande ir atrás, el motor propulsor debe invertir el sentido de giro para transmitir la demanda a la hélice.

5.5.13. Ventilación de aire forzada en el colector de barrido

La necesidad de alimentar el motor propulsor con aire de barrido con una presión ligeramente superior a la atmosférica hace necesario la existencia de unos motores eléctricos que mueven unos ventiladores que generan aire cuando el motor propulsor se encuentra bajo de revoluciones.

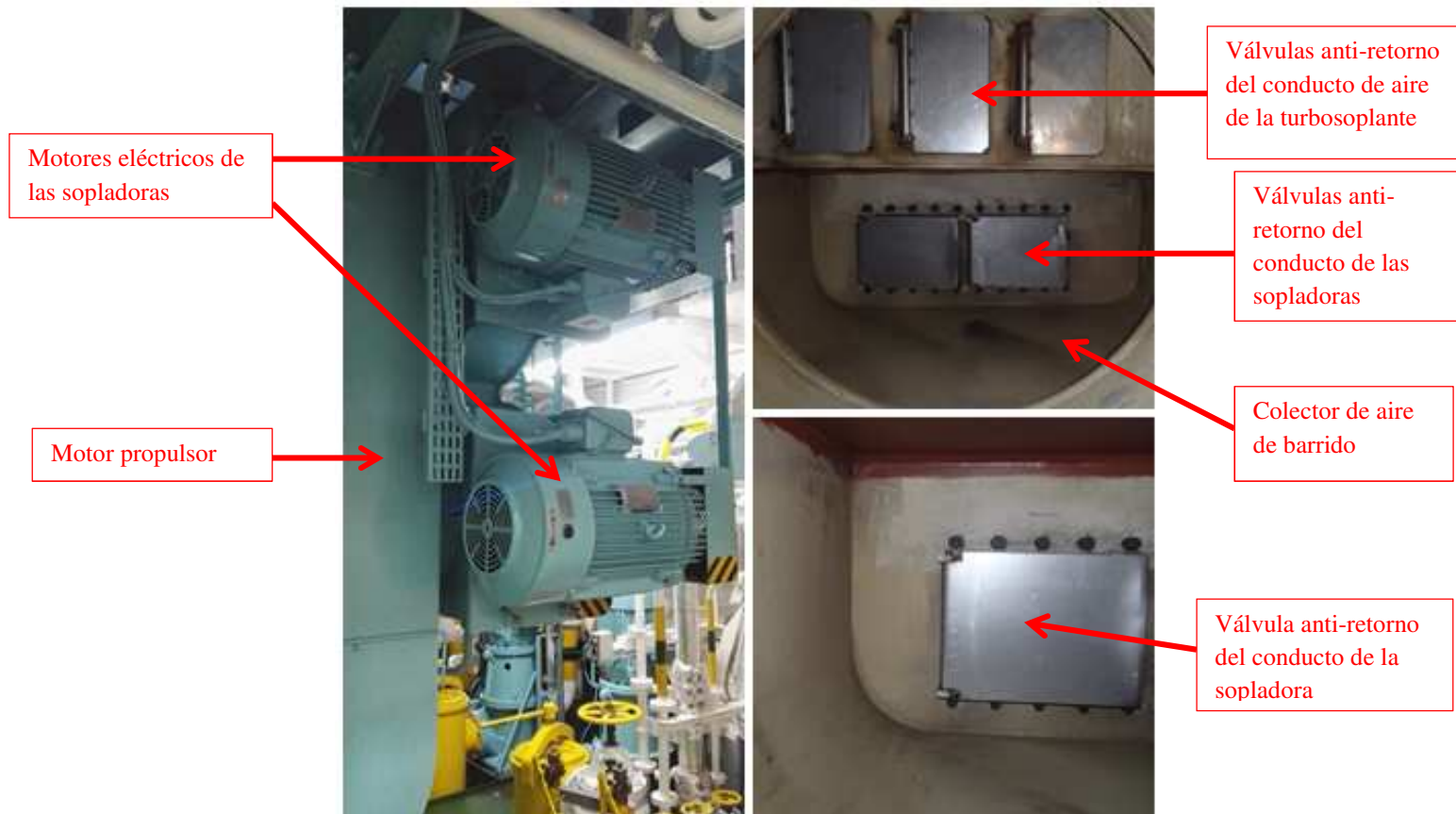
Esta situación se da cuando el buque se encuentra maniobrando tanto en situaciones de atraque, salida de puerto o fondeo, en la que los gases de escape no hacen girar lo suficiente al eje del compresor de la turbosoplante.

Estos ventiladores reciben el nombre de sopladoras y a bordo del B/T Tinerfe disponemos de 2.

Las sopladoras están ubicadas justo después del enfriador de aire.

El aire generado por las sopladoras entra al colector de barrido por unas válvulas anti retorno distintas a lo que lo hace el aire generado por la turbo.

Ilustración N°87. Sopladoras e interior de colector de barrido con las válvulas anti - retorno



Fuente: [trabajo de campo]

VI. CONCLUSIONES

VI. CONCLUSIONES

En este capítulo finalizaremos el contenido de este trabajo de fin de grado haciendo mención a las conclusiones que hemos obtenido con la realización del mismo.

- ✓ Hemos hablado sobre la historia de los motores de combustión interna
- ✓ Hemos explicado el funcionamiento de los ciclos diésel de 2 y 4 tiempos
- ✓ Se han tratado los primeros buques mercantes que disponían de un motor de combustión interna como motor propulsor
- ✓ Se ha descrito el B/T Tinerfe, así como su sala de máquinas, sus circuitos auxiliares y su eje de cola
- ✓ Se ha descrito el motor propulsor a bordo, así como su ubicación en la sala de máquinas
- ✓ Por último, se han explicado las características particulares que tiene un motor de 2 tiempos de ciclo diésel marino frente a uno de 4 tiempos del mismo ciclo de trabajo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ramón Carreras Planells, Ángel Comas Amengual, Antonio Calvo Larruy, 1.993, Motores de combustión interna. Fundamentos, Barcelona, España, Ediciones UPC.
- [2] Miguel Ángel Pérez Belló, 2.004, Tecnología de los motores, Madrid, España, CIE INVERSIONES EDITORIALES DOSSAT 2000 S.L.
- [3] Daniel Cabronero Mesas, 2.003, Motores de combustión interna, Barcelona, España, edición Española.
- [4] Tonny Gibbons, 2.014, La enciclopedia de los barcos, Madrid, España, Edimat libros.
- [5] Tonny Gibbons, 2.014, La enciclopedia de los barcos, Madrid, España, Edimat libros
- [6] Planos del buque