

Actualización de los planos del buque Las Palmas de Gran Canaria

Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Miguel Ángel Sánchez Martín

Dirigido por:
Víctor Fuses Navarra

Grado en Tecnologías Marinas

Barcelona, 8 de octubre del 2022

Departamento de electrónica

Resumen

Las salas de máquinas de los buques mercantes están repletas de conductos y equipos que forman un gran rompecabezas, donde todas las piezas tienen importancia. En este trabajo se realiza un estudio de tres partes esenciales dentro del rompecabezas, el circuito de combustible, el circuito de agua de refrigeración y el circuito de aceite. Para el estudio se han utilizado los esquemas de circuitos del buque Las Palmas de Gran Canaria (LPGC), los cuales han sido pasados a formato digital con el software de AutoCAD.

Se ha llevado a cabo un seguimiento de los circuitos comentados, explicando el funcionamiento de cada uno de sus componentes. Con el uso de los manuales de los equipos, más la información adquirida durante el periodo de embarque en el buque LPGC, se ha podido dar un enfoque técnico y conciso a cada uno de los elementos de los circuitos. También se incluye una explicación de los instrumentos de control y medición que se usan en las instalaciones.

El motivo para efectuar el estudio sobre los circuitos de combustible, agua de refrigeración y aceite lubricante, se debe a que son los tres fluidos más importantes que intervienen en el funcionamiento de los motores principales, el corazón del buque.

Abstract

The engine rooms of merchant ships have a lot of pipes and equipment establish a huge puzzle, where all the pieces matter. In this research has carried out, a study of three essential parts within the puzzle, the fuel circuit, the cooling water circuit and the oil circuit. For the study, have been used the circuit diagrams of the Las Palmas de Gran Canaria (LPGC) ship, which have been converted to digital format with AutoCAD software.

A follow-up of the commented circuits has been carried out, explaining the operation of each of its components. With the use of the equipment manuals, plus the information learned along the internship period on the LPGC vessel, it has been possible to give a technical and concise approach to each one of the elements of the circuits. An explanation of the control and measurement instruments used in the facilities is also included.

The reason for carrying out the study on the fuel, cooling water and lubricating oil circuits is because they are the three most important fluids that intervene in the operation of the main engine, the heart of the machine.

Tabla de contenido

Introducción	9
Circuito de combustible	10
Presentación del circuito de combustible	10
Tanques de combustible	10
Módulo de tratamiento de combustible	11
Paso del combustible por el motor	12
Retorno de combustible	12
Seguimiento del circuito y descripción de sus componentes	12
Elementos auxiliares	25
Elementos de medición.....	27
Sensores de temperatura Pt100.....	27
Transmisores de presión	28
Circuito de agua de refrigeración.....	31
Presentación del circuito de agua de refrigeración.....	31
Circuito de Baja Temperatura	31
Circuito de Alta Temperatura.....	32
Seguimiento del circuito y descripción de sus componentes	32
Circuito de baja temperatura	33
Circuito de alta temperatura	39
Elementos de medición y control.....	46
Interruptor de nivel.....	46
Electroválvulas	47
Circuito de aceite	49
Presentación del circuito de aceite	49
Seguimiento del circuito y descripción de sus componentes	50
Circuito de aceite de los motores principales	50
Circuito de aceite de reductoras	57
Elementos de medición y control.....	60
Medidor diferencial de presión.....	60
Conclusiones.....	61
Bibliografía	63
Anexo 1	64

Plano del circuito de alimentación de combustible de MMPP y MMAA	64
Plano del circuito de agua de refrigeración de los MMPP y equipos de propulsión	65
Plano del circuito de aceite de los MMPP	66

Guía de ilustraciones

Figura 1 Representación tanques D.O	13
Figura 2 Representación tanques S/D de F.O	13
Figura 4 Representación válvula 3 vías	13
Figura 3 Válvula 3 vías	13
Figura 5 Bba de alimentación módulo comb.	14
Figura 6 Representación bba. alim. módulo	14
Figura 7 Corte bba. alim. módulo	14
Figura 8 Representación filtro automáticos módulo	15
Figura 9 Corte filtro autom. módulo	15
Figura 10 Filtro autom. módulo	15
Figura 11 Representación tk. de mezcla	16
Figura 12 Tk. de mezcla	16
Figura 13 Bomba de circulación del módulo	16
Figura 14 Representación bba circulación módulo	17
Figura 15 Vista de bba circulación módulo	17
Figura 16 Circulación de calentador de placas	18
Figura 17 Representación del calentador de placas módulo	18
Figura 18 Calentador de placas módulo	18
Figura 19 Representación válvula termostática de vapor	19
Figura 20 Válvula termostática de vapor	19
Figura 21 Válvula termostática de vapor 2	19
Figura 22 Vista del viscosímetro	20
Figura 23 Representación viscosímetro	20
Figura 24 Viscosímetro	20
Figura 25 Vista interior del caudalímetro	21
Figura 26 Representación del caudalímetro	21
Figura 27 Caudalímetro	21
Figura 28 Representación de bomba acoplada combustible	22
Figura 29 Bomba acoplada	22
Figura 30 Representación filtro cuchilla	23
Figura 31 Filtros de cuchilla	23
Figura 32 Representación colector de retorno	23
Figura 33 Válvula de tres vías de retorno	24
Figura 34 Representación bba Diesel	25
Figura 35 Bba Diesel	25
Figura 36 Bba neumática de combustible	25
Figura 37 Representación bba neumática de combustible	26
Figura 38 Sensor de temperatura Pt100	27
Figura 39 Tipos de conexiones para Pt100	28
Figura 40 Sensores resistivos	29
Figura 41 Sensores capacitivos	30
Figura 42 Sensores piezoeléctricos	30
Figura 43 Representación bba circ BT	33

Figura 44 Bba circ BT	33
Figura 45 Vista bba circ BT	33
Figura 46 Sistema de aire de carga	34
Figura 47 Enfriador de aire de carga	34
Figura 48 Paso de agua de BT por el MMPP.....	34
Figura 49 Enfriadores de aceite MMPP	35
Figura 50 Representación enfriadores de aceite MMPP	35
Figura 51 Representación enfriadores de AT	35
Figura 52 Enfriadores de AT	35
Figura 53 Representación enfriador aceite estabilizadores.....	36
Figura 54 Enfriador aceite estabilizadores	36
Figura 55 Representación de chumaceras	36
Figura 56 Chumaceras	37
Figura 57 Representación enfr. reductora	37
Figura 58 Enfriador de reductora.....	37
Figura 59 Válvula termostática BT	38
Figura 60 Representación enfriadores de agua salada.....	38
Figura 61 Enfriadores de agua salada.....	38
Figura 62 Representación tk. compensación BT	39
Figura 63 Tk. compensación BT	39
Figura 64 Representación bbas circ. AT	40
Figura 65 Bbas circ AT	40
Figura 66 Entrada de agua de AT	40
Figura 67 Paso de agua de AT por el motor	40
Figura 68 Representación enfr. aceite térmico toberas	41
Figura 69 Enfr. aceite térmico toberas	41
Figura 70 Representación evaporador	42
Figura 71 Paso de agua de AT	42
Figura 72 Válvula termostática evaporador.....	42
Figura 73 Representación válvula term. AT	43
Figura 74 Válvula term. AT	43
Figura 75 Representación enfriador AT/BT	43
Figura 76 Representación bba preca.....	43
Figura 77 Vista bba precalentamiento	44
Figura 78 Bomba precalentamiento	44
Figura 79 Representación calentador preca	45
Figura 80 Calentador preca	45
Figura 81 Representación tk. comp. AT	45
Figura 82 Tk. comp. AT	45
Figura 83 Interruptor de nivel flotador.....	46
Figura 84 Interruptor de nivel conductivo	47
Figura 85 Interruptor de nivel vibratorio	47
Figura 86 Funcionamiento electroválvulas	48
Figura 87 Vista filtro magnético.....	50
Figura 88 Representación filtro magnético.....	50

Figura 89 Filtro magnético 1	51
Figura 90 Filtro magnético 2	50
Figura 91 Representación bba acoplada de aceite	51
Figura 92 Vista bba acoplada de aceite	51
Figura 93 Bba acoplada de aceite	51
Figura 94 Representación bba aceite reserva	51
Figura 95 Bba aceite reserva	52
Figura 96 Vista bba aceite reserva	52
Figura 97 Válvula reguladora de presión	52
Figura 98 Vista válvula reguladora de presión	53
Figura 99 Válvula reguladora de presión	53
Figura 100 Representación filtro automático de aceite	53
Figura 101 Filtro automático de aceite	54
Figura 102 Vista filtro automático de aceite	54
Figura 103 Representación detector de agua	55
Figura 104 Detector de agua en aceite	54
Figura 105 Repr. valv. term. aceite	55
Figura 106 Vista valv. term. aceite	55
Figura 107 valv. term. aceite	55
Figura 108 Representación enfr. aceite MMPP	56
Figura 109 Enfr. aceite MMPP	55
Figura 110 Repr. filtro cartuchos	56
Figura 111 Vista filtro cartuchos	56
Figura 112 Filtro cartuchos	56
Figura 113 Representación desaireaciones	57
Figura 114 Desaireaciones	56
Figura 115 Repr. bba acoplada aceite reductora	57
Figura 116 Vista bba acoplada reductora	57
Figura 117 Bba acoplada reductora	57
Figura 118 Repr. bba reserva reductora	58
Figura 119 Bba reserva reductora	58
Figura 120 Vista filtro aceite reductora	58
Figura 121 Repr. filtros duplex reductora	59
Figura 122 Filtros de aceite reductora	58
Figura 123 Enfriador de aceite reductora	59
Figura 124 Medidor diferencial de presión	60

Introducción

Tras llevar varios meses embarcado como alumno de máquinas en el buque Las Palmas de Gran Canaria, me faltaban ideas sobre como poder aprovechar al máximo mi aprendizaje. Observando y colaborando con los trabajos realizados por el personal de máquinas se adquiere una gran cantidad de conocimientos, pero un barco tiene tantos equipos y tantos sistemas que uno mismo investigando puede aprender una gran variedad de cosas. Uno de los aspectos necesarios para conocer bien un barco, es el conocimiento de todos los circuitos que tiene y el funcionamiento de los equipos que lo componen. Por ello, realizando el trabajo sobre los circuitos del buque LPGC siento que he aprovechado mucho más mi experiencia de prácticas, ya que no solo ha servido para conocerme mejor este barco en concreto, también me va a permitir en un futuro identificar con más facilidad estos circuitos en otros barcos.

Todo buen oficial de máquinas debe ser resolutivo frente a las posibles averías que puedan surgirle y para ello es esencial conocer bien el funcionamiento de los equipos de la sala de máquinas. Los diferentes equipos que hay sala de máquinas pueden ir unidos entre ellos mediante tuberías, formando circuitos. El conocimiento de las líneas que forman los circuitos es tan importante como conocer el funcionamiento de los equipos. Las tuberías cuentan con válvulas de cierre, *bypasses* o purgas, que para ciertas situaciones de emergencia pueden tener que utilizarse.

Los circuitos que aparecen en el trabajo han sido escogidos por criterio propio, ya que considero que son de los más relevantes que se pueden encontrar en la sala de máquinas. Estos circuitos son el de combustible de los motores principales y auxiliares, el de agua de refrigeración de los motores principales y el de aceite lubricante de motores principales. Otros circuitos, como el de aire comprimido o el de vapor, también muy importantes en la cámara de máquinas, no han sido considerados en este estudio.

El barco LPGC es del 1993, tiene 29 años, por lo que los planos y esquemas de circuitos originales se encuentran en un mal estado. Se ha revisado el contenido de los planos para hallar posibles desactualizaciones. Los tres circuitos que se han estudiado se han pasado a formato digital, utilizando el programa AutoCAD. La revisión y digitalización de los planos ha requerido de mucho tiempo y ha sido de gran provecho para muchos aspectos como la capacidad de interpretación de circuitos y esquemas, el aprender a usar de manera simple el programa AutoCAD y también para proporcionarle al buque unos planos en mejor estado de cara al futuro.

Los capítulos están planteados para ir viendo el circuito secuencialmente, desde un punto de partida hasta un punto final. Mientras se va avanzando por el circuito se va explicando el funcionamiento de todos los equipos de forma detallada, con información técnica obtenida de los manuales archivados en el barco. Todos los elementos van acompañados de fotografías para que sea más sencillo interpretar el funcionamiento de los equipos.

En cada uno de los capítulos se ha dedicado un apartado a los equipos de monitorización y sensores con que cuentan los circuitos. Pese a tratarse de un barco de muchos años cuenta con sistemas de medición y control que se utilizan también en los barcos de hoy en día o en instalaciones industriales en tierra.

Circuito de combustible

Presentación del circuito de combustible

De todos los fluidos que intervienen en el funcionamiento de un motor, el combustible es el que constituye un circuito más grande y complejo. No sería adecuado decir que el combustible es el elemento más importante en un motor, ya que tanto el agua de refrigeración o los aceites son imprescindibles, pero sí que es el fluido que requiere de una mayor instalación para que siempre esté en condiciones óptimas.

El uso de los combustibles en el mundo marino ha generado un debate medioambiental que está cogiendo importancia durante las últimas décadas y está derivando en medidas restrictivas respecto a las características de los combustibles. El Anexo VI del convenio MARPOL, es el que rige la faceta de la contaminación atmosférica. Los combustibles pesados que se empleaban antiguamente contenían grandes cantidades de azufre que eran muy dañinos para la salud humana y suponían un contaminante atmosférico muy perjudicial, por ello cada vez los combustibles empleados requieren de una mayor pureza. Las restricciones son mayores en las zonas costeras y en las zonas ECA (Emission Control Area).

Una de las soluciones propuestas por los armadores para adaptarse a las nuevas restricciones es el uso de más de un combustible. Un combustible pesado para las zonas menos restrictivas y un combustible ligero como Diesel-Oil o LNG para las zonas con más restricciones. El hecho de tener dos o más combustibles implica que los buques cuenten con una instalación para el tratamiento de combustible más complejo, ya que cada combustible cuenta con diferentes propiedades. Los combustibles pesados como el Fuel Oil a temperatura ambiente son muy viscosos, casi sólidos, por lo que requieren de un calentamiento para poder ser bombeados por las instalaciones y para que la combustión dentro del motor sea buena. Además, este tipo de combustibles suelen traer grandes cantidades de lodos o agua y es necesario un proceso de depuración y filtrado previo a su uso. Los combustibles como el Diesel, sin embargo, no requieren de ningún tratamiento más que un filtrado.

El proceso de tratamiento y bombeo de combustible forma un circuito que suele ser parecido en la mayoría de los buques de grandes dimensiones:

- Aspiración del combustible de un tanque
- Tratamiento en un módulo de combustible
- Paso por el motor
- Retorno del combustible sobrante

Podemos indagar cómo se dan cada una de las 4 etapas en el buque Las Palmas de Gran Canaria para conocer mejor el funcionamiento del sistema.

Tanques de combustible

Todos los buques cuentan con varios tanques para el almacenaje de combustible, cada uno de ellos o varios de ellos con propósitos diferentes. En el caso del buque LPDGC, encontramos 8

tanques para el almacenaje de Fuel Oil, que se dividen en 4 tanques almacén, 2 tanques de sedimentación y 2 tanques de servicio diario.

Los tanques almacén suponen el primer paso del combustible por los tanques. En estos tanques se almacena el combustible suministrado durante el *bunkering* y empieza a decantarse el combustible de los posibles lodos o agua que contenga.

Tras pasar por los tanques almacén, el combustible se trasiega mediante bombas a los tanques de sedimentación. En estos tanques el combustible sigue decantándose de forma natural por diferencia de densidades. Para trasegar el combustible desde los tanques de sedimentación hasta los tanques de servicio diario, que supondrían la última parada, se emplean depuradoras de combustible. Las depuradoras aspiran combustible del tanque de sedimentación y mediante un proceso de centrifugado consiguen retirar el agua y los lodos restantes, basándose en un principio de diferencia de densidades. A la salida de la depuradora, el combustible depurado se dirige al tanque de servicio diario.

En el tanque de servicio diario se almacena el combustible ya depurado, listo para entrar en el módulo de combustible. En el tanque de servicio diario se suele empezar a elevar la temperatura del combustible a un valor cercano al definitivo, para que el calentador del módulo de combustible no tenga que realizar un gran salto de temperatura. El calentamiento se produce mediante un serpentín de vapor situado dentro del tanque.

El buque LPDGC también cuenta con dos tanques para almacenar Diesel. Un tanque tiene la función de almacén y el otro es el de servicio diario. El buque no cuenta con depuradoras para Diesel.

Módulo de tratamiento de combustible

El módulo de combustible es el conjunto de equipos que se encargan de que el combustible que se esté empleando tenga las propiedades idóneas antes de entrar al motor. El módulo está capacitado para poder tratar tanto Fuel Oil, concretamente se emplea IFO 380 0,5%, como Diesel Oil.

El parámetro que se emplea para controlar el estado del fuel es la viscosidad. A temperatura ambiente el fuel es demasiado viscoso y no puede ser bombeado. El valor de viscosidad que se trata de obtener en el módulo es de 12.3 cSt, para ello se emplea un calentador que trabaja con vapor. El Diesel no necesita calentarse, ya que a temperatura ambiente su viscosidad es correcta.

El módulo cuenta con bombas que se encargan de que el combustible atraviese todo el conjunto de tuberías y otros elementos a una presión adecuada. En total hay 4 bombas en el módulo, dos de alimentación que mantienen la presión la primera parte del módulo, y dos de circulación, que bombean el combustible desde el tramo final del módulo, hasta la entrada al motor.

El módulo de combustible cuenta con diversos elementos filtrantes. Un total de cuatro filtros, uno en la aspiración de cada una de las bombas y además un filtro de disparo automático, como uno de los elementos principales del módulo.

Otro de los elementos principales del módulo es el tanque de mezcla, dónde se juntan el combustible que retorna de los motores, con el combustible aspirado del tanque de servicio diario.

El viscosímetro es el último elemento esencial del módulo es, para controlar la viscosidad del combustible que está saliendo. Para regular la viscosidad, el viscosímetro regula la cantidad de vapor que entra en el calentador mediante una válvula termostática.

Paso del combustible por el motor

Una vez que sale del módulo, el combustible recorre las tuberías hasta la entrada al motor. Un poco antes de entrar al motor, el combustible pasa por uno caudalímetro de paletas, el cual se utiliza para saber la cantidad de combustible que está entrando. A la salida del motor hay otro caudalímetro que mide el flujo de retorno. Conociendo la entrada y el retorno se puede calcular cuál es la cantidad de combustible que se está consumiendo.

Una vez ya en el motor, el combustible pasa por una bomba acoplada, la cual gira junto con el motor. La bomba acoplada o de baja presión se encarga de que el combustible llegue a la presión adecuada a las bombas de inyección. Por último, tras la bomba, el combustible pasa por unos filtros, denominados de cuchillas.

Retorno de combustible

El combustible que entra en el motor puede ser consumido o puede retornar a un punto anterior. La necesidad de tener una línea de retorno se debe a que el combustible debe estar circulando por el motor constantemente, incluso con el motor parado. Al estar siempre circulando combustible por las tuberías de alimentación de las bombas de inyección, se evita que estas se puedan descebar y además se evita que el fuel se quede estancado y frío en las tuberías, lo que supondría un problema muy grave. Además, la línea de retorno se utiliza para aliviar posibles sobrepresiones que se den en la alimentación de las bombas de inyección.

Al ser motores en V, del motor sale una línea de retorno por cada costado, que se unen antes de pasar por el caudalímetro de salida. A la salida del caudalímetro, el retorno de cada motor principal se une a la línea de retorno de los motores auxiliares de su costado. La línea de retorno llega a una válvula de tres vías en "L" donde se puede escoger el punto donde va a retornar el combustible, que o bien puede ser el tanque de mezcla o bien el tanque de servicio diario de fuel. El retorno suele estar direccionado hacia el tanque de mezcla, de este modo se consigue aumentar la temperatura del combustible antes de entrar al calentador, por lo que no es necesario tanto consumo de vapor.

Además de la línea de retorno principal que se dirige al módulo de combustible, también es posible retornar el combustible mediante una válvula de tres vías al tanque de Diesel.

Seguimiento del circuito y descripción de sus componentes

El circuito de combustible consta de una gran variedad de elementos, la mayoría de ellos esenciales, y además también contiene equipos auxiliares que pueden ser de gran importancia. A continuación, se realizará una explicación del recorrido del combustible por todos sus elementos para conocer en detalle el circuito. El punto de inicio serán los tanques, y secuencialmente se verán todos los elementos hasta finalizar en el retorno al tanque de mezcla.

1. Tanques de servicio diario

El punto de partida del circuito se encuentra en los tanques de servicio diario, de los cuales hay dos de fuel y uno de Diesel. Cuando el buque se encuentra en navegación se consume de solo uno de los dos tanques de fuel, para no tener que calentar los dos tanques con vapor. Cuando el buque está en maniobra o parado en puerto, el combustible que se consume es Diesel, procedente del tanque DO1B.

Cada uno de los tanques cuenta con su válvula de aspiración y con sus válvulas de retorno. Además, los tanques de fuel tienen una válvula para purgar y un serpentín de vapor. En el plano no vienen representadas las líneas para el trasiego de combustible.

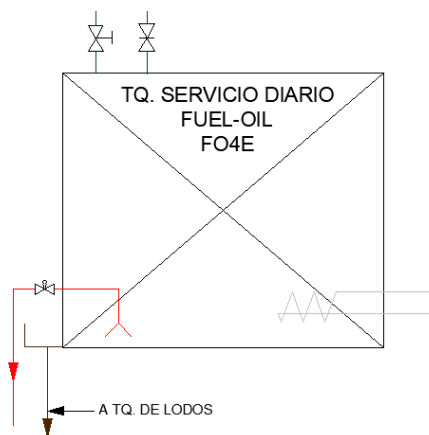


Figura 2 Representación tanques S/D de F.O

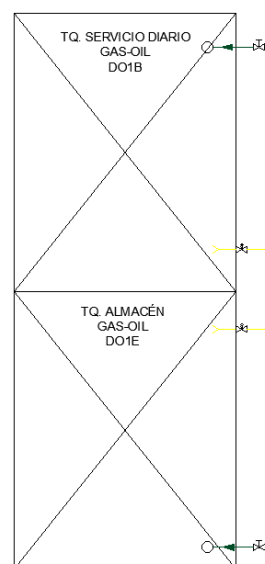


Figura 1 Representación tanques D.O

2. Válvula de tres vías

A la entrada del módulo encontramos una válvula de macho de tres vías en "L", que nos permite seleccionar el combustible que se va a consumir. La llegada del combustible a la válvula es por gravedad, ya que los tanques de servicio diario se encuentran en una cubierta superior.

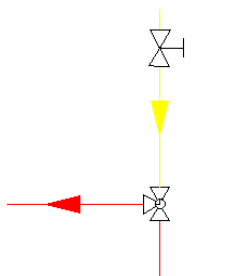


Figura 4 Representación válvula 3 vías



Figura 3 Válvula 3 vías

3. Bombas de alimentación

En el inicio del módulo encontramos las dos bombas de alimentación, situadas en paralelo, y con otra línea de retorno en paralelo para aliviar sobrepresiones. Las dos bombas cuentan con un filtro de aspiración para proteger de posibles partículas que se encuentren en el circuito.

Esta bomba es del tipo de husillos, el cual es muy utilizado para el bombeo de combustibles pesados o aceites lubricantes. El cuerpo de la bomba cuenta con tres husillos encajados entre ellos, que mediante un movimiento rotativo producen el efecto de aspiración y descarga.

La bomba está preparada para trabajar a temperaturas de hasta 150 °C, y a presiones máximas de 10 bar en la aspiración y 40 bar en la descarga. En caso de superarse la presión de descarga, la bomba cuenta con una válvula de seguridad.

El movimiento rotativo se consigue con un motor eléctrico, unido al cuerpo de la bomba mediante un acople. El motor empleado es de inducción trifásico, alimentado a 380 V y corriente alterna.



Figura 5 Bba de alimentación módulo comb.

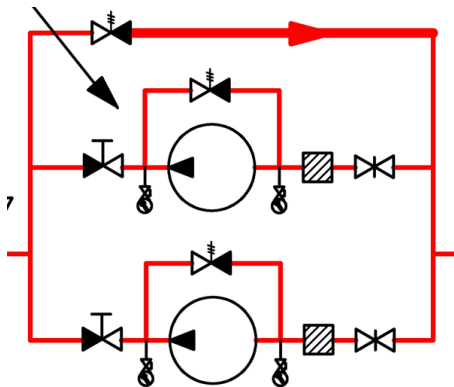


Figura 6 Representación bba. alim. módulo

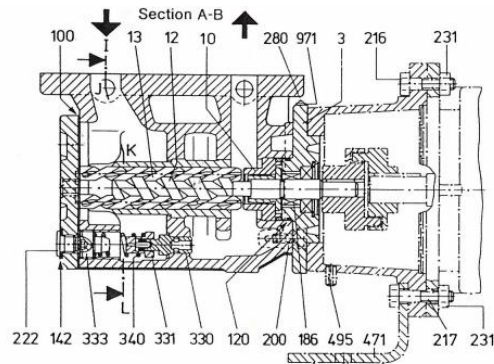


Figura 7 Corte bba. alim. módulo

4. Filtro automático

Tras las bombas de circulación encontramos los filtros automáticos. Los filtros automáticos de combustible se caracterizan por tener un medidor diferencial de presión entre la salida y la entrada del filtro, que cuando detecta una excesiva diferencia de presiones produce un disparo. El disparo es un proceso de lavado automático del filtro, en el cual se desaloja toda la suciedad retenida en los discos filtrantes hacia el tanque de lodos de combustible.

El principio de funcionamiento del filtro se basa en aprovechar la diferencia de presiones entre el interior del filtro y la presión exterior (la presión atmosférica). Cuando se produce el disparo

se abre una escotilla en la parte inferior del filtro, y al encontrarse el interior del filtro con una sobrepresión, toda la suciedad acumulada en los discos escapa hacia el exterior. La apertura y el cierre producidos durante el disparo son provocados por un pistón accionado neumáticamente. Además, este pistón cuenta con un elemento limpiador que ayuda a la evacuación de los lodos. El proceso de lavado es coordinado mediante una electroválvula que dirige el paso del aire hacia un lado u otro de la cabeza del pistón.

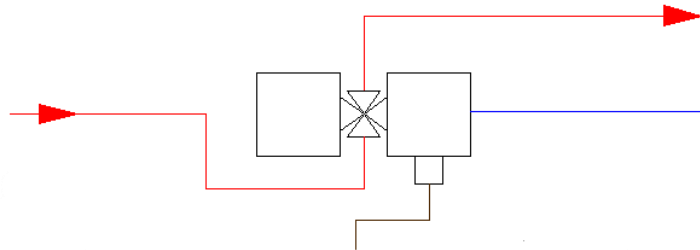


Figura 8 Representación filtro automáticos módulo

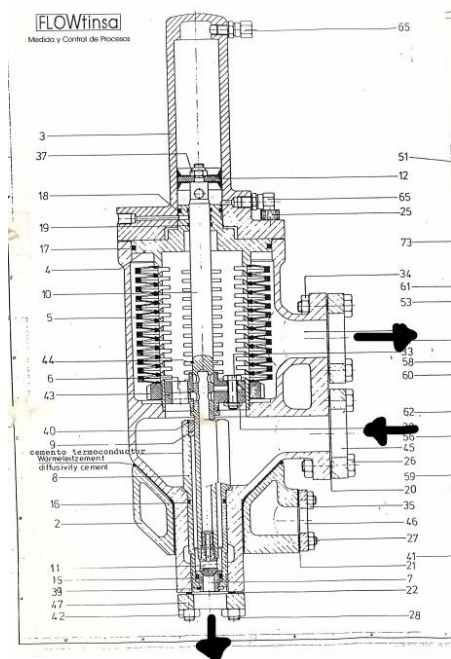


Figura 9 Corte filtro autom. módulo

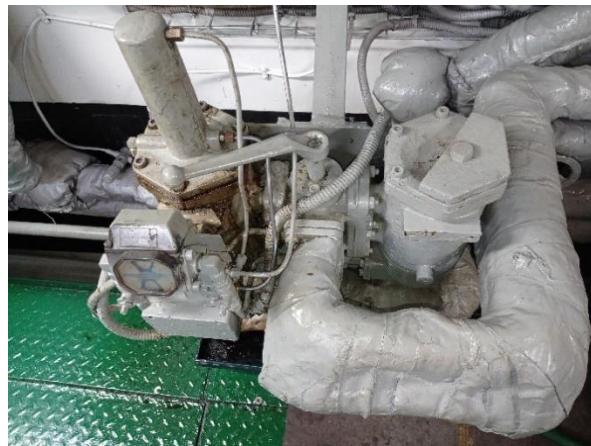


Figura 10 Filtro autom. módulo

5. Tanque de mezcla

El tanque de mezcla almacena el combustible que retorna de los motores de principales y auxiliares. Retornando el combustible hasta el módulo se consigue vaciar el circuito de fuel cuando se da el cambio de combustible a Diesel. Cuando el fuel se enfría su densidad aumenta considerablemente, volviéndose una pasta que puede llegar a obstruir tuberías, por ello es importante eliminarlo del circuito cuando se pasa a consumir Diesel. Cuando el cambio de combustible se realiza para pasar consumir fuel, el retorno del Diesel que queda en el circuito

permite que el calentamiento del fuel sea progresivo, ya que a el Diesel reduce la viscosidad de la mezcla de combustibles.

En el tanque de mezcla se almacena el combustible procedente del filtro automático a una presión controlada. Si esta es superada se desaloja el combustible sobrante al tanque de servicio diario de fuel. Esta capacidad de mantener la presión a un nivel constante facilita la aspiración de la bomba de circulación y por consiguiente el desarrollo correcto del circuito de combustible.

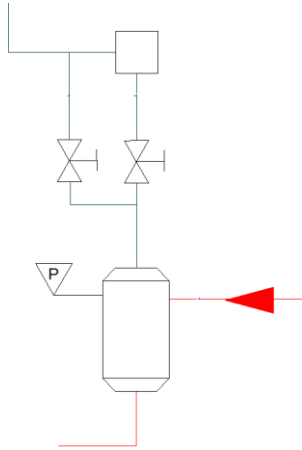


Figura 11 Representación tk. de mezcla



Figura 12 Tk. de mezcla

6. Bombas de circulación

Las bombas de circulación del módulo aspiran del tanque de mezcla y descargan hacia el calentador. Estas son las bombas encargadas de proporcionarle al combustible la presión adecuada en su llegada al motor.

La bomba está preparada para trabajar con fluidos a una temperatura máxima de 150° C. La presión máxima de trabajo de la bomba es de 10 bar.

Del mismo modo que la bomba de alimentación, está diseñada para el bombeo de aceites, combustibles y productos químicos. Es una bomba de husillos, que cuenta con un husillo principal que hace de guía y otros dos husillos suplementarios encajados en el principal. El cuerpo de la bomba emplea un sello mecánico para mantener la estanqueidad. En el cuerpo de la bomba también se encuentra un mecanismo de seguridad para aliviar sobrepresiones.



Figura 13 Bomba de circulación del módulo

El motor eléctrico se une al cuerpo de la bomba mediante un acople enchavetado en los respectivos ejes. Estas son las características del motor eléctrico:

Tipo	Inducción trifásico AC
Voltaje	415 V

Frecuencia	50 Hz
Conexionado	Estrella
Potencia	1,3 kW
Factor de potencia	0,85
Revoluciones	1800 rpm
Consumo	2,8 A

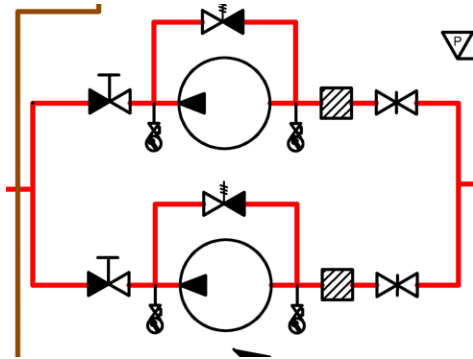


Figura 14 Representación bba circulación módulo

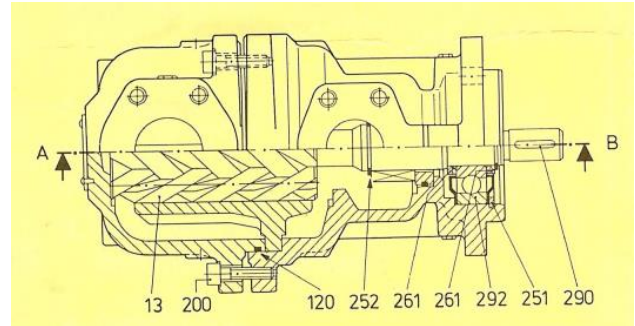


Figura 15 Vista de bba circulación módulo

7. Calentador

El módulo cuenta con un calentador de placas, encargado de suministrarle al combustible la temperatura necesaria para su consumo. El calentador emplea vapor, aunque también podría utilizarse con agua o aceites térmicos.

El principio de su funcionamiento se basa en un conjunto de placas corrugadas montadas una frente a otra, formando canales por los cuales pasan el combustible o el vapor en sentidos opuestos. Todas las placas son iguales y según la posición de la junta de nitrilo que se encuentra entre las placas se permite el paso de un fluido u otro. Este sistema de calentamiento es muy eficiente debido a la gran superficie de intercambio de calor que se consigue.

El modelo del calentador empleado es el HEATPAC CBM, capaz de trabajar con fluidos de hasta 225 °C de temperatura y a una presión máxima de 16 bar.

El vapor entra por la parte superior, ya que al enfriarse es condensado y puede desalojarse fácilmente por abajo. El combustible entra por la parte inferior, ya que al calentarse su densidad disminuirá y tenderá a ir hacia arriba.

El módulo cuenta con dos calentadores, pero únicamente uno se encuentra en servicio. Mediante una válvula de tres vías se selecciona el calentador que va a estar trabajando.

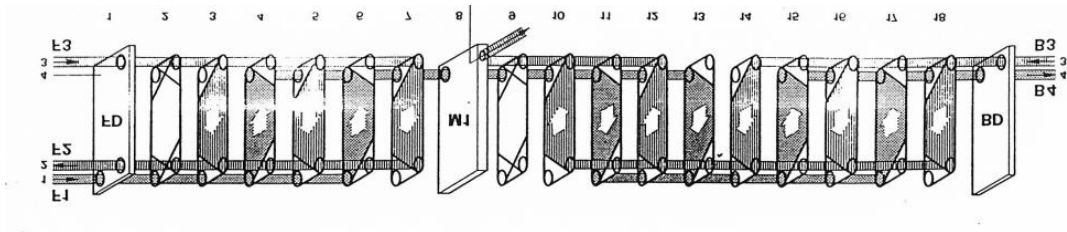


Figura 16 Circulación de calentador de placas

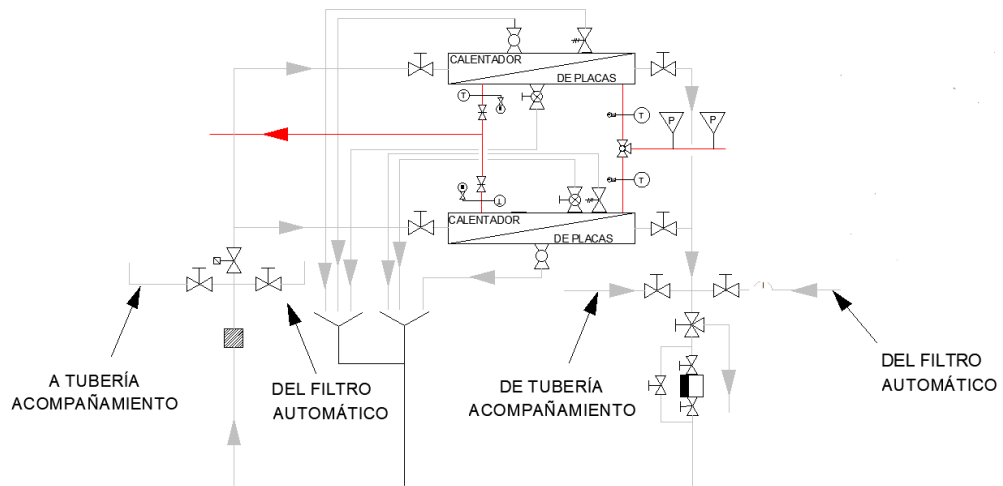


Figura 17 Representación del calentador de placas del módulo



Figura 18 Calentador de placas del módulo

8. Válvula termostática de vapor

El paso de vapor que entra en el calentador de placas viene regulado por una válvula termostática. Esta válvula según la viscosidad del combustible, abre más o menos el paso del vapor.

La válvula abre o cierra el paso del vapor por el desplazamiento de un émbolo verticalmente. El movimiento es proporcionado por un motor eléctrico situado en la cabeza de la válvula. Además del mando motorizado, la válvula cuenta con una manivela que permite mover el eje en ambas direcciones.

La válvula cuenta con un sistema de leds para visualizar cuando la válvula se encuentra en proceso de apertura y cuando en cierre.

El motor trabaja a 24 V con corriente alterna, a una frecuencia de 50 Hz y tiene una potencia de 20 VA. Además del cable de alimentación y los dos cables que mandan la señal de apertura y cierre, la válvula cuenta con un cable que va a un solenoide que mantiene la válvula fija en su posición. Un potenciómetro es el encargado de determinar el punto en el que se encuentra la válvula.

La temperatura máxima de trabajo es de 240 °C a una presión de 20 bar.

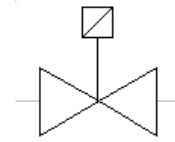


Figura 19 Representación válvula termostática de vapor

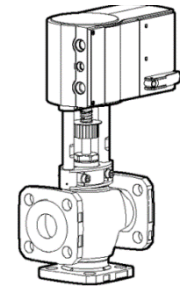


Figura 20 Válvula termostática de vapor



Figura 21 Válvula termostática de vapor 2

9. Viscosímetro

Para un buen funcionamiento del motor es importante que la viscosidad del combustible se mantenga siempre entre los parámetros ofrecido por el fabricante. En el caso del buque LPGC el fuel debe consumirse a una viscosidad de 12 Cst, que suelen alcanzarse a una temperatura de unos 135º C. El viscosímetro únicamente se emplea cuando se consume fuel, ya que el Diesel a temperatura ambiente tiene una viscosidad adecuada.

El viscosímetro de la marca Viscotherm es un instrumento de medición por capilaridad que mide la viscosidad dinámica newtoniana de los fluidos. El sensor consta de una galería, la cual contiene en su interior el tubo capilar de medición unido a una bomba. Un motor eléctrico con unos engranajes reductores mantiene a la bomba bombeando un flujo continuo por el tubo capilar. El flujo laminar que atraviesa el capilar de medición genera una presión diferencial, que es proporcional a la viscosidad dinámica del fuel.

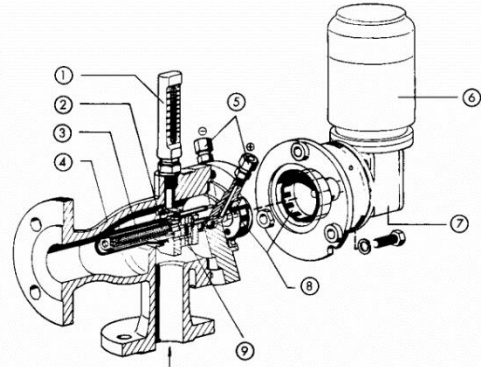


Figura 22 Vista del viscosímetro

El conjunto que forma el elemento capilar de medición consta de un capilar de medición alojado en una vaina de acero inoxidable y de un capilar de amortiguación de acero para compensar las variaciones de presión de fuel en la línea. El viscosímetro cuenta con dos racores, para realizar las conexiones al transmisor del diferencial de presión. Los otros extremos del racor van uno a la entrada y el otro a la salida del tubo capilar. El transmisor electrónico del diferencial de presión convierte la presión diferencial en una señal de 4 a 20 mA.

La precisión del viscosímetro es superior al 98%. Está preparado para trabajar con fluidos de hasta 200° C, a un flujo máximo de 35 m³/h y a una presión diferencial máxima de 62 kPa.

El motor es de inducción trifásico y se encuentra conectado en estrella. La tensión de alimentación es de 220 V y la frecuencia de 50 Hz. El motor también cuenta con un sensor de temperatura alimentado a 24 V.

El transmisor diferencial de presión está alimentado a una tensión de 24 V.

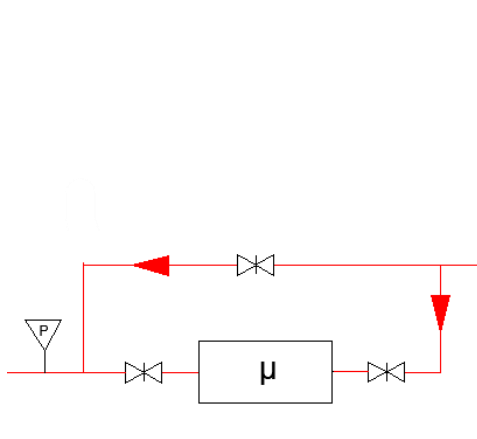


Figura 23 Representación viscosímetro



Figura 24 Viscosímetro

10. Caudalímetro

El medidor de caudal es del tipo de paletas, funciona por el sistema de desplazamiento positivo y contiene una cámara de medida de gran precisión. Dentro de la cámara de medición hay un rotor con dos pares de paletas, colocadas en perpendicular y guiadas por las paredes de la carcasa. Las paletas opuestas y a 90º se deslizan por círculos concéntricos, que están unidos por medio de una sinusoide diseñada de tal forma que las cuatro paletas pueden deslizarse libremente.

El diseño del contenido volumétrico de la cámara de medida emplea el principio de desplazamiento positivo, que determina el volumen de líquido desplazado entre dos paletas sucesivas. Por cada vuelta completa del rotor, pasará por el contador el contenido de cuatro veces la cámara de medición.

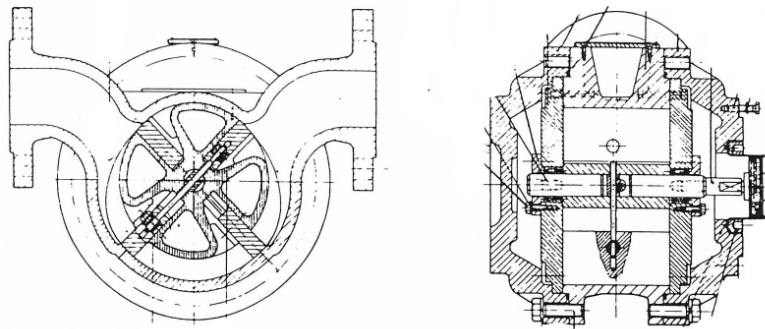


Figura 25 Vista interior del caudalímetro

La capacidad de la cámara de medida varía linealmente con el ángulo rotación de las paletas. Esto permite que la separación variable entre paletas avance linealmente con el relleno de la cámara de medida. El volumen de líquido entrado en la cámara de medida en el giro del rotor cambia linealmente con el ángulo de rotación.

Para tener una conexión libre de pérdidas entre el rotor y los mecanismos externos del contador se utiliza un acoplamiento magnético.

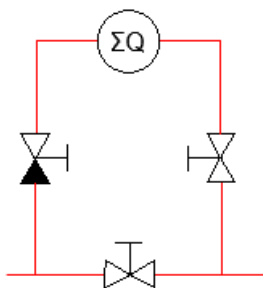


Figura 26 Representación del caudalímetro



Figura 27 Caudalímetro

11. Bomba acoplada

La bomba acoplada se encarga de suministrar el combustible a la presión necesaria antes de entrar en las bombas de alta presión. Mediante un conjunto de engranajes gira junto al motor. Cuenta con una válvula de seguridad en paralelo para poder aliviar sobrepresiones que se puedan formar.

La bomba es del tipo de engranajes. Cuenta con un engranaje maestro que recibe el movimiento y otro que gira contiguo. El engranaje maestro va unido al eje de giro proveniente del motor por un acople. Para mantener la estanqueidad entre la bomba y el interior del motor se emplea un sello mecánico.

La presión de descarga de la bomba es de 6,5 bar.

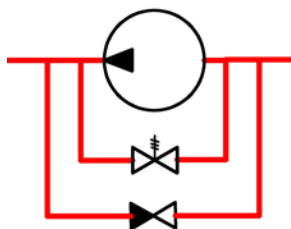


Figura 28 Representación de bomba acoplada combustible



Figura 29 Bomba acoplada

12. Filtros de cuchilla

Los filtros de cuchilla son el último elemento del circuito antes de que el combustible entre en las bombas de inyección. Tienen un grado de filtrado muy fino, para evitar la entrada de posibles sólidos en la parte de inyección del circuito, ya que la entrada de suciedad en las bombas de inyección o en los inyectores podría causar un funcionamiento defectuoso.

Los filtros cuentan con una maneta en la parte superior, que permite darle vueltas al filtro en el interior de la carcasa. Al darle vueltas al filtro, los discos filtrantes giran contra una cuchilla que retira la suciedad acumulada en la superficie de aspiración.

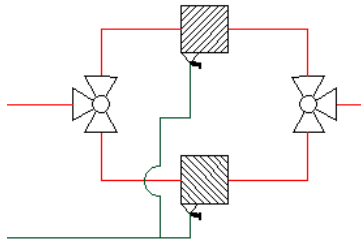


Figura 30 Representación filtro cuchilla



Figura 31 Filtros de cuchilla

13. Colector de retorno

Cada una de las bombas de inyección tiene una línea de retorno, que se une en un colector común que sale del motor. Además, el colector de aspiración de las bombas cuenta con una válvula reguladora de presión, para mantener siempre la presión constante y cuando hay un incremento de presión desaloja la cantidad de combustible necesaria hacia el retorno.

A la salida del motor, el combustible atraviesa de nuevo por un contador de paletas, para poder establecer un valor de la cantidad de combustible que se está consumiendo. Tras el contador llega a una válvula de bola de tres vías en "L" que permite seleccionar el punto al que va a retornar el combustible. En el caso del buque LPGC el combustible siempre retorna hacia el módulo de combustible y no hacia los tanques de Diesel, independientemente del combustible que se esté consumiendo.

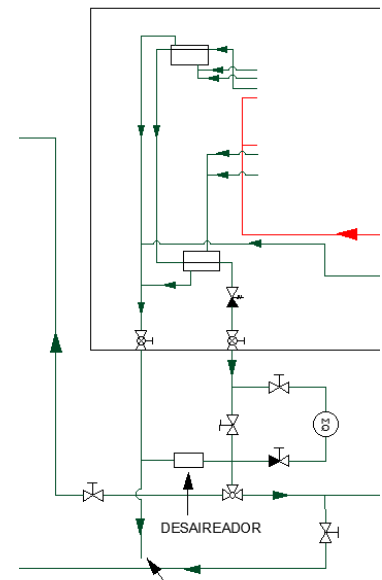


Figura 32 Representación colector de retorno

14. Válvula de tres vías de retorno "Puro"

El punto final del circuito estándar de combustible se ubica en la válvula de tres vías en "L" conocida como "puro", que dirige el combustible al tanque de mezcla o al tanque de servicio diario. En el caso del buque LPGC el combustible retorna por completo al tanque de mezcla. Esta válvula de tres vías permite desalojar bolsas de aire contenidas en el circuito o en el tanque de mezcla, ya que el tanque de servicio diario está a presión atmosférica y cuenta con desaireaciones.



Figura 33 Válvula de tres vías de retorno

Elementos auxiliares

1. Bomba de alimentación de Diesel

Para las situaciones en que los módulos no puedan estar en servicio, existe una bomba de alimentación de Diesel, que aspira directamente del tanque de servicio diario de Diesel y descarga, en el caso de los motores principales, en una válvula de tres vías a la entrada del caudalímetro y en el caso de los motores auxiliares en una válvula de tres vías antes de la entrada al motor por la expansión.

Se trata de una bomba de husillos del mismo modelo que la bomba de circulación del módulo.

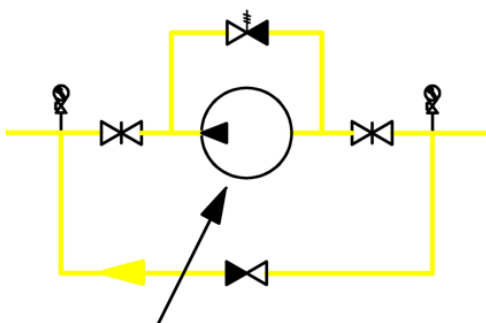


Figura 34 Representación bba Diesel



Figura 35 Bba Diesel

2. Bomba neumática de puesta en marcha de MM.AA

Cuando hay caídas de planta, todos los elementos alimentados eléctricamente quedan inutilizados. Una vez que se pone en marcha el motor de emergencia se pueden empezar a rearmar los elementos esenciales para poder poner en marcha los motores auxiliares. Entre los equipos que son alimentados por el motor de emergencia encontramos las bombas número 2 de alimentación y circulación de cada módulo. En caso de que no se pudiese poner en marcha con los equipos alimentados por el motor de emergencia, el circuito de combustible cuenta con una bomba accionada neumáticamente.



Figura 36 Bba neumática de combustible

La bomba de puesta en marcha neumática para MM.AA emplea aire comprimido para su funcionamiento. La bomba es de desplazamiento positivo de simple

efecto y utiliza un pistón como elemento de impulsión. El aire comprimido es controlado por un distribuidor y una electroválvula de 220 V. Actualmente la bomba se encuentra fuera de servicio.

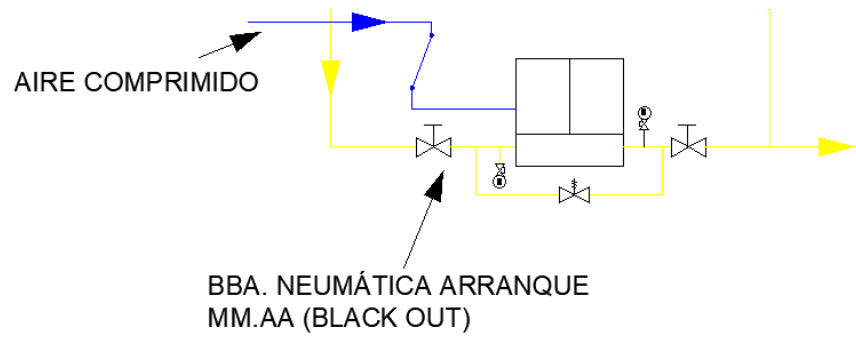


Figura 37 Representación bba neumática de combustible

Elementos de medición

Del circuito de combustible podemos destacar, de entre varios sistemas de medición, los siguientes:

Sensores de temperatura Pt100

Los sensores de contacto Pt100 forman parte del grupo de sensores de temperatura de resistencia (RTD). Los sensores RTD utilizan la variación en la resistencia de un metal en función de la temperatura. Los sensores RTD emplean distintos metales según el rango de medición:

- Platino: -200 °C a 600 °C
- Cobre: -190 °C a 150 °C
- Níquel: -60 °C a 180 °C
- Wolframio: -100 °C a 1400 °C

El metal más utilizado es el platino, ya que ofrece un rango de mediciones versátil. Estos sensores se conocen como sensores de temperatura de resistencia de platino y el más común es el Pt100. Estos sensores tienen una resistencia de 100 ohmios a 0° C.

El incremento de temperatura de la Pt100 no es lineal, pero sí creciente y característico del platino, de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde. Generalmente, los sensores Pt100 industriales vienen encapsulados dentro de tubos de acero inoxidable, conocidos comúnmente como vainas.

Dependiendo del proceso de construcción, la parte bobinada de las Pt100 en forma de hilo o cinta de platino va o bien encapsulada en un cuerpo cerámico o de vidrio, o bien como una fina capa sobre una placa cerámica. Los terminales del elemento de medida están unidos a la parte resistiva activa de forma que resistan las vibraciones.



Figura 38 Sensor de temperatura Pt100

Los sensores Pt100 presentan diversas ventajas frente a otros sensores de temperatura, como la capacidad de medición a muy bajas temperaturas o la precisión de una décima de grado que ofrecen. Además, los sensores Pt100 no suelen empezar a fallar de manera gradual, entregando poco a poco mediadas erróneas, sino que el dispositivo medidor detecta inmediatamente fallo del sensor y da aviso.

Según el conexionado podemos distinguir Pt100 de tres tipos:

- Pt100 de 2 hilos: es el método de conexionado más sencillo pero el menos recomendable. Emplea únicamente dos cables y solo se recomienda para mediciones

que se encuentren como máximo a 10 m del regulador de temperatura, ya que de ahí en adelante puede tener pérdidas de señal.

- Pt100 de 3 hilos: es el método de conexión más empleado, ya que no presenta problemas de caídas de tensión por la longitud de los cables. El único requisito que presenta es que los cables deben tener la misma resistencia eléctrica, pues el sistema de medición se basa casi siempre en el puente de Wheatstone.
- Pt100 de 4 hilos: Es el modo de conexión que ofrece una mayor precisión y suele usarse para trabajos de laboratorio.

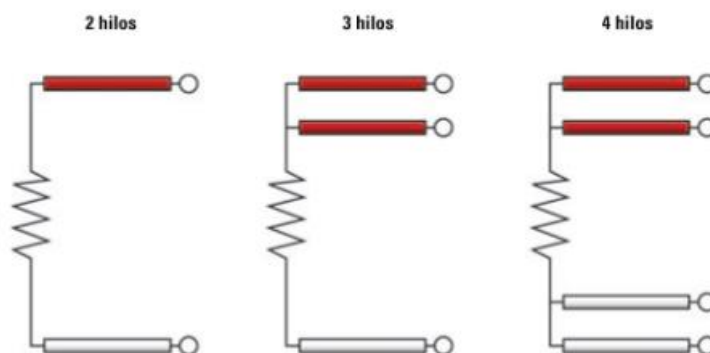


Figura 39 Tipos de conexiones para Pt100

Transmisores de presión

En el sector marítimo es necesaria la monitorización y control de diferentes instalaciones, con la garantía de que las mediciones que se obtienen son precisas, incluso en condiciones ambientales adversas. Para ello se emplean transmisores de presión de alta precisión. Otras denominaciones como transductores de presión también son aceptadas, pero hay que tener en cuenta que algunos fabricantes denominan transductores de presión a los equipos que envían señales en voltios y no en mAmp.

El rango eléctrico más frecuente en estos sensores es de 4 a 20 mAmp, empleando cables de dos hilos. Los equipos que trabajan con señales en voltios utilizan rangos de 1-5 V o de 0-10 V con tres hilos.

El equipo de medición tiene que ser capaz de convertir un valor de presión en un valor eléctrico que permita ser usado por los equipos de control. Para ello, los fabricantes han desarrollado diferentes tipos de sensores:

- Sensores resistivos: estos sensores se basan en la medida de la variación de una resistencia inducida por la deformación sufrida en función de la presión. La resistencia de un conductor eléctrico se define por:

$$R = \rho \times \frac{l}{A}$$

Donde:

R= resistencia eléctrica

P= resistencia específica
l= longitud
A= superficie de sección

Para ello se utiliza una membrana que se deforma de manera controlada en función de la presión. Esta membrana incorpora unos conductores eléctricos que se deforman junto con la membrana, generando un aumento o reducción de la resistencia, cuyo valor es medido usando un puente de Wheastone.

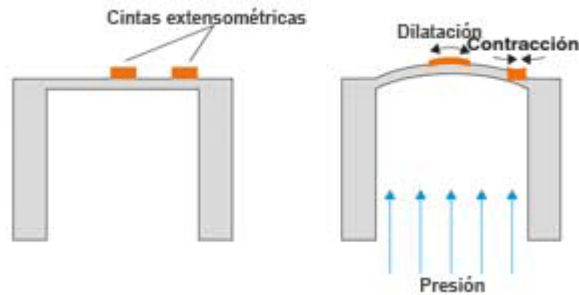


Figura 40 Sensores resistivos

- Sensores piezoresistivos: Su funcionamiento es similar al de los sensores resistivos. Se diferencian en que emplean semiconductores como conductores en vez de metal y la deformación provoca en este caso una variación de la resistencia específica. Según la ecuación anterior, la resistencia eléctrica varía proporcionalmente con la resistencia específica.
- Sensores capacitivos: Su principio de funcionamiento está basado en la medición de la capacidad de un condensador que varía en función de la aproximación de la superficie activa. La capacidad de un condensador se expresa como:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Dónde:

C = capacidad del condensador

ϵ = constante dieléctrica

A = área efectiva de las placas

d = distancia entre las placas

Se utiliza una membrana con dos placas metálicas que constituyen el condensador. La deformación de la membrana, inducida por la presión, reduce la distancia entre las dos placas, produciendo un aumento de la capacidad y manteniendo igual la superficie y la constante dieléctrica.

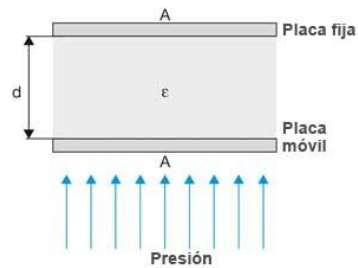


Figura 41 Sensores capacitivos

- Sensores piezoeléctricos: Este tipo de dispositivos se basan en un fenómeno físico que sucede en unos pocos cristales no conductivos como el cuarzo. Cuando se comprime el cuarzo se produce una polarización eléctrica en superficies opuestas. La deslocalización de la estructura cristalina con carga eléctrica genera un momento dipolar que se refleja en una carga de superficies. La intensidad de la carga es proporcional a la fuerza empleada por la presión y la polaridad depende de la dirección. La tensión eléctrica generada por la carga de la superficie puede captarse y amplificarse.

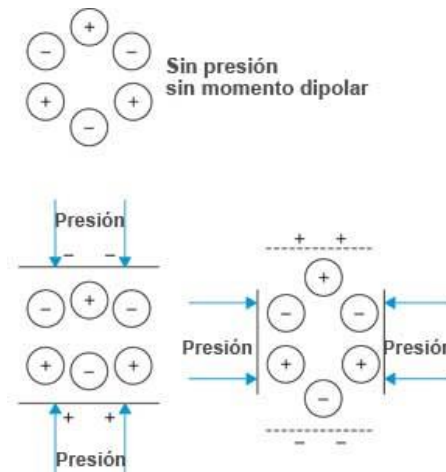


Figura 42 Sensores piezoeléctricos

Los transmisores de presión pueden tener diferentes formas y tamaños según la aplicación para la que sean requeridos.

Circuito de agua de refrigeración

Presentación del circuito de agua de refrigeración

Debido a los grandes esfuerzos mecánicos que se producen en los motores y otros equipos dentro de una sala de máquinas, se genera mucho calor en ciertos elementos. Para que el calor producido se mantenga dentro de unos márgenes de trabajo adecuados se emplean sistemas de refrigeración. Los sistemas de refrigeración que emplean los motores marinos de grandes dimensiones emplean el agua como fluido refrigerante principal.

El agua es un fluido de fácil abastecimiento en los buques, ya que la mayoría de grandes embarcaciones cuentan con generadores de agua dulce. El principio de funcionamiento de los generadores de agua dulce se basa en la evaporación del agua de mar, para luego ser condensada. El agua producida para el uso de refrigeración es conocida como agua técnica y es poco corrosiva con los circuitos de tuberías al ser libre de cloros. Semanalmente, se realizan análisis de los diferentes circuitos de agua técnica que hay en el buque, en los que se miden los niveles de cloros, nitritos y el pH.

El agua técnica producida tiene diferentes destinos y funciones. Puede ser empleada para la refrigeración de motores y otros elementos, o también puede ser empleada como fluido de maniobra en otros equipos como las depuradoras.

El agua empleada para la refrigeración puede tener dos vertientes según su rango de temperaturas, existe el agua de alta temperatura (AT) y la de baja temperatura (BT). En algunos barcos las dos clases de agua forman parte del mismo circuito y mediante válvulas termostáticas se dividen en un punto para luego volver a coincidir. En el caso del buque Las Palmas de Gran Canaria, el agua de alta y baja circulan por circuitos cerrados diferentes. Cada uno de los circuitos atraviesa por distintos equipos y en ningún momento están en contacto un agua con la otra.

El circuito de baja temperatura comprende un rango de temperaturas de entre los 30 y 40 grados, dependiendo del punto del circuito. Para controlar que la temperatura del agua de baja se mantenga en el rango deseado se emplean enfriadores de agua salada, que forman parte del circuito de agua salada dentro de la sala de máquinas. El agua salada es muy corrosiva para tuberías y todos los elementos que hay en los circuitos de agua, por lo que su utilidad es muy reducida para evitar daños. Uno de los pocos propósitos es la refrigeración del agua de baja temperatura.

Circuito de Baja Temperatura

El agua de baja temperatura es empleada para la refrigeración de fluidos o elementos que no deben alcanzar temperaturas muy elevadas, de entre los cuales podemos distinguir aceites, chumaceras, el aire de carga y el agua de alta temperatura.

El recorrido del agua de baja temperatura forma un circuito cerrado que circula por diversos ramales, pero siempre retorna al mismo punto de partida.

El punto de partida del circuito se puede establecer en las bombas de circulación, que son las que se encargan de que el agua llegue a todos los puntos del circuito a la presión adecuada. El colector de salida de las bombas se divide en tres ramales diferentes, dos de ellos realizan el mismo recorrido, pero uno por el costado de babor y el otro por estribor. Estos dos ramales atraviesan el enfriador de aire de barrido, el enfriador de aceite del motor principal y el enfriador de agua de alta temperatura. El otro ramal se encarga de la refrigeración del aceite de la reductora, de las chumaceras y del aceite de los estabilizadores. El retorno de todos los ramales acaba en el mismo colector, el cual se dirige a una válvula termostática que según la temperatura de entrada redirige el agua al enfriador de agua salada o la vuelve a introducir directamente en el colector de aspiración de las bombas de circulación.

El circuito cuenta con un tanque de compensación, que se encarga de añadir agua al circuito en el caso de que haya pérdidas o también de permitir desalojar el agua sobrante cuando el agua se calienta y aumenta de volumen, evitando un exceso de presión en el circuito.

Circuito de Alta Temperatura

El agua de alta temperatura se emplea en la mayoría de los barcos, principalmente para la refrigeración de los elementos internos del motor. El rango de temperaturas que admite el agua de alta temperatura está entre los 70 y los 85 grados, dependiendo del punto del circuito. Durante el recorrido por la parte interior del motor, el agua refrigera las camisas de los cilindros y las culatas, y en algunos casos también puede pasar por el enfriador de aire de carga, para que el choque térmico entre el aire y el agua de baja temperatura no sea tan brusco.

En el caso del buque LPGC el circuito cuenta con dos bombas de circulación que descargan en un mismo colector, que posteriormente se divide en dos, uno para cada motor. A la salida de los motores, el agua vuelve a unirse en un único colector general de retorno, que contiene ramificaciones que se dirigen al enfriador de aceite térmico de toberas y al generador de agua dulce. En el tramo final del circuito, el agua atraviesa por una válvula termostática de tres vías que regula el paso de agua hacia el enfriador de agua de alta temperatura.

El circuito de alta temperatura también consta de un sistema de precalentamiento para los motores principales. La función del precalentamiento es evitar el enfriamiento de los motores cuando no están en marcha. Los cambios de temperatura en las puesta en marcha y las paradas son perjudiciales para la mayoría de los elementos, por lo que se mantiene agua caliente circulando por el interior de los motores. Este sistema está formado por una bomba de circulación auxiliar, un calentador de vapor y sus respectivas líneas de circulación. La circulación del precalentamiento va en sentido opuesto al flujo natural del motor con las bombas principales, ya que la bomba aspira de la entrada al motor y la descarga caliente por la salida del motor. Se puede decir que el precalentamiento trabaja a contraflujo.

Del mismo modo que el agua de baja temperatura, el agua de alta temperatura tiene su tanque de compensación para suplementar las pérdidas o recoger el exceso de agua.

Seguimiento del circuito y descripción de sus componentes

Los circuitos de alta y baja temperatura realizan un recorrido cerrado, a través del cual pasan por diferentes equipos. El orden del paso del agua por los diferentes elementos tiene un motivo,

ya que tras cada equipo la temperatura del agua aumenta o disminuye y es un factor a tener en cuenta a la hora de calcular los intercambios de calor que se dan en los enfriadores.

A continuación, se realizará un seguimiento secuencial tanto del circuito de alta temperatura, como de baja temperatura.

Circuito de baja temperatura

1. Bombas de circulación

El circuito de baja temperatura cuenta con dos bombas de circulación, encargadas de mantener la presión adecuada por todo el circuito, ya que los motores principales no tienen bombas acopladas instaladas.

Se tratan de dos bombas centrífugas de una etapa en posición vertical de la marca AZCUE modelo CM- 125/250. Son bombas capaces de trabajar con fluidos a 130 °C y a una presión nominal máxima de 16 bar. El cierre del eje es mediante un sello mecánico. El rodete va instalado de forma invertida, con la aspiración por la parte superior, para equilibrar los esfuerzos axiales que actúan en los rodamientos que soportan el eje de la bomba. La unión del eje de la bomba y el del motor eléctrico se da con un acople elástico.

El motor que tienen instalado las bombas es de inducción trifásico, modelo MBT 225 M-4, alimentado con una tensión de 380 V y a 50Hz. Su potencia es de 45 kW, con un factor de potencia del 0,86 y girando a 1480 rpm.

El colector de salida de las bombas de circulación se divide en tres colectores, dos de ellos se dirigen a los enfriadores de aire de carga de los MM.PP y el otro se emplea para la refrigeración de elementos auxiliares.

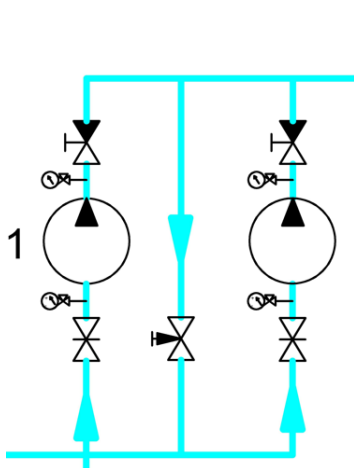


Figura 43 Representación bba circ BT



Figura 44 Bba circ BT

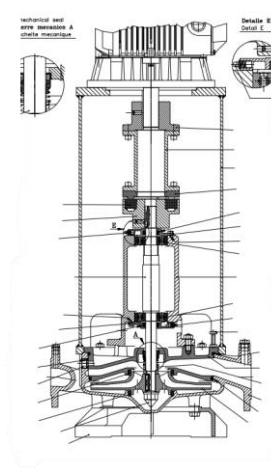


Figura 45 Vista bba circ BT

2. Enfriador de aire de carga

Para mejorar la eficiencia energética de la combustión, todos los motores Diesel marinos tienen implementado un sistema de compresión y enfriamiento del aire de carga. Para la compresión se emplean turbocompresores, que aprovechan la energía que generan los gases de escape. Tras salir del turbocompresor el aire de carga se calienta, un fenómeno que se explica mediante la ley de Gay Lussac que nos dice que, a volumen constante, un aumento de la presión provoca un aumento de temperatura. Al reducir la temperatura del aire suministrado, el mismo volumen de aire contiene una masa de aire mayor, lo que significa que proporcionalmente se puede quemar más combustible. El enfriador de aire de carga aumenta así la posible potencia de salida y aumenta la eficiencia al reducir la temperatura inicial.

El enfriador de aire de carga es el encargado de enfriar el aire antes de entrar al motor. Su diseño es un híbrido entre un enfriador de placas y uno tubular, ya que el agua circula a través de unos haces de tubos y al aire atraviesa los tubos entre unas placas. El agua que circula por el haz tubular es de baja temperatura y se encuentra alrededor de los 30º C. Hay enfriadores que tienen dos etapas de refrigeración, una primera de refrigeración con agua de alta y luego otra con agua de baja temperatura, de este modo se reduce el choque térmico.

Al tratarse de un motor en V, hay una turbo-soplante y un enfriador de aire de carga en los dos extremos del motor. La entrada de agua de BT al motor se divide para entrar en los dos enfriadores y a su salida se vuelve a unir para seguir por el circuito.

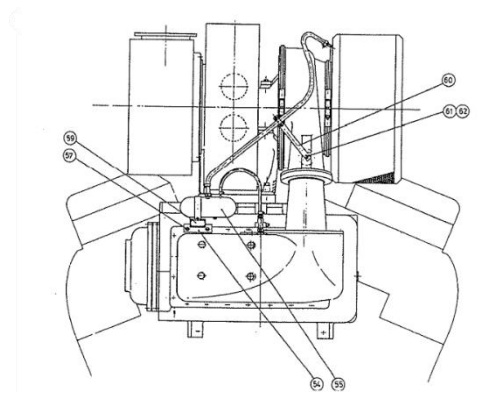


Figura 46 Sistema de aire de carga



Figura 47 Enfriador de aire de carga

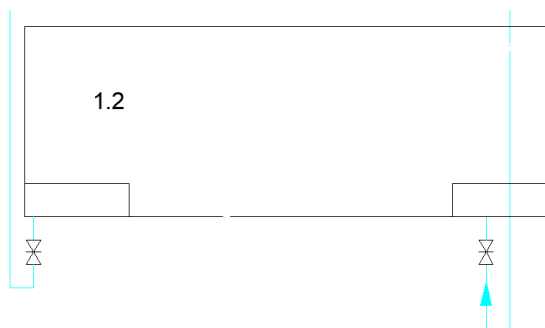


Figura 48 Paso de agua de BT por el MMPP

3. Enfriador de aceite de MM.PP

Tras salir de los enfriadores de aire de carga, el agua se dirige a los enfriadores de aceite de MM.PP. En estos enfriadores no hay válvula termostática que regule el paso de agua por el enfriador, pero si hay una válvula de compuerta que permite regular manualmente el flujo de agua que entra o se *bypassea*.

Los intercambiadores son de placas, de la compañía Alfa-Laval, del tipo A10-BFM. La presión nominal del intercambiador es de 10 bar. Tiene una altura de 90 cm y cuenta con 103 placas. Las juntas están hechas de nitrilo y las placas de acero al titanio.



Figura 49 Enfriadores de aceite MMPP

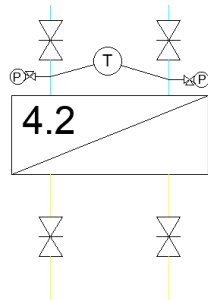


Figura 50 Representación enfriadores de aceite MMPP

4. Enfriador de agua de AT

Tras pasar por el enfriador de aceite, el agua se dirige al enfriador de agua de alta temperatura. También se trata de un intercambiador de calor de placas de la marca Alfa-Laval. El modelo es el mismo que el de aceite, el A10-BFM.

Hay una válvula de compuerta que permite *bypasrear* la entrada con la salida del enfriador. A la salida del enfriador de alta el agua se une al colector general de retorno que se dirige a la válvula termostática.

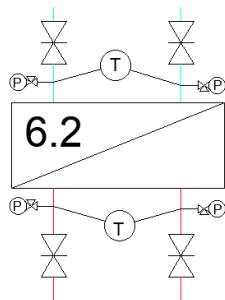


Figura 51 Representación enfriadores de AT



Figura 52 Enfriadores de AT

5. Enfriador de aceite de los estabilizadores

El colector de agua para la refrigeración de elementos propulsores auxiliares se bifurca en dos ramales, uno de ellos se dirige a los intercambiadores de calor de aceite de los estabilizadores.

El aceite hidráulico de los enfriadores es sometido a grandes presiones, por lo que su temperatura aumenta considerablemente y necesita ser reducida. El aceite empleado es de la marca Shell, con el nombre *Tellus S2 VX 46*.

El enfriador de aceite se encuentra sobre la parte superior del tanque y recibe el flujo de aceite de retorno desde el distribuidor. El enfriador es del estilo tubular, donde el agua es el fluido que circula por el interior de los tubos y el aceite atraviesa por el haz tubular.

A la salida de los enfriadores, el agua de baja temperatura vuela al colector de retorno.



Figura 54 Enfriador aceite estabilizadores

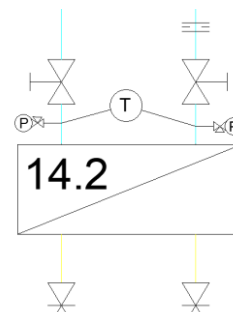


Figura 53 Representación enfriador aceite estabilizadores

6. Chumaceras

El eje propulsor tiene que recorrer bastantes metros desde la salida de la reductora hasta las hélices, por ello son necesarios varios puntos de apoyo que repartan los esfuerzos de sujetar el eje. Estos puntos de apoyo son las chumaceras.

Las chumaceras son unos cojinetes encapsulados en unas cajas estancas que se encuentran en un baño permanente de aceite. La continua fricción del eje sobre la chumacera de apoyo provoca un aumento de la temperatura del aceite. Para enfriar el aceite se emplea el agua de baja temperatura, proveniente del colector para la refrigeración de equipos auxiliares. El agua entra y sale por la parte inferior de la chumacera, refrigerando el aceite que se acumula en la parte inferior. El aceite empleado por las chumaceras es el *Gadina S3 30*, de la marca Shell.

El agua pasa por las cuatro chumaceras de cada eje en paralelo y a su salida se une al colector de retorno común.

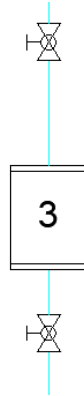


Figura 55 Representación de chumaceras



Figura 56 Chumaceras

7. Enfriador de aceite de la reductora

La reductora cuenta con un sistema de lubricación para todo su conjunto de engranajes. Debido a los grandes esfuerzos a los que es sometido el aceite lubricante y la alta presión a la que debe ser bombeado, el aceite alcanza altas temperaturas.

La reductora cuenta con un intercambiador de calor de placas para la refrigeración del aceite. El intercambiador está colocado en horizontal con una longitud de 1 metro. Tiene un total de 32 placas y el material de las juntas es el nitrilo. Como norma general, la presión del agua de refrigeración deberá ser inferior a la del aceite para evitar que, si se producen fugas en el enfriador, no penetre agua en el aceite y se pueda dañar la reductora.

El agua de refrigeración proviene del colector de alimentación de equipos auxiliares. A su salida se dirige a los colectores de retorno.

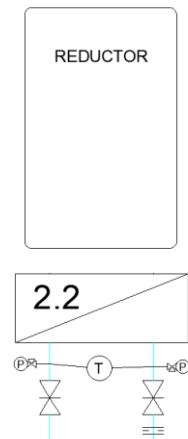


Figura 57 Representación enfr. reductora



Figura 58 Enfriador de reductora

8. Válvula termostática

Antes de llegar al punto final del circuito, los enfriadores de agua salada, el agua pasa por una válvula termostática que regula el flujo de agua. En función de la temperatura del agua la válvula termostática envía el agua a un sitio u otro. Si el agua se encuentra a una temperatura por encima de la indicada la válvula se cierra y por consiguiente el agua se dirige a los enfriadores de agua salada, en cambio, si el agua se encuentra a una temperatura adecuada la válvula permite el paso del agua de retorno hacia la aspiración de las bombas, by-paseando de esta manera los enfriadores.

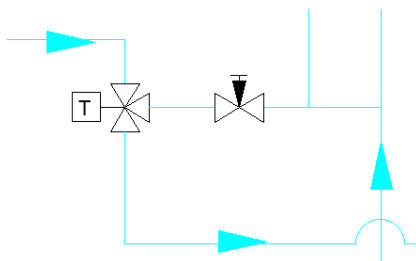


Figura 59 Válvula termostática BT

9. Enfriador de agua salada

El último elemento del circuito es el enfriador de agua salada, que tiene la función de reducir la temperatura del agua de baja temperatura antes de volver a pasar por las bombas. Como se ha explicado anteriormente, el flujo de agua que pase por este intercambiador de calor depende de la válvula termostática.

El enfriador es un intercambiador de placas de la marca Alfa-Laval, modelo A-15 BFM. Tiene una altura de 1,5 m y un ancho de 0,72 m. El diámetro nominal de los pasos de agua es de 150 mm, y están preparados para soportar una presión máxima de trabajo de 7 bar. La pérdida de carga del enfriador es de 0,52 bar. La temperatura que puede soportar oscila entre los 110 y los 95º C. El material de las placas es acero al titanio y el de las juntas nitrilo. La superficie total de intercambio de calor es de 39 m². El agua salada al ser el fluido de menor temperatura entra por la parte inferior y sale por la superior, el agua de baja temperatura circula, al contrario.

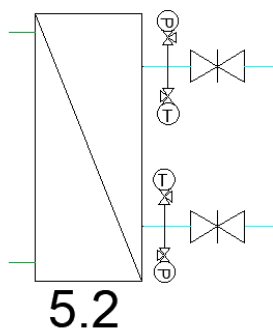


Figura 60 Representación enfriadores de agua salada



Figura 61 Enfriadores de agua salada

10. Tanque de compensación

El circuito de agua cuenta con un tanque de compensación para compensar las pérdidas que pueda haber o para almacenar el agua desplazada por el aumento de temperatura. El tanque está situado en el guarda calor, para aprovechar la diferencia de alturas y que por gravedad el agua de compensación entre en el circuito. La capacidad del tanque está alrededor a los 1000 l. El tanque cuenta con dos válvulas en la parte inferior, una es la de compensación, que pincha en la aspiración de las bombas. La otra válvula es para el vaciado del tanque y desemboca en el tanque TV3E, destinado para el vaciado del agua de máquinas. El llenado del tanque es automático, cuenta con dos interruptores de nivel Liquiphant que se encargan de mandar la orden de apertura y cierre a una electroválvula situada en la línea de llenado. En la parte superior cuenta con un rebose que pincha en la línea de vaciado del tanque.

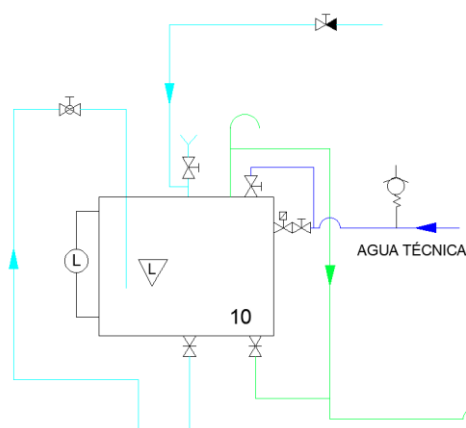


Figura 62 Representación tk. compensación BT



Figura 63 Tk. compensación BT

Circuito de alta temperatura

1. Bombas de circulación

Del mismo modo que los motores no estaban equipados con bombas acopladas de baja temperatura, tampoco tienen bombas de alta temperatura. Como se ha comentado anteriormente, esto se debe a que la potencia del motor se vería reducida lo suficiente como para afectar a su faceta propulsora.

El circuito de alta temperatura cuenta con dos bombas de circulación, idénticas a las utilizadas en el circuito de baja temperatura, marca AZCUE modelo CM- 125/250. Se tratan de bombas centrífugas de una etapa. Las bombas cuentan con una válvula de seguridad en paralelo, para evitar que se produzcan sobrepresiones en la descarga. El motor eléctrico que alimenta las bombas también es el mismo modelo que en las bombas de BT.

El colector de salida al inicio es común y un poco más adelante se divide en dos líneas, una para cada motor.

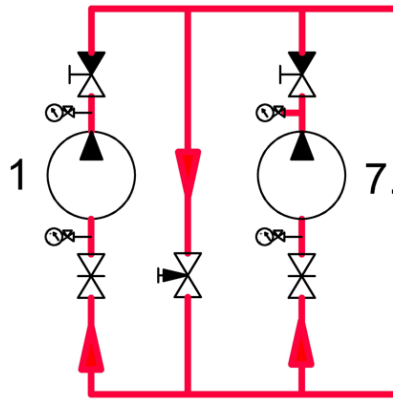


Figura 64 Representación bbas circ. AT



Figura 65 Bbas circ AT

2. Motores principales

El agua de alta temperatura se emplea para la refrigeración de los cilindros del motor y de las culatas. El agua entra por la parte inferior de la cabeza del motor a una galería general y una vez dentro se divide en tantas ramificaciones como cilindros tiene el motor, en este caso 12. En la galería principal se equilibran las presiones de entrada para que a todos los cilindros les entre el mismo caudal de agua. El agua atraviesa primero a través de las camisas y las chaquetillas y seguidamente sube hasta las culatas. El agua pasa primero por las camisas, ya que están a menor temperatura que las culatas, de este modo se reduce el choque térmico en las culatas. A la salida de las culatas todos los colectores se unen en la parte superior del motor para seguir avanzando por el circuito.

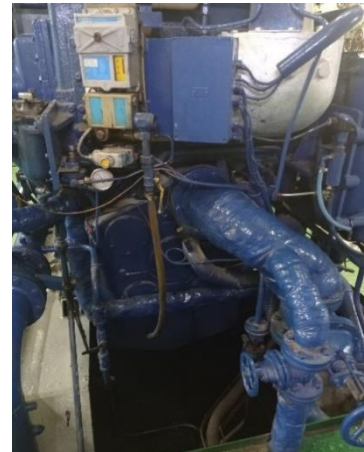


Figura 66 Entrada de agua de AT

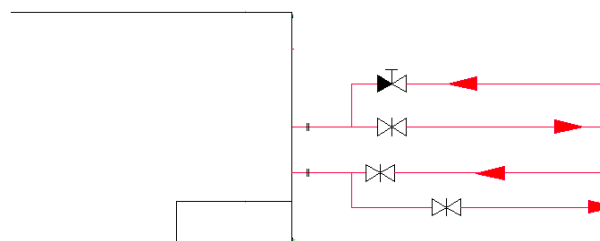


Figura 67 Paso de agua de AT por el motor

3. Enfriador de aceite térmico de toberas

Tras pasar por el motor, los dos colectores que se habían separado se vuelven a unir. El colector de retorno, antes de dirigirse a la parte final del circuito, de la válvula termostática y los

enfriadores de alta temperatura, tiene dos ramificaciones que se dirigen a los enfriadores de aceite térmico de toberas. Mediante válvulas de compuerta se puede regular el flujo de agua que se dirige hacia los enfriadores.

El aceite térmico tiene la función de refrigerar las toberas de los inyectores. Debido a la alta temperatura del combustible y el calor producido en la cámara de combustión, las toberas y la parte inferior de los inyectores suben mucho de temperatura. El aceite térmico disipa parte del calor al atravesar por los inyectores. Todo el calor que absorber el aceite térmico tiene que ser liberado en algún punto, y para ello están los enfriadores. Los intercambiadores de calor son del tipo tubular, donde el agua pasa por el interior del haz tubular y el aceite alrededor de los tubos.

A la salida de los enfriadores, el agua se vuelve a unir al colector general de retorno.

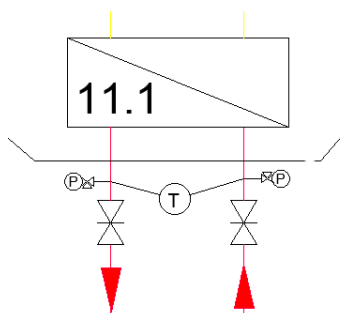


Figura 68 Representación enfr. aceite térmico toberas



Figura 69 Enfr. aceite térmico toberas

4. Evaporador

La gran mayoría de los buques cuentan con un generador de agua dulce, también conocido como evaporador. Los generadores de agua dulce son esenciales para la producción de agua destilada. El agua destilada producida en estos equipos es de muy buena calidad.

Los generadores de agua dulce evaporan agua salada y después la condensan, con el objetivo de eliminar las sales. A presión atmosférica la temperatura de evaporación del agua es de 100° C, lo que supone un gran aporte de calor, por ello se emplean eyectores que generan vacío para producir una disminución de la temperatura de evaporación.

Con el vacío generado por los eyectores y el calor que aporta el agua de refrigeración de los motores, se dan las condiciones necesarias para la evaporación del agua salada.

El generador de agua dulce es de la marca Ala-Laval, y utiliza intercambiadores de calor de placas. La temperatura del agua de alta temperatura tiene que ser lo suficientemente alta para que la evaporación sea satisfactoria. Para regular la temperatura del agua de entrada hay instalada una válvula termostática situada en la salida. Si la temperatura del agua a la salida sigue siendo elevada, la válvula termostática la vuelve a dirigir a la entrada del evaporador, en cambio, si la temperatura es baja, el agua se devuelve al colector general de retorno.

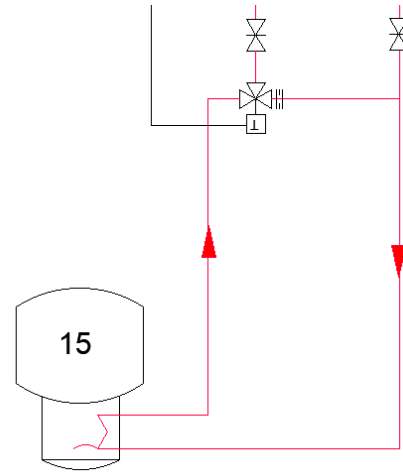


Figura 70 Representación evaporador



Figura 71 Paso de agua de AT



Figura 72 Válvula termostática evaporador

5. Válvula termostática

El colector general de retorno antes de volver al punto inicial del circuito, las bombas de circulación, pasa por los enfriadores de alta temperatura. No todo el flujo de agua pasa a través del enfriador. Dependiendo de la temperatura de retorno una válvula termostática hace circular el agua por el enfriador o la envía directamente a las bombas de circulación.

Durante el periodo de precalentamiento el agua no pasa por el enfriador, y a medida que va cogiendo temperatura tras pasar por los motores en marcha, se dirige parte de ella al enfriador.

La válvula cuenta con unos elementos termostáticos que dependiendo de la temperatura del agua se dilatan o contraen. Según el tamaño que tengan los elementos termostáticos, permitirán el paso del agua por la línea de salida al enfriador o por la línea de aspiración de las bombas.

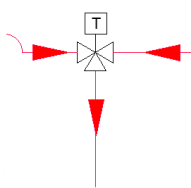


Figura 73 Representación válvula term. AT

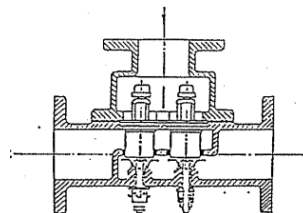


Figura 74 Válvula term. AT

6. Enfriador de AT

Como se ha explicado en el circuito de baja temperatura, el enfriador de alta temperatura es un intercambiador de calor de placas de la compañía Alfa-Laval, modelo A10-BFM.

El agua de alta temperatura entra por uno de los orificios superiores y sale por uno de los inferiores, para facilitar la circulación al tratarse de un fluido que se está enfriando.

El agua que sale del enfriador pasa de nuevo por la válvula termostática y ya desde allí sigue su camino hasta las bombas de circulación para empezar de nuevo el circuito.

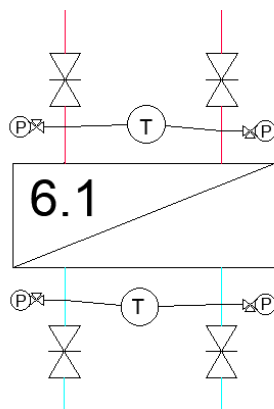


Figura 75 Representación enfriador AT/BT

7. Bomba del precalentamiento

Dentro del circuito de alta temperatura encontramos un sub-circuito que únicamente se encuentra en servicio cuando los motores están parados: el circuito de precalentamiento de los MMPP. La finalidad del precalentamiento es evitar que los motores no se enfríen hasta la temperatura ambiente cuando no estén en marcha. El choque térmico que se da entre los

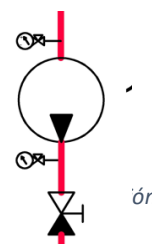


Figura 7
bba prec

arranques y paradas es muy dañino para las piezas del motor, las dilataciones y contracciones pueden producir la rotura de piezas esenciales.

El circuito de precalentamiento es muy sencillo, únicamente consta de una bomba, un intercambiador de calor y sus respectivas líneas. Para poner el precalentamiento en servicio hay que abrir la válvula de compuerta que pincha en la entrada de agua de alta temperatura de los motores, arrancar la bomba de precalentamiento y abrir el vapor del calentador.

La bomba de precalentamiento es una bomba centrífuga auto-aspirante de una etapa, del fabricante AZCUE, modelo CA-50/3A 100-L. Tiene un motor de inducción trifásico como elemento motriz, con una potencia de 3 kW. El eje del motor se une al eje de la bomba mediante un acople elástico.

La aspiración de la bomba viene de un pinchazo situado en la entrada de agua de alta temperatura a los motores y la descarga de la bomba es al calentador.

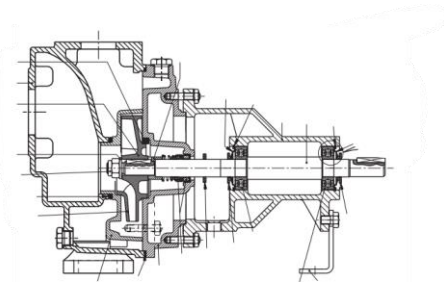


Figura 77 Vista bba precalentamiento



Figura 78 Bomba precalentamiento

8. Calentador de vapor

Para calentar el agua se emplea un calentador de placas de la empresa Alfa-Laval, modelo M6-MFG. Se utiliza vapor como fluido caliente, el cual entra por la parte superior. La temperatura máxima de trabajo es de 170 °C y la presión de trabajo de 14 bar. La altura del intercambiador es de 90 cm, la profundidad de 29 mm y en su interior cuenta con un total de 8 placas, de un espesor de 0,6 mm.

La línea de salida del calentador el agua pincha en la de salida de agua de alta temperatura del motor. Por lo tanto, la bomba del precalentamiento aspira de la entrada de agua de alta al motor, para luego descargarla por la salida de agua de alta, es decir, el sentido flujo del circuito de precalentamiento es al contrario que el normal, trabaja a contraflujo. Este hecho tiene sentido, ya que el agua entra por la parte superior caliente y sale por la parte inferior más frías, al enfriarse es óptimo que la dirección del fluido sea descendente.

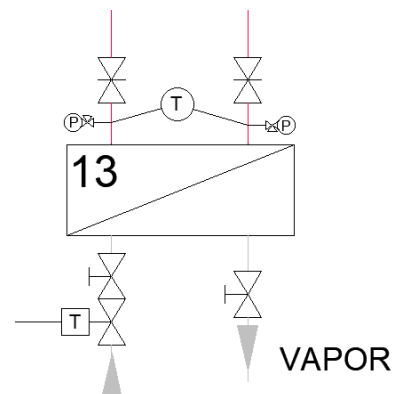


Figura 79 Representación calentador preca



Figura 80 Calentador preca

9. Tanque de compensación

Del mismo modo que el circuito de baja temperatura, el circuito de alta cuenta con un tanque de compensación para las pérdidas y las dilataciones de agua. El tanque se encuentra situado en el guarda-calor, para poder rellenar el circuito por gravedad. La capacidad del tanque está en torno a los 1000 l. El tanque cuenta con sus válvulas de compensación, vaciado, llenado automático, llenado manual y reboses. El punto donde conecta la línea de compensación se ubica en la tubería de aspiración de las bombas de circulación.

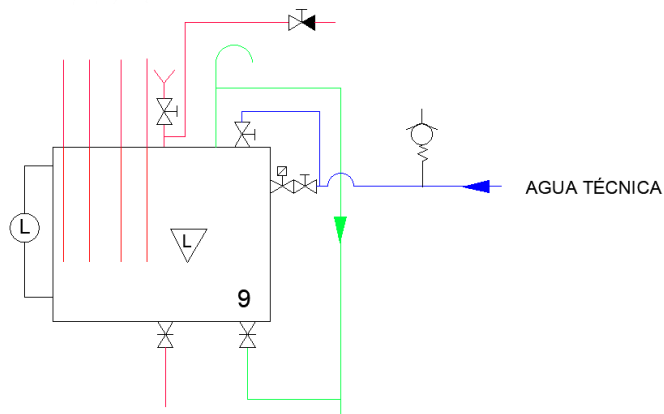


Figura 81 Representación tk. comp. AT



Figura 82 Tk. comp. AT

Elementos de medición y control

Del circuito de agua de refrigeración podemos destacar, de entre varios sistemas de medición o control, los siguientes:

Interruptor de nivel

Los interruptores de nivel son elementos de medición empleados para controlar el nivel de llenado de los tanques. Los interruptores de nivel, a diferencia de los sensores de nivel, realizan una medición puntual, para detectar la presencia o ausencia de un fluido. Los interruptores de nivel son dispositivos de encendido y de apagado, que alternan entre dos posiciones, una para abrir y otra para cerrar el circuito.

Cuando el interruptor cambia de estado acciona un contacto, desencadenando una acción concreta, que en el caso de los tanques de compensación es la apertura o cierre de la electroválvula de llenado.

De entre los diferentes interruptores de nivel que se pueden encontrar en el mercado, se explicará el funcionamiento de los tres tipos que se utilizan en el buque LPGC.

Interruptor de nivel de flotador

Los interruptores de flotador están formados por un flotador asociado a un dispositivo de accionamiento mecánico o magnético (interruptor *reed switch*). El flotador sube o baja dentro del depósito dependiendo del nivel y cuando alcanza una altura determinada el interruptor lo detecta y cambia de estado. Los tres tipos de interruptores de flotador más comunes son los siguientes:

- Flotador suspendido: El flotador está suspendido y cogido con un cable. Cuando el nivel sube, el flotador llega un punto que se inclina y activa el dispositivo de accionamiento mecánico.
- Montaje vertical: El eje de sujeción del flotador se encuentra en posición vertical. Al subir o bajar el flotador, el eje actúa sobre el interruptor reed switch.
- Montaje horizontal: El eje de sujeción del flotador se encuentra en posición horizontal.



Figura 83 Interruptor de nivel flotador

Este tipo de interruptores son de los más económicos y fáciles de emplear, ya que no requieren de calibración. Su funcionamiento no se ve afectado por las propiedades del líquido.

Interruptor de nivel conductivo

Los interruptores conductivos se emplean para el uso de líquidos conductores. Su diseño básico se compone de dos electrodos que forman un circuito eléctrico abierto, por el que no pasa

corriente. Cuando el fluido sube y entra en contacto con los electrodos, cierra el circuito. Al pasar la corriente a través de los electrodos el interruptor cambia de estado.

Algunos líquidos conductores que son funcionales para estos dispositivos son los ácidos, los detergentes y soluciones a base de agua. Fluidos como los hidrocarburos, aceites o disolvente tienen una conductividad muy baja, por lo que no son útiles.

Este tipo de interruptores son simples y económicos, y ofrecen una amplia posibilidad de montajes e instalaciones, como con varios electrodos para la detección de diferentes niveles.



Figura 84 Interruptor de nivel conductivo

Interruptor de nivel vibratorio

Los interruptores de nivel vibratorio emplean un elemento sensor formado por una varilla u horquilla, que vibra a una determinada frecuencia de resonancia, normalmente por medio de un sistema piezoeléctrico. Cuando el líquido llega a la altura de las horquillas amortigua las vibraciones. Al detectar la alteración de amplitud y de frecuencia de las vibraciones, el interruptor cambia de estado.

Estos dispositivos no son funcionales con líquidos que contengan partículas sólidas, independiente del tamaño. No son sensibles a las propiedades de los productos. Presentan la ventaja de poder usarse en zonas potencialmente explosivas, lo que los hace adecuados para tanques de almacenamiento de materias primas, para la industria química y para la industria alimentaria.

Este tipo de interruptor es el empleado en los tanques de compensación de agua, tanto de alta como de baja temperatura. Trabajan en un rango de temperaturas de -50° a 150° C. Son alimentados a una tensión de 220 V.



Figura 85 Interruptor de nivel vibratorio

Electroválvulas

Las electroválvulas son elementos muy comunes en los circuitos de una gran variedad de fluidos. Una electroválvula es un dispositivo electromecánico diseñado para controlar el flujo que circula por un conducto. Normalmente ofrecen una posición de apertura y cierre.

Las electroválvulas son activadas por la acción de una bobina solenoide. La bobina cuenta con una pieza de un material ferromagnético en su interior. Cuando a la bobina se le aplica tensión se produce un campo magnético que empuja la pieza imantada en contra de un resorte, normalmente al moverse la pieza se produce el desplazamiento de la aguja que controla el paso de los fluidos. Una vez que se deja de aplicar tensión, el resorte empuja a la pieza a su estado de reposo y la aguja corta el flujo. En el buque LPGC hay solenoides de 24 y 220 V.

Las electroválvulas cuentan con dos elementos principales, la válvula y el solenoide. En algunos casos el solenoide actúa directamente sobre la válvula, dando la energía necesaria para su movimiento. También existen electroválvulas biestables, que utilizan un solenoide para el cierre y otro para la apertura, o bien utilizan un solo solenoide que abre con un impulso de corriente y cierra con el siguiente.

Podemos distinguir dos tipos de electroválvulas:

- Sencillas: las electroválvulas de este tipo pueden ser normalmente cerradas o normalmente abiertas, lo que indica la posición en caso de un fallo de alimentación o en estado de reposo.
- Asistidas: En las electroválvulas asistidas, el solenoide no controla directamente la válvula, sino que acciona una válvula piloto que varía el estado de la válvula principal.

Este tipo de válvulas basan su funcionamiento en los equilibrios de presiones. La válvula principal cuenta con una membrana que se encarga de permitir el cierre y el paso del fluido. La membrana tiene en la parte inferior la entrada de agua y en la superior la galería que fuerza el cierre. La entrada de agua y la galería de cierre están comunicadas por un pequeño orificio en la membrana, que permite el paso de agua. En la galería de cierre hay un resorte que empuja la membrana hacia su posición de cierre, pero por si solo no debe tener la fuerza necesaria para forzar el cierre. Para tener la suficiente fuerza para cerrar la membrana se utiliza la propia agua de entrada, que pasa por el orificio de la membrana a la galería superior. Al ser iguales la presión de agua en la parte inferior y superior de la membrana, y sumarle la fuerza del resorte en la parte superior, la parte de arriba vence a la de abajo y consigue el cierre.

Para la apertura se debe forzar un desequilibrio de presiones y que la parte inferior haga más presión. Para ello, la galería de cierre tiene instalado un conducto de desahogo hacia la línea de salida, que se abre y se cierra mediante el solenoide. Cuando la aguja del solenoide sube, el agua que se encuentra en la cámara de cierre escapa y únicamente quedan los muelles haciendo fuerza. Al ser superior la fuerza del agua por la parte inferior a la de los muelles, la membrana sube y permite el flujo de agua. Una vez que el solenoide cierra se vuelve a establecer una presión superior en la cámara de cierre y se corta el flujo.

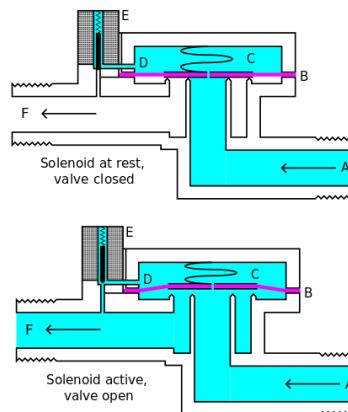


Figura 86 Funcionamiento electroválvulas

Circuito de aceite

Presentación del circuito de aceite

La mayoría de los equipos que podemos encontrar en una sala de máquinas tienen elementos móviles, sometidos a grandes esfuerzos y temperaturas. Las superficies sólidas sometidas a grandes presiones o fuerzas de fricción requieren de un sistema de lubricación para evitar que los elementos gripen o sufran un desgaste. Los aceites sintéticos son los lubricantes empleados en maquinaria, ya sea de grandes o de pequeñas dimensiones. Hay una gran variedad de aceites, según sus propiedades, que pueden variar de un aceite a otro según los aditivos que pueda llevar.

Dentro de una sala de máquinas podemos encontrar varios equipos que emplean diferentes tipos de aceite. Los compresores, las chumaceras, las depuradoras, las reductoras, la bocina y los motores, emplean aceites con la finalidad de lubricar y disipar calor, sin embargo, otros elementos como las hélices de paso variable, los estabilizadores o los reguladores de velocidad emplean un aceite que además y lubricar y disipar calor, es el fluido hidráulico encargado de transmitir el trabajo.

En el buque LPGC el aceite empleado para la lubricación de los motores principales es el Argina S3 40, de la casa Shell.

Podemos distinguir dos tipos de motores según el punto de almacenaje del aceite, los motores de cárter seco y los de cárter húmedo. Los motores de cárter húmedo emplean el cárter como almacén de aceite y la bomba de aceite aspira del interior de este. En cambio, en los de cárter seco, el cárter tiene la función de bandeja de drenaje para desalojar el aceite que pasa por el motor. El aceite recogido en el cárter cae a un tanque, que es de dónde aspiran las bombas de circulación de aceite. Los motores principales del buque LPGC son de cárter seco y cada uno de los motores cuenta con su tanque de aspiración.

El aceite circula por diversos elementos antes de entrar al motor, debido a la importancia del tratado y la limpieza de este. El circuito consta de dos bombas, una acoplada y otra de reserva, un total de tres filtros, una válvula de sobrepresiones, un enfriador de aceite con su válvula termostática y un detector de presencia de agua en aceite.

Debido al desgaste de los elementos del motor, el aceite arrastra partículas metálicas que podrían ser perjudiciales si volviesen a introducirse en el circuito de aceite. Por ello se emplean depuradoras de aceite, que aspiran del tanque de los motores, y tras depurar el aceite lo retornan al tanque. Las depuradoras también se encargan de retirar la posible presencia de agua.

La reductora cuenta con un sistema de lubricación más sencillo, que cuenta únicamente con dos bombas, una acoplada y otra de reserva, un filtro y un enfriador. El aceite utilizado es diferente al de los motores principales, y emplea su propia carcasa como cárter para almacenar el aceite. El aceite utilizado por la reductora es el Gadinia S3 40.

Seguimiento del circuito y descripción de sus componentes

Cada uno de los motores principales cuenta con su propio circuito de lubricación, ambos idénticos. Se trata de un circuito cerrado, ya que el aceite es aspirado de un tanque al inicio del circuito, y tras su paso por el motor es recogido en el mismo tanque. El circuito de la reductora también es cerrado e independiente para cada motor.

A continuación, se explicarán los circuitos de aceite de un motor principal y de la reductora, y la función y características de cada uno de sus componentes.

Circuito de aceite de los motores principales

1. Filtros magnéticos

El primer elemento por el que pasa el aceite tras ser aspirado del tanque es el filtro magnético. Este es el primero de los varios filtros que hay a lo largo del circuito de combustible. La finalidad de este filtro es evitar que lleguen partículas sólidas de gran tamaño, especialmente las magnéticas, a la bomba. El cuerpo del filtro está formado por dos partes principales, la malla metálica que retiene las partículas de gran tamaño, y por un imán situado en el interior de la canastilla para atrapar las partículas magnéticas.

La obstrucción de este filtro puede ocasionar falta de lubricación, es recomendable limpiarlo antes y después de una revisión importante del motor. Después de su limpieza debe llenarse de aceite para facilitar la aspiración de la bomba.

En el circuito hay dos filtros magnéticos, uno para la bomba acoplada y otro para la bomba de prelubricación o reserva. El filtro de la bomba acoplada es el que requiere de más mantenimiento al ser el que trabaja la mayor parte del tiempo.

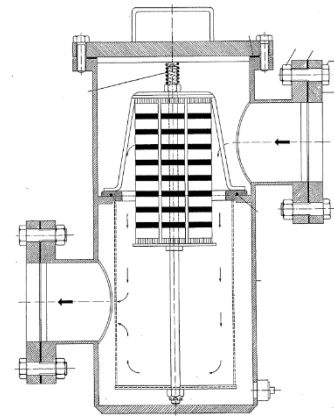


Figura 87 Vista filtro magnético

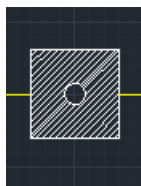


Figura 88 Representación filtro magnético



Figura 89 Filtro magnético 1



Figura 90 Filtro magnético 2

2. Bomba de circulación acoplada

La bomba acoplada es la encargada de mantener la presión en el circuito de aceite durante el funcionamiento del motor. La bomba es del tipo de engranajes, va montada en la parte delantera del motor y es movida con una rueda dentada elástica. En su interior la bomba cuenta con dos engranajes, uno motriz solidario a la rueda dentada mediante un eje, y otro engranaje de arrastre.

En caso de una avería en la bomba de lubricación, se desmonta la bomba colocando en su lugar una brida ciega.

Cada motor cuenta con su propia bomba acoplada, pero a la hora de diseñar la instalación hay que contar con que cada bomba girará en un sentido diferente, igual que los motores.

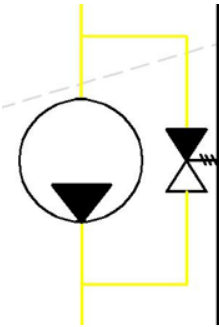


Figura 91 Representación bba acoplada de aceite

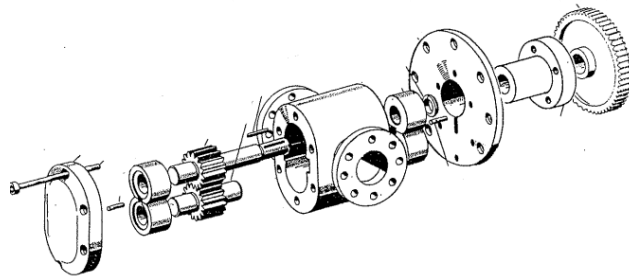


Figura 92 Vista bba acoplada de aceite



Figura 93 Bba acoplada de aceite

3. Bomba de reserva

En las situaciones en las que el motor está bajo de revoluciones o parado es necesario el funcionamiento de la bomba de reserva. En el arranque del motor, o cuando se va a soplar o virar el motor, son posibles situaciones donde la bomba de reserva está en servicio. En el caso de una avería en la bomba acoplada también es necesario el uso de la bomba de reserva.

La bomba es de la marca Azcue, modelo AC 80/3. Se trata de una bomba de husillos helicoidales, en los que dentro de sus respectivos alojamientos, las cámaras formadas y encerradas por los flancos de la rosca avanzan en forma axial y completamente uniforme, trabajando como un pistón que se mueve siempre en el mismo sentido.

El husillo central gira por la acción de rotación del motor eléctrico, y los dos laterales que giran en sentido contrario al central, dan vueltas por la acción del líquido bombeado.

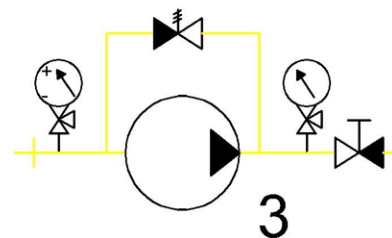


Figura 94 Representación bba aceite reserva

Al tratarse de una máquina de desplazamiento positivo, a velocidad y viscosidad constantes, al aumentar la presión, no se obtiene teóricamente ninguna variación de caudal.

El motor eléctrico tiene las siguientes características:

Tipo	Inducción trifásico AC
Voltaje	380 V
Frecuencia	50 Hz
Conexionado	Triángulo
Potencia	14,9 kW
Factor de potencia	0,87
Revoluciones	1455 rpm
Consumo	29 A



Figura 95 Bba aceite reserva

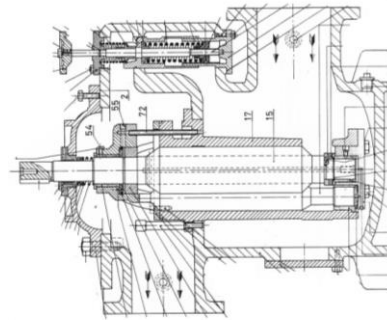


Figura 96 Vista bba aceite reserva

4. Válvula de retención combinada y reguladora de presión.

La descarga de la bomba acoplada de lubricación y la de reserva se unen en un punto del circuito, la válvula de retención y reguladora de presión. La doble válvula de retención va montada de tal forma que la bomba de reserva puede arrancar y suministrar aceite sin tener que hacer ningún ajuste de grifos ni válvulas. Las retenciones evitan el desvío de aceite a la bomba que no esté en servicio.

La presión de aceite puede ajustarse por medio del regulador de presión. De este modo se evitan sobrepresiones que se pueden dar y se trabaja durante casi todo el tiempo a una presión constante. El aceite desalojado por la válvula regulador es llevado al cárter.

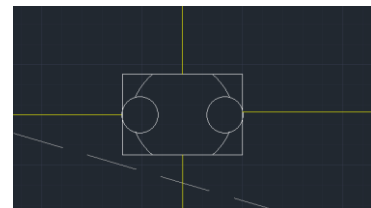


Figura 97 Válvula reguladora de presión

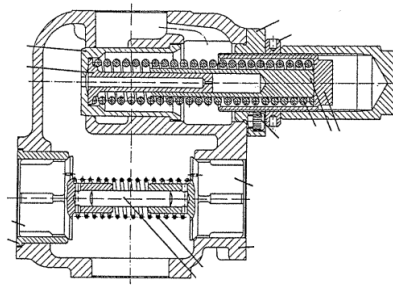


Figura 98 Vista válvula reguladora de presión



Figura 99 Válvula reguladora de presión

5. Filtro automático

Tras pasar por la válvula reguladora de presión, el aceite se dirige al filtro automático. El filtro es diseño de la empresa *Boll & Kirch* y concretamente se trata del modelo 6.41.07. Este tipo de filtros están preparados para el filtrado de aceites a presiones de entre 4 y 10 bar. El filtro opera con un mecanismo constante de flujo inverso, donde el flujo de retroceso es dirigido a un filtro recuperador.

El filtro consta de una carcasa, un bloque filtrante, el equipo de limpieza, un controlador hidráulico, un controlador de flujo de salida y el filtro recuperador.

Durante su funcionamiento, el aceite entra por la parte inferior del filtro, introduciéndose dentro de los cartuchos verticales y atravesándolos para dirigirse a la salida. Cuando la presión de trabajo alcanza los 1,5 bar, el aceite abre una válvula tarada por un muelle, que permite salir al aceite acumulado en uno de los cartuchos verticales por un conducto al filtro recuperador.

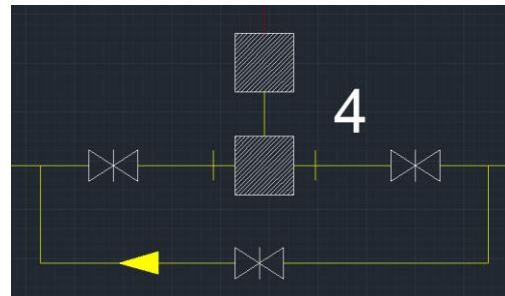


Figura 100 Representación filtro automático de aceite

El conducto de salida hacia el filtro recuperador se encuentra en constante rotación, movido por una unidad de control. Así se consigue que una de los cartuchos siempre se encuentre un estado de flujo inverso. Para conseguir el flujo inverso se utiliza la diferencia de presiones entre el interior del filtro y la presión del filtro recuperador (que suele ser la atmosférica). Con el flujo revertido se consigue desalojar la suciedad e incrustaciones acumuladas en los elementos filtrantes.

El aceite desalojado por el conducto de flujo revertido se dirige al filtro recuperador, que retiene las partículas de suciedad. Al retener la suciedad, la presión diferencial entre el filtro y el conducto de flujo revertido no es tan grande. Cuando la diferencia de presiones alcanza los 2 bar, se debe sustituir el filtro recuperador.



Figura 101 Filtro automático de aceite

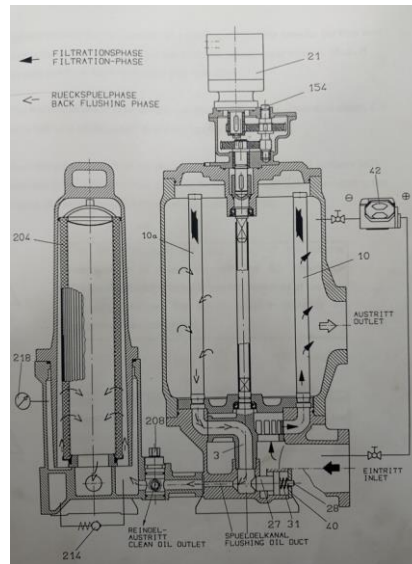


Figura 102 Vista filtro automático de aceite

6. Detector de presencia de agua en aceite

Tras salir del filtro automático, una pequeña cantidad de aceite se dirige a los detectores de presencia de agua en aceite. Un manguito de cobre conduce el aceite desde la línea principal hasta el detector y a su salida otro manguito de cobre lleva el aceite de vuelta al tanque.

Estos equipos se utilizan ya que la presencia de agua puede ser catastrófica en muy poco tiempo. El detector emplea un sistema de infrarrojos de alta precisión. El sensor está alimentado a 220 V y emite una señal de salida de 4 a 20 mA. La presión del aceite debe estar entre 2 y 10 bar.

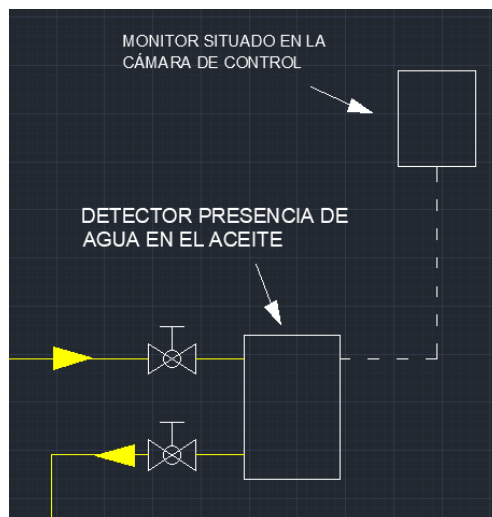


Figura 103 Representación detector de agua



Figura 104 Detector de agua en aceite

7. Válvula termostática

Tras salir del filtro, el aceite se dirige a la válvula termostática, la cual regula el flujo de paso de aceite al enfriador. La válvula termostática está construida en forma de "T", donde la parte de entrada está en la tapa "A", donde están situados los elementos termostáticos. La salida hacia el motor está marcada con la "B" y hacia el refrigerador con la "C". Durante el periodo de precalentamiento el aceite pasará por fuera del enfriador, hasta que el aceite tenga una temperatura aproximada de 65º C, pasando entonces por el enfriador.

Los elementos termostáticos deberán reemplazarse si la temperatura durante la marcha normal se diferencia mucho de la indicada en la hoja de pruebas de freno.

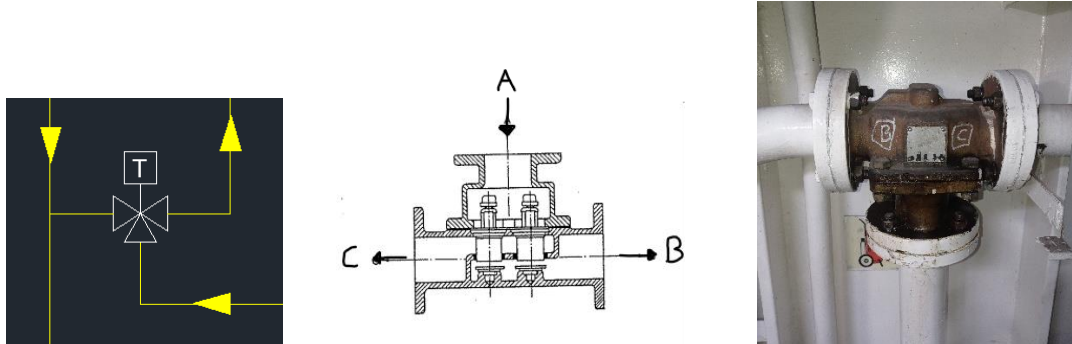


Figura 105 Repr. valv. term. aceite Figura 106 Vista valv. term. aceite Figura 107 valv. term. aceite

8. Enfriador

Como ya se ha descrito en el circuito de agua de baja temperatura, el enfriador de aceite es un intercambiador de calor de placas de la compañía Alfa-Laval, del tipo A10-BFM.

El aceite proveniente de la válvula termostática entra por uno de los orificios superiores y sale por los inferiores, ya que al reducir su temperatura es óptimo un trazado descendente.

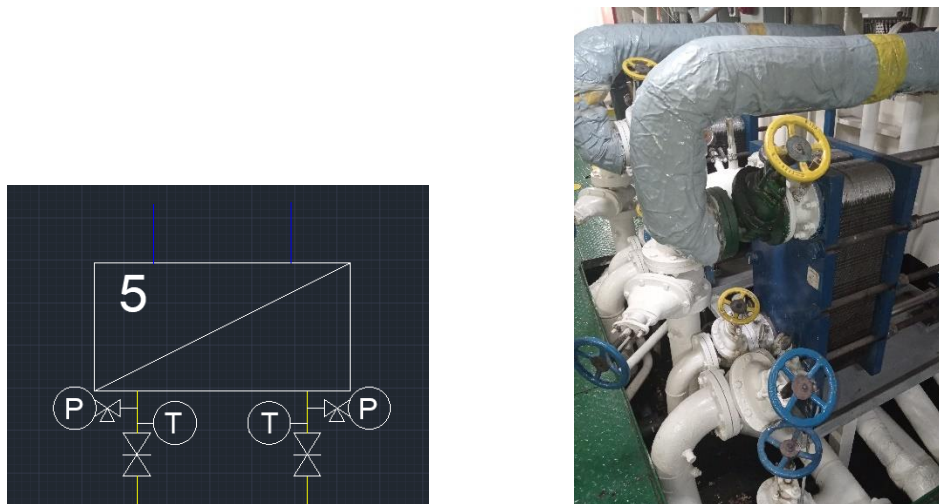


Figura 108 Representación enfr. aceite MMPP

Figura 109 Enfr. aceite MMPP

9. Filtros dobles

A la salida del enfriador, el aceite se dirige a los filtros dobles de cartuchos de papel. Este es el último elemento filtrante del circuito y es el que tiene un grado de filtrado más alto. Normalmente, el filtro tiene ambas partes funcionando, por lo cual se alcanzará una duración más larga de los cartuchos. La diferencia de presiones antes y después del filtro puede controlarse en el panel de parámetros de control. Con el motor en caliente la diferencia de presiones no debe exceder de 1 bar. Cuando la presión supere 1 bar, los cartuchos y la rejilla deberán sustituirse o limpiarse en el caso de la rejilla. Cuando sea necesario realizar la sustitución con el motor en marcha se debe modificar la posición del grifo para que el aceite únicamente pase por una de las partes mientras se sustituye la otra. Cuando el motor realiza grandes paradas es recomendable la sustitución de los cartuchos de papel, ya que el riesgo de llevar suciedad a los cojinetes del motor es menor.

A la salida del filtro, el aceite se dirige a los diferentes elementos que requieren de lubricación, como los turbocompresores, el eje de camones, bombas de inyección, cojinetes, entre otros. Tras pasar por los elementos del motor, el aceite es recogido en el cárter y desde allí drenado hasta el tanque dónde volverá a ser aspirado por las bombas.

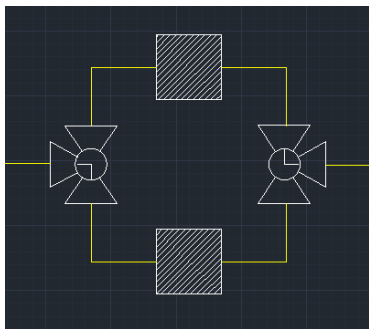


Figura 110 Repr. filtro cartuchos

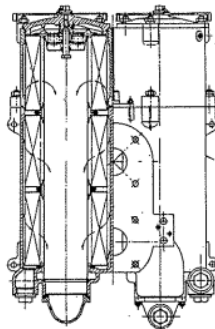


Figura 111 Vista filtro cartuchos



Figura 112 Filtro cartuchos

10. Desaireaciones

El cárter cuenta con una desaireación para evitar que se produzca una sobrepresión por la acumulación de gases en su interior. La desaireación cuenta con un elemento filtrante que evita que las partículas de aceite sean expulsadas hacia el exterior. La desaireación expulsa los gases por la chimenea.

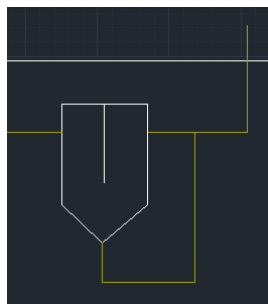


Figura 113 Representación desaireaciones



Figura 114 Desaireaciones

Circuito de aceite de reductoras

1. Bomba acoplada

La carcasa de la reductora está diseñada para almacenar el aceite empleado en la parte baja del cárter. La bomba de lubricación acoplada es la encargada de mantener el caudal de aceite en todo el conjunto de engranajes y cojinetes, aun girando el motor a bajas revoluciones. La bomba es del tipo de engranajes, tiene dos engranajes, uno de ellos unido a los engranajes principales de la reductora mediante una rueda dentada. La bomba cuenta con una válvula limitadora de presión que dirige el exceso de aceite de la descarga a la aspiración.

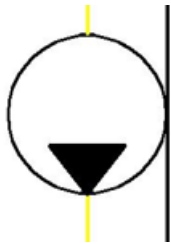


Figura 115 Repr. bba acoplada aceite reductora

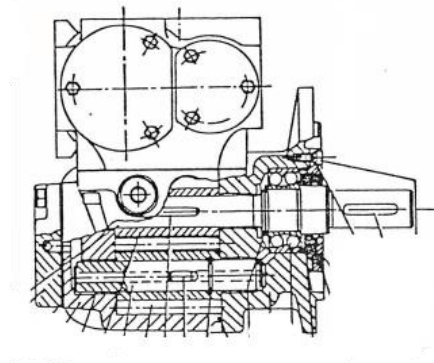


Figura 116 Vista bba acoplada reductora



Figura 117 Bba acoplada reductora

2. Bomba de reserva

La bomba de reserva tiene la función de mantener la presión de aceite en el arranque y parada del motor. La bomba de reserva es idéntica a la acoplada, del tipo de engranajes, la diferencia es que la bomba de reserva es movida por un motor eléctrico. El motor eléctrico es de inducción trifásico, alimentado a 380 V y 50 Hz. Gira a 1430 rpm y tiene una potencia de 4 kW.

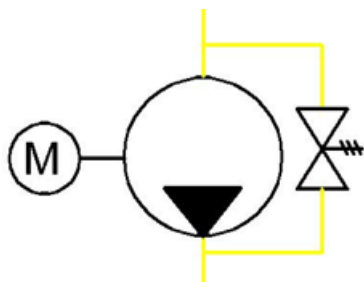


Figura 118 Repr. bba reserva reducotra



Figura 119 Bba reserva reductora

3. Filtro doble

La descarga de la bomba se dirige a los filtros dobles, formados por dos cuerpos de filtrantes, unidos por un macho de tres vías y dos escalones. Los cuerpos del filtro están diseñados conforme al escalón de presión según las correspondientes normas aplicables. Los filtros dobles se emplean en los casos en que la regeneración de los suplementos ensuciados tiene que hacerse sin desconectar la instalación, como es el caso de la reductora. Es posible poner en funcionamiento las dos cámaras de filtrado.

El filtro está constituido por dos elementos principales, una malla metálica para retener las partículas, y un imán para retener las partículas ferromagnéticas.

A la salida del filtro el aceite se dirige al enfriador.

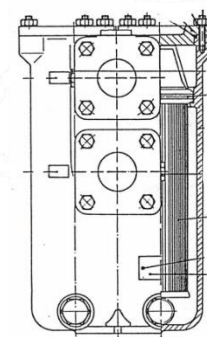


Figura 120 Vista filtro aceite reductora

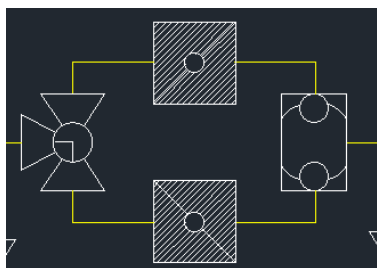


Figura 121 Repr. filtros duplex reductora



Figura 122 Filtros de aceite reductora

4. Enfriador

Como se ha explicado en el circuito de agua de baja temperatura, la reductora cuenta con un intercambiador de calor de placas para la refrigeración del aceite. El intercambiador está colocado en horizontal con una longitud de 1 metro. Tiene un total de 32 placas y el material de las juntas es el nitrilo. Como norma general, la presión del agua de refrigeración deberá ser inferior a la del aceite para evitar que, si se producen fugas en el refrigerador, penetre agua en el aceite y se dañe el reductor.

A la salida del enfriador, el aceite se dirige al interior de la reductora. Antes de entrar a la reductora hay una válvula de seguridad para mantener la presión de aceite en unos valores constantes.

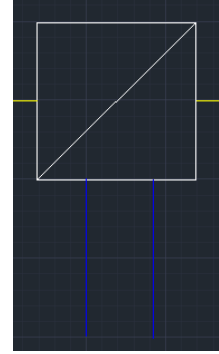


Figura 123 Enfriador de aceite reductora

Elementos de medición y control

Del circuito de aceite podemos destacar el medidor diferencial de presión, el cual es muy utilizado para medir la presión diferencial a la salida y la entrada de los filtros

Medidor diferencial de presión

El medidor diferencial de presiones se compone de dos cámaras separadas por una membrana, dónde a una cámara le llega combustible de la salida del filtro y a otra de la entrada. A un lado de la membrana hay un émbolo con un muelle de compresión tarado para que en reposo el diferencial de presión sea cero. Cuando la presión aumenta, la membrana desplaza el émbolo en contra del muelle, y cuando la presión consigue vencer completamente al muelle se activan los dos contactos Reed que inician el proceso de lavado. Con el movimiento del émbolo también aparece en un visor una señal roja para ver la diferencia de presiones. Este dispositivo es alimentado con una tensión de 220 V a 50 Hz.

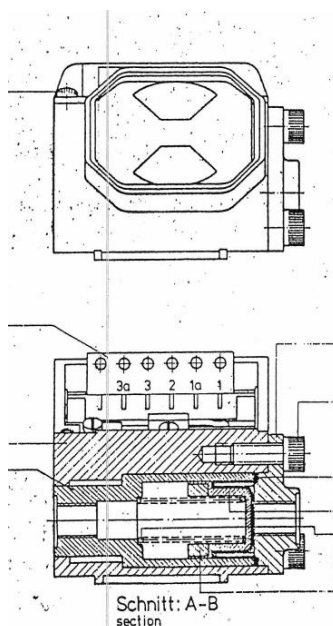


Figura 124 Medidor diferencial de presión

Conclusiones

Tras 8 meses embarcado, en dos buques diferentes, he coincidido con un buen número de oficiales y uno de los mejores consejos que he recibido por su parte, es la importancia de conocer el barco. Al llegar de primer embarque a un buque es necesario un tiempo de adaptación, pero es necesario saber identificar los elementos esenciales de los equipos del barco lo antes posible. Muchos de los conocimientos básicos son similares entre barcos, por lo que teniendo una idea general de los equipos y circuitos más importantes, la adaptación a un nuevo barco es mucho más sencilla. Dentro de los tres circuitos que se han analizado, se ha podido identificar todos los elementos que son de necesario conocimiento para ser un buen profesional. Entre los elementos clave de los circuitos estudiados podemos destacar:

- las válvulas necesarias para incomunicar los motores, tanto de combustible, aceite o agua
- la válvula para seleccionar el calentador del módulo de combustible
- las válvulas que se utilizan para cambiar las bombas de los módulos
- las válvulas para realizar los cambios de combustible
- las válvulas de tres vías para seleccionar el punto de retorno de combustible y las válvulas para comunicar la entrada de combustible con el retorno
- las válvulas de aspiración de los tanques de combustible
- las válvulas de vaciado de agua de los motores y de los tanques de compensación
- el funcionamiento de las válvulas termostáticas
- el sistema de precalentamiento de los motores
- los grifos que se utilizan en los filtros dúplex

Durante el desarrollo del trabajo se ha visto que la temperatura de los fluidos a la hora de diseñar los circuitos es uno de los factores más importantes. Es fundamental una correcta distribución de los componentes, ya que en los tres circuitos, sobre todo el de agua, hay una gran cantidad de elementos de refrigeración o calefacción y es importante tener en cuenta los saltos de temperatura del fluido al pasar por estos elementos intercambiadores de calor. En el caso del circuito de agua, los elementos que requieran de un mayor poder de refrigeración deberán situarse lo antes posible tras las bombas de circulación, ya que estas reciben el agua de los enfriadores de agua salada, o de los enfriadores de agua AT en el circuito de alta.

Además de influir en la distribución de los equipos, la temperatura de los fluidos también puede influir en el ámbito estructural. Siempre que sea posible se va a intentar que un fluido que aumente de temperatura siga una trayectoria ascendente y uno que se enfríe una trayectoria descendente. Este hecho se debe a la variación de densidad de los fluidos al enfriarse y calentarse. Un ejemplo muy claro de este hecho son los intercambiadores de calor de placas, donde el fluido de mayor temperatura entra por la parte superior y el fluido refrigerante entra por la parte inferior. Otro ejemplo es el paso de agua de AT por el motor, ya que con el motor en marcha el agua entra por abajo, se calienta y sale por la parte superior, en cambio, con el precalentamiento en marcha el agua entra por la parte superior y tras enfriarse sale por la parte inferior.

Se ha estudiado el funcionamiento de los diferentes tipos de bombas que hay en los circuitos y se puede ver una diferencia muy clara entre el tipo de bombas utilizadas en sistemas de agua y

en los sistemas de aceite o combustible. Los circuitos de agua emplean bombas centrífugas normalmente y los circuitos de aceite y combustible, bombas de husillos o engranajes. Los factores que influyen a la hora de emplear unas bombas u otras son básicamente el caudal y la presión. Las bombas centrífugas permiten mover un gran volumen de agua en poco tiempo, que es lo importante, ya que para la función de refrigeración se busca el mayor flujo de refrigerante posible. En cambio, las bombas de husillo o engranajes ofrecen altas presiones, sin implicar eso un alto caudal. Este hecho es bueno en los sistemas de aceite o combustible, porque el flujo debe mantenerse prácticamente constante a altas presiones.

En el circuito de combustible y en el agua se ha podido ver como los tanques se suelen situar en altura. En el caso del circuito de combustible esto se debe a que así se fuerza que la alimentación de los módulos sea por gravedad y, además, para que en el caso de una caída de planta el combustible también llegue por gravedad a las bombas de emergencia. En el caso de los tanques de compensación de agua, al situarlos a una altura mucho mayor que el propio circuito se consigue que el llenado se efectúe por gravedad, ya que la presión ejercida por la diferencia de alturas es mayor a la que hay en las tuberías del circuito.

En los sistemas de combustible y aceite se han estudiado una gran variedad de filtros, ambos fluidos requieren de un buen tratamiento para que desempeñen adecuadamente sus funciones. En el caso del fuel se debe realizar un filtrado por la gran cantidad de suciedad que trae, y cuanto más se retire esta suciedad mayor será la vida útil de inyectores y bombas. En el caso del aceite, se realiza un filtrado por varias etapas para asegurarse de que el aceite entra al motor completamente limpio, ya que la presencia de agua o partículas sólidas puede derivar en consecuencias muy graves. Ambos sistemas cuentan con depuradoras, que no han sido representadas en los circuitos, al pertenecer estas a los circuitos de trasiego tanto de combustible como de aceite.

Los intercambiadores de calor son en su mayoría de placas, ya que ofrecen un muy buen rendimiento. También se han visto algunos enfriadores tubulares, aunque menos, ya que no ofrecen tan buen rendimiento. No se han visto calentadores eléctricos, ya que ofrecen peores rendimientos que los dos anteriores, de hecho, el circuito de combustible cuenta con un calentador eléctrico fuera de servicio.

Tras revisar los circuitos viejos del buque se ha podido comprobar como pese a su antigüedad la información se correspondía al estado actual del buque. Los planos se han digitalizado para mejorar su consulta y conservación de cara al futuro.

La mejor de haber realizado el trabajo sobre este tema, no es la gran cantidad de cosas que se han aprendido, sino el darse cuenta de toda la cantidad de cosas que aún quedan por aprender. Un barco es tan complejo y tiene tantos equipos y sistemas que por cada pregunta que resuelves te surgen dos más. Es la parte más bonita de esta profesión seguramente, la gran cantidad de cosas que hay que aprender y ponen a prueba a uno mismo día tras día.

Bibliografía

Información sobre el funcionamiento de los sensores Pt100 en:

<<https://guide.directindustry.com/es/que-sensor-de-temperatura-elegir/>>

<<https://srcsl.com/que-es-un-sensor-pt100/>>

Información sobre el funcionamiento de los transductores de presión:

<<https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/transmisor-de-presion1>>

<<https://www.bloginstrumentacion.com/productos/como-funciona-un-transmisor-de-presion/>>

Información sobre el funcionamiento de los interruptores de nivel:

<https://guide.directindustry.com/es/que-interruptor-de-nivel-elegir/>

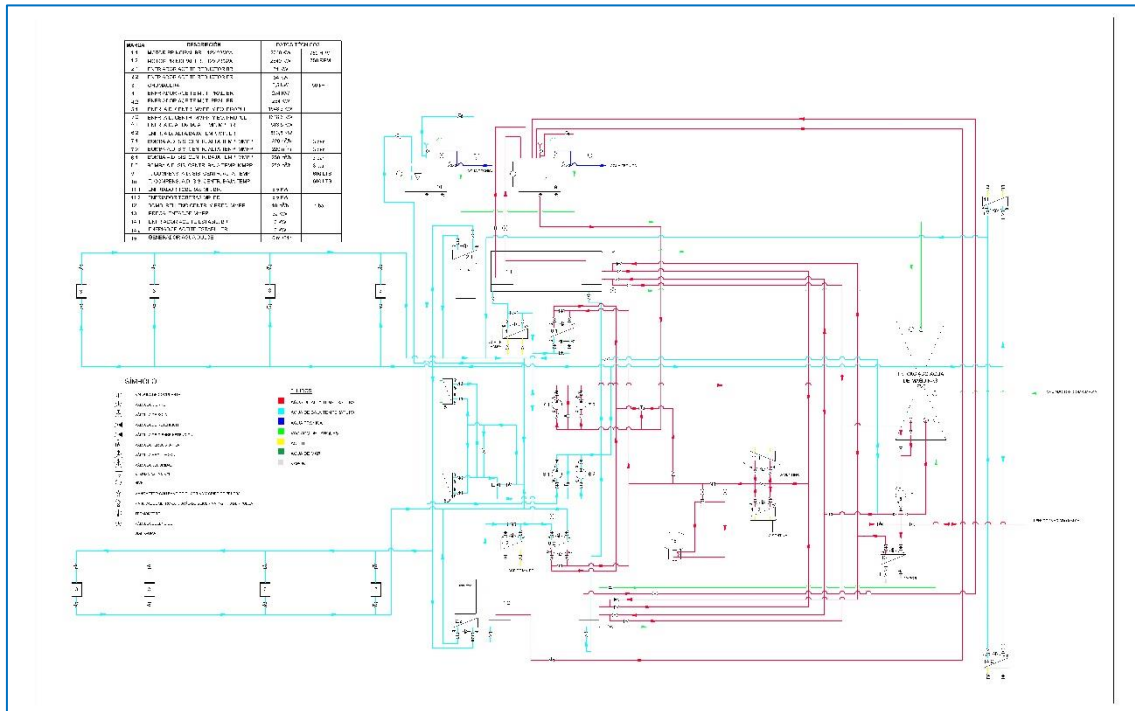
Manual de funcionamiento del motor MAN B&W 28/32 A

Manual de instrucciones de los intercambiadores de placas Alfa-Laval

Manual de funcionamiento de la reductora Navilus GCH

Ficha de características de las bombas centrífugas AZCUE

Plano del circuito de agua de refrigeración de los MMPP y equipos de propulsión



https://drive.google.com/file/d/1hhFvcQ_4-yKMI6RfYX49AAKjTRM7I4IS/view?usp=sharing

