



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Análisis del sistema de propulsión del Patrullero “Tabarca”.
Mantenimiento y mejoras del sistema*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: José Ramón Úbeda Calvo

DIRECTORES: Miguel Ángel Álvarez Feijoo
Guillermo Lareo Calviño

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Análisis del sistema de propulsión del Patrullero “Tabarca”.
Mantenimiento y mejoras del sistema*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

El buque de la Armada Española “P-28 Tabarca” fue construido en el año 1980 y entregado a la Armada el 31 de diciembre de 1981 por la empresa española “Bazán” (actual “Navantia”) en los astilleros de San Fernando (Cádiz).

La propulsión del mismo está formada por un único motor principal del tipo “Bazán MTU 16V 956 TB91” que posee una potencia de 4.500 CV y le proporciona una velocidad máxima de 15 nudos.

Este motor tiene un ciclo de trabajo diésel de 4 tiempos, y consta de 16 cilindros en V con dos sistemas de refrigeración, uno de agua dulce tratada con un sistema de aceite y otro de agua salada aspirada del mar.

Por lo que el presente trabajo se centra en el estudio del estado de funcionamiento del motor Bazán MTU 16V 956 TB91, realizando para ello el plan de mantenimiento, la gama de limpieza, y el estudio de los elementos críticos y reparaciones, así como de la posibilidad de ampliar su vida útil de 6.000 horas (como tenía previsto de fábrica) a 9.000 horas. Por último, se plantearán una serie de medidas orientadas a mejorar el sistema de propulsión del buque, como son la posibilidad de un motor eléctrico a modo de propulsión secundaria, el cambio del regulador de velocidad del motor y la instalación de un sistema de intercambio de calor de los gases de escape para generar agua caliente sanitaria.

PALABRAS CLAVE

Mantenimiento, motor de combustión, propulsión marina.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la ayuda y el apoyo prestado al profesor del Centro Universitario de la Defensa, el Sr. D. Miguel Ángel Álvarez Feijoo, a la dotación del “P-28 Tabarca” y a mi familia.

CONTENIDO

1	Introducción.....	1
1.1	Objeto y alcance del presente trabajo	1
1.2	Motor de combustión	1
1.2.1	Motores de combustión externa.....	2
1.2.2	Motores de combustión interna	2
1.3	Motores de combustión marinos	6
2	Sistemas de propulsión marina.....	9
2.1	Introducción a la propulsión marina	9
2.2	Propulsión a vapor	10
2.3	Motor de combustión interna	11
2.4	Turbina de vapor	12
2.5	Turbina de gas	12
2.6	Configuraciones de potencia de motores diésel y turbinas	13
2.6.1	CODAD (combined diésel and diésel)	14
2.6.2	COGOG (Combined gas or gas).....	14
2.6.3	COGAG (Combined gas and gas)	15
2.6.4	CODOG (Combined diésel or gas).....	16
2.6.5	CODAG (Combined diésel and gas)	17
2.6.6	CODAG WARP (Combined diésel and gas Water jet and Refined propeller)	19
2.7	Configuraciones de potencia con motores eléctricos	20
2.7.1	CODLAG (Combined diésel electric and gas)	21
2.7.2	FEP (Full electric propulsion)	22
2.8	Propulsión nuclear.....	23
3	Patrullero P-28 “Tabarca”	25
3.1	Generalidades del motor	25
3.1.1	Bloque general del motor.....	29
3.1.2	Exhaustor del bloque motor.....	30
3.1.3	Distribución del motor.....	31
3.1.4	Árbol de levas	31
3.1.5	Tren de engranajes	32
3.1.6	Tren alternativo.....	33

3.1.7 Eje Cigüeñal.....	34
3.1.8 Compensación de masas	34
3.1.9 Engrase del cigüeñal	35
3.1.10 El pistón.....	35
3.1.11 Cabeza del pistón.....	36
3.1.12 La Biela.....	36
3.1.13 Cojinetes de cabeza de biela	37
3.1.14 Culata.....	37
3.1.15 Camisa del motor.....	38
3.1.16 Amortiguador de vibraciones	38
3.1.17 Válvulas de admisión y escape	39
3.1.18 Circuito de agua de refrigeración	40
3.1.19 Circuito de agua dulce	40
3.1.20 Circuito de agua salada o cruda	42
3.1.21 Sistema de lubricación.....	43
3.1.22 Circuito de combustible.....	44
3.1.23 Sistema de arranque	45
3.1.24 Sobrealimentación	46
3.1.25 Regulador de velocidad	49
3.1.26 Bomba de inyección de combustible	49
4 El mantenimiento	51
4.1 Introducción	51
4.2 Gama de limpieza.....	51
4.3 Plan de mantenimiento.....	52
4.4 Averías frecuentes.....	62
4.5 Elementos críticos	63
4.5.1 Inyectores de combustible del motor.....	64
Tabla 13 Elemento críticos: inyector de combustible.....	64
4.5.2 Mangueras del circuito de refrigeración	65
4.5.3 Bomba de agua de refrigeración	66
4.5.4 Bomba de inyección	68
4.5.5 Sistema de combustión de los cilindros.....	69
5 Mejoras del sistema	71
5.1 Instalación de un motor auxiliar.....	71
5.2 Regulador de velocidad del motor	72
5.3 Sistema de recuperación del calor de los gases de escape	77

6 Conclusiones y líneas futuras	81
6.1 Conclusiones	81
6.2 Líneas futuras	82
7 Bibliografía.....	83
8 Anexos.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Esquema del motor de dos tiempos	4
Figura 1-2 Ciclo del motor de dos tiempos	5
Figura 1-3 Ciclo de motor de 4 tiempos	6
Figura 2-1 Esquema básico de propulsión marina	9
Figura 2-2 Ciclo de vapor.....	11
Figura 2-3 Turbina de vapor.....	12
Figura 2-4 Turbina de gas	13
Figura 2-5 CODAD	14
Figura 2-6 COGOG	15
Figura 2-7 COGAG	15
Figura 2-8 CODOG de las F-100	16
Figura 2-9 Esquema CODAG	17
Figura 2-10 Propulsión CODAG.....	18
Figura 2-11 Reductora cruzada	18
Figura 2-12 Waterjet	19
Figura 2-13 CODAG WARP	20
Figura 2-14 Refrigeración en el sistema.....	20
Figura 2-15 CODLAG.....	21
Figura 2-16 FEP (Type 45)	22
Figura 2-17 Reactor BWR.....	23
Figura 2-18 Reactor PWR	24
Figura 3-1 Diagrama circular del motor.....	26
Figura 3-2 Dimensiones del motor	27
Figura 3-3 Numeración de los lados y cilindros del motor	27
Figura 3-4 Esquema general del motor	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3-5 Esquema del bloque motor	30
Figura 3-6 Esquema del exhaustor del bloque motor.....	31
Figura 3-7 Esquema de tren de engranajes del motor	32
Figura 3-8 Leyenda del tren de engranajes.....	32
Figura 3-9 Sistema de distribución.....	33
Figura 3-10 Cigüeñal.....	34
Figura 3-11 Fijación axial del cigüeñal	35

Figura 3-12 Pistón	36
Figura 3-13 Biela.....	37
Figura 3-14 Culata.....	38
Figura 3-15 Amortiguador de vibraciones	39
Figura 3-16 Válvulas	39
Figura 3-17 Circuito de agua de refrigeración tratada.....	41
Figura 3-18 Circuito de refrigeración secundario	42
Figura 3-19 Circuito de aceite a mecanismos	43
Figura 3-20 Circuito de refrigeración de pistones.....	44
Figura 3-21 Sistema de combustible	45
Figura 3-22 Sistema de arranque por aire a presión.....	46
Figura 3-23 Turbosobrealimentador.....	47
Figura 3-24 Refrigerador del aire de carga.....	48
Figura 3-25 Bomba de inyección	50
Figura 5-1 Limitador de arranque	72
Figura 5-2 Regulador de velocidad	73
Figura 5-3 Esquema del regulador en plena carga	73
Figura 5-4 Regulador del motor	74
Figura 5-5 Posición de marcha en vacío.....	74
Figura 5-6 Membranas del regulador a plena carga	75
Figura 5-7 Regulador de velocidad UG.....	76
Figura 5-8 Esquema general del regulador.....	77
Figura 5-9 Intercambiador de calor	78
Figura 5-10 Cogeneración en motor diésel	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Gama de limpieza.....	52
Tabla 2 Plan de mantenimiento:sistema general	54
Tabla 3 Plan de mantenimiento (2)	55
Tabla 4 Plan de mantenimiento (3)	56
Tabla 5 Plan de mantenimiento (4)	57
Tabla 6 Plan de mantenimiento (5)	58
Tabla 7 Plan de mantenimiento (6)	59
Tabla 8 Plan de mantenimiento (7)	59
Tabla 9 Plan de mantenimiento (8)	60
Tabla 10 Plan de mantenimiento (9)	60
Tabla 11 Plan de mantenimiento W6	61
Tabla 12 Averías GALIA	63
Tabla 13 Elemento crítico: inyector de combustible.....	64
Tabla 14 Elementos críticos: manguera del circuito de refrigeración.....	65
Tabla 15 Elementos críticos: bomba de agua del circuito de refrigeración	66
Tabla 16 Elementos críticos: Bomba de inyección de combustible.....	68
Tabla 17 Elementos críticos: sistema de combustión de los cilindros	69

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objeto y alcance del presente trabajo

El objetivo principal de este trabajo es el estudio y análisis del plan de mantenimiento y del funcionamiento del motor “Bazán MTU 16V 956 TB91” del patrullero “P-28 Tabarca”, con base en la Escuela Naval Militar (Marín), y de las posibles líneas de actuación futuras para poder mejorar su rendimiento y/o su funcionamiento

Con lo anteriormente descrito se pretende poder determinar lo siguiente:

- Correcto uso del plan de mantenimiento (correctivo, preventivo y predictivo)
- Realización de las gamas de limpieza del motor
- Ampliación de la vida útil del motor de 6.000 a 9.000 horas
- Estudio de las posibles mejoras de rendimiento
- Líneas futuras de actuación

1.2 Motor de combustión

El motor de combustión es una máquina capaz de transformar en movimiento parte de la energía proveniente de la combustión de una determinada sustancia, denominada combustible. Los motores de combustión se dividen principalmente en dos tipos:

- Motores de combustión externa
- Motores de combustión interna

Los primeros motores de combustión datan del siglo XVIII, cuando en el año 1782 James Watt creó la máquina de vapor, que sería precursora de los distintos tipos de motores de combustión que se han ido desarrollando.

Así, en 1859 el ingeniero franco-belga Etienne Lenoir crea el primer motor de combustión interna, que se vería notablemente mejorado por el motor de Nikolaus Otto (1877), de 4 tiempos y que daría nombre a uno de los ciclos de combustión actuales.

Posteriormente, en 1892 el alemán Rudolf Diesel crea un motor (posteriormente denominado “Motor Diesel”) que funciona con un combustible quemado a gran presión, y que en la práctica era mucho más eficiente que los motores existentes en aquella época.

Es reseñable también la creación del primer motor de pistón rotativo por el alemán Félix Wankel.

Ya en 1937, el ingeniero británico Frank Whittle construye el primer motor a reacción, y en 1939 el ingeniero alemán Hans von Ohain construye y pilota el primer avión con éste tipo de propulsión [1].

1.2.1 Motores de combustión externa

Un motor de combustión externa es una máquina que realiza una conversión de energía calorífica en energía mecánica mediante un proceso de combustión realizado fuera de la máquina, generalmente calentando agua, que en forma de vapor, es la que realizará el trabajo. Es posible realizar el trabajo utilizando otro gas como hidrógeno o helio.

El funcionamiento de estos motores es contrario a los de combustión interna, ya que en éstos últimos es el propio combustible el que realiza el trabajo. [2]

El ejemplo más importante del motor de combustión externa es la máquina de vapor, que transforma la energía térmica de una cantidad de agua en energía mecánica. Su ciclo de trabajo posee dos etapas:

- Generar vapor de agua por el calentamiento en una caldera cerrada herméticamente, lo cual produce la expansión del volumen de un cilindro empujando un pistón. Mediante un mecanismo de biela – manivela, el movimiento del pistón del cilindro se transforma en un movimiento de rotación. Alcanzado el final de carrera, el émbolo retorna a la posición inicial y expulsa el vapor de agua utilizando la energía cinética de un volante de inercia.
- El vapor a presión se controla mediante una serie de válvulas de entrada y salida que regulan la renovación de la carga; es decir, los flujos del vapor hacia y desde el cilindro.

1.2.2 Motores de combustión interna

Es un tipo de máquina que obtiene la energía mecánica directamente de la explosión de un combustible que arde directamente dentro de la cámara de combustión.

Los motores de combustión interna se pueden clasificar, según el tipo de lubricación:

- **Cárter seco:** No poseen recipiente de aceite, y la lubricación entra en el motor a través de la mezcla de lubricante junto con la gasolina. Es común en los motores pequeños de 2 tiempos, ya que la propia naturaleza del motor hace que las piezas en movimiento entren en contacto con la mezcla aire-combustible de la alimentación.
- **Cárter húmedo:** Tienen una carcasa (cárter) que contiene lubricante, que se hace circular por las distintas piezas móviles a través de un circuito de lubricación. [3]

Según su modo de operar:

- **Motores con mecanismo pistón-biela-manivela:** Usa estos tres elementos para convertir el movimiento recíproco de un pistón en movimiento rotatorio continuo de un árbol.
- **Motores rotativos:** Conocido como motor Wankel, el cigüeñal permanece fijo y el motor entero gira a su alrededor. Utilizado por la empresa “Mazda” de automóviles y en aviones ultraligeros.

Según el tipo de combustible que utiliza:

- Motores Diesel: La combustión se produce mediante el autoencendido del combustible debido a las altas temperaturas alcanzadas derivadas de la compresión del aire en el interior del cilindro.
- Motor Otto: Este motor utiliza un encendido de combustión provocado por una bujía que genera una chispa. Existen de 2 y de 4 tiempos.

Según la forma de alimentación:

- De aspiración natural: La propia fuerza de succión del pistón sirve para aspirar el combustible en la alimentación y llenar el cilindro.
- Sobrealimentados: Aspiración forzada donde la succión del pistón es asistida por un compresor.

Según los ciclos de trabajo:

- De dos tiempos: Realiza las cuatro etapas del ciclo de termodinámico (admisión, compresión, explosión y escape) en dos movimientos lineales del pistón.
- De cuatro tiempos: Precisa de 4 carreras del pistón para completar el ciclo termodinámico.

Según la disposición de los cilindros:

- Motores en línea: Cilindros colocados uno detrás de otro.
- Motores en V: Dispuestos en bloque, formando cierto ángulo, logrando disminuir el tamaño del motor.
- Motores de cilindros opuestos: El bloque forma un ángulo de 180°, permitiendo un funcionamiento más equilibrado del motor.
- Motores de cilindros radiales: Cilindros dispuestos en estrella. [3, 4]

1.2.2.1 Motores Diésel

El motor diésel fue inventado en 1893 por el ingeniero alemán Rudolf Diesel, empleado de la empresa “MAN”, que por aquellos años ya despuntaba en la producción de motores y vehículos de carga de rango pesado.

Rudolf estudiaba los motores de alto rendimiento térmico, con el uso de combustibles alternativos en los motores de combustión interna. Durante años trabajó para poder utilizar combustibles diferentes a la gasolina, basados en principios de los motores de compresión sin ignición por chispa, cuyos orígenes se remontan a la máquina de vapor y poseen una mayor prestación. Así, en 1897, se introduce el primer motor conforme a sus estudios, con un combustible poco volátil, llamado “Fuel-Oil”. [4]

El motor diésel de cuatro tiempos está formado por:

- Bloque de motor: Pieza fundida en hierro o aluminio que aloja los cilindros del motor y los soportes de apoyo del cigüeñal.
- Culata: Parte superior del motor que permite el cierre de las cámaras de combustión.
- Cigüeñal: Eje acodado, con codos y contrapesos presente en los motores que transforma el movimiento rectilíneo alternativo en un movimiento circular uniforme.
- Volante de inercia: Elemento pasivo que aporta al sistema una inercia adicional que le permite almacenar la energía cinética. Continúa su movimiento por inercia cuando cesa el par motor que lo propulsa.

- Pistón: Constituye la pared móvil de la cámara de combustión, transmitiendo la energía de los gases de la combustión a la biela mediante un movimiento alternativo dentro del cilindro.
- Segmentos: Aro de metal que recorre la superficie exterior del pistón.
- Árbol de Levas: Mecanismo formado por un eje con distintas levas colocadas, que activan diferentes mecanismos a intervalos repetitivos, como por ejemplo unas válvulas, constituyendo un temporizador mecánico-cíclico.
- Válvulas: Mecanismo que regula el flujo de la comunicación entre dos partes del motor.
- Cáster: Es una caja metálica que aloja los mecanismos operativos del motor. Cierra el bloque del motor de forma estanca por la parte inferior del mismo.

El funcionamiento del motor diésel se basa en la ignición del combustible al ser inyectado muy pulverizado y con alta presión en una cámara que contiene aire a una temperatura superior a la temperatura de auto combustión, por lo que no necesita generar una chispa como en los motores de gasolina. Esto se denomina autoinflamación.

La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo del motor, la compresión. El combustible se inyecta en la parte superior de la cámara a gran presión desde unos orificios muy pequeños del inyector, de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión. Como resultado, la mezcla se inflama rápidamente. Esto ocasiona que el gas se expanda, expulsando el pistón hacia fuera.

Según el número de carreras del pistón en el ciclo termodinámico se pueden clasificar en dos tipos: Motores de dos tiempos y de cuatro tiempos. [5]

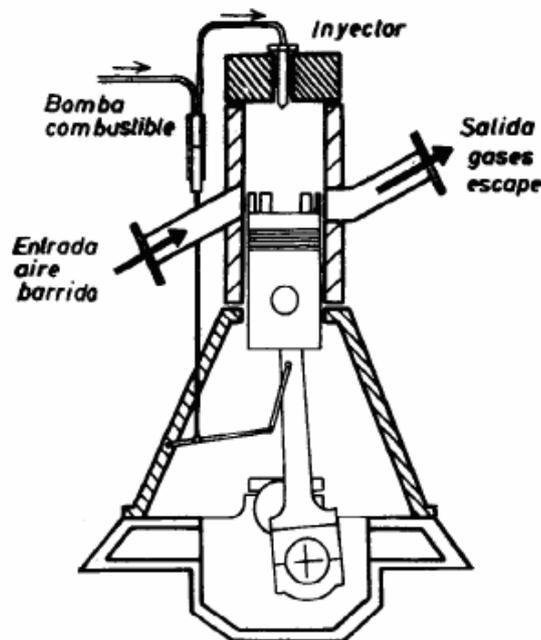


Figura 1-1 Esquema del motor de dos tiempos

Los de dos tiempos reciben esta denominación porque necesitan dos carreras o tiempos para realizar el ciclo. Estos tiempos son:

- En la primera carrera del pistón, éste desciende a causa de la presión producida por la combustión, permitiendo que las lumbreras o las válvulas se abran para desalojar los gases

de escape pertenecientes al anterior ciclo. Dicho gas comienza a salir al exterior y en el instante siguiente el propio movimiento del pistón permite que se abran las lumbreras de admisión, dejando entrar el aire limpio del siguiente ciclo de combustión. Además, éste aire ayuda a que los gases de la combustión salgan al exterior.

- Una vez que el pistón llega al PMI (Punto muerto inferior) comienza a ascender hasta el PMS (Punto muerto superior), tapando las lumbreras de admisión y de escape, comprimiendo así el gas recientemente admitido para el siguiente ciclo de combustión.

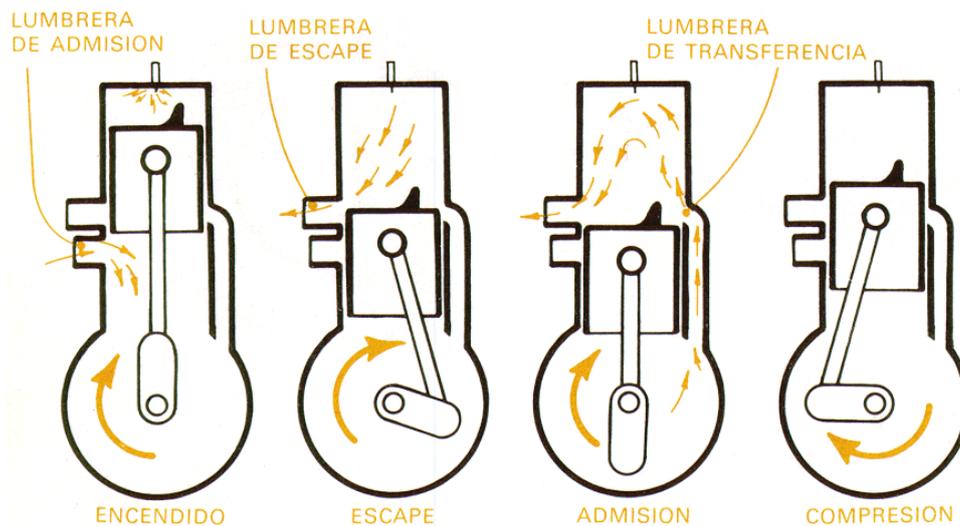


Figura 1-2 Ciclo del motor de dos tiempos

En cambio, los de cuatro tiempos, realizan los siguientes:

- Admisión (1ª carrera): En este momento el émbolo se encuentra descendiendo hasta el punto más bajo (Punto Muerto Inferior, PMI), y al mismo tiempo la válvula de admisión se mantiene abierta y la de escape cerrada. El aire entra en el cilindro a presión atmosférica por la mencionada válvula de admisión gracias al vacío provocado por el propio movimiento descendente del pistón.
- Compresión (2ª carrera): Las dos válvulas permanecen cerradas, mientras comienza a subir el émbolo hasta el PMS (punto muerto superior), aumentando la temperatura del aire previamente introducido en el cilindro gracias a la compresión que genera.
- Combustión-Expansión (3ª carrera): Inmediatamente antes de llegar el pistón al PMS se comienza a inyectar combustible en el interior del cilindro. La mezcla del aire caliente a alta presión con el combustible produce la deseada combustión, aumentando la presión y expandiendo el gas, que a su vez empuja el émbolo hacia el PMI. En esta carrera es en la que se produce el trabajo.
- Escape: (4ª carrera): Cuando llega el émbolo al PMI se abre la válvula de escape, expulsando los gases a medida que los empuja el émbolo en el movimiento de subida. A continuación se reinicia el ciclo. [9]

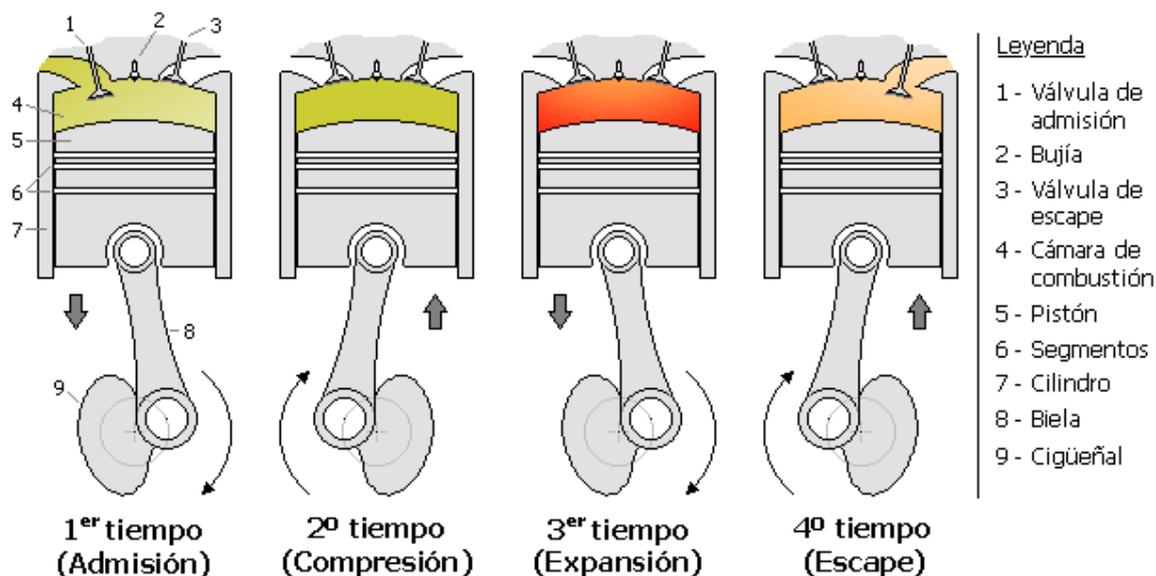


Figura 1-3 Ciclo de motor de 4 tiempos

1.3 Motores de combustión marinos

La mayoría de los llamados motores marinos no lo son en realidad, son adaptaciones de motores industriales o de automoción adecuados para su uso en el mar. Sin embargo, la mayoría de los motores de camiones o grandes motores suministran movimiento a elevadas revoluciones por minuto, lo cual no es apropiado para impulsar un buque con una hélice convencional, ya que ésta debería ser muy pequeña para poder girar a la velocidad exigida por el propio motor. Esto es muy ineficaz, ya que la hélice de los barcos debe ser lo más grande posible y girar más despacio. Es por esto que los motores marinos necesitan reductoras.

En función de su aplicación se pueden utilizar motores de gasolina o de gasóleo, siendo los primeros adecuados para embarcaciones pequeñas de alta velocidad gracias a su relación potencia/peso, y los últimos para embarcaciones pesadas. Mientras los de gasolina son más ligeros y baratos, los diésel son más caros y pesados, aunque son más seguros y fiables. [8]

Dependiendo del tamaño del buque y el tipo de motor, están equipados generalmente con un turbocompresor, y se dividen en:

- Para medianos y grandes buques de carga, como petroleros, graneleros y portacontenedores usan motores de rangos de velocidad entre 60 y 250 rpm, que trabajan en un ciclo de dos tiempos con una relativa baja compresión, reversibles y que actúan directamente sobre la hélice. Por esto, no es necesario un engranaje de reducción de velocidad. Desde 4 a 14 cilindros.
- Velocidad media, motores diésel de 4 tiempos con velocidades hasta 1200 rpm de pequeñas o medianas dimensiones, empleados en buques de carga, pasaje y de guerra. Dependiendo del tamaño hasta 20 cilindros en V. Requieren engranaje reductor o generadores de accionamiento para propulsión diésel-eléctrico
- Alta velocidad, hasta 2000 rpm en navegación interior y deportiva.

Atendiendo al tipo de transmisión podemos distinguir:

- Transmisión por reductora: Motores de alta y media velocidad en el que se debe reducir la velocidad del motor para adecuarla a la de la hélice. Los engranajes se utilizan con acoplamientos conmutables y tomas de fuerza para el generador del buque. En los no reversibles existe un engranaje de inversión para invertir la rotación de la hélice.
- Diesel-Eléctrica: Consiste en hacer funcionar un generador eléctrico mediante un motor diésel. Algunos buques modernos, como cruceros o rompehielos, utilizan motores eléctricos llamados propulsores azimutales para permitir la rotación de 360° de la hélice, lo que los hace muchísimo más maniobrables. [8]

2 SISTEMAS DE PROPULSIÓN MARINA

2.1 Introducción a la propulsión marina

La función de cualquier motor marino es convertir la energía química de un combustible en trabajo útil y usarlo en la propulsión o movimiento del barco. La embarcación se mueve por el agua propulsada por elementos que imparten movimiento y velocidad mediante una columna de agua en dirección opuesta a la dirección que se quiere mover la embarcación. Ésta fuerza se denomina fuerza de reacción, porque reacciona a la de la columna de agua, y es generada contra el elemento que imparte velocidad. [10]

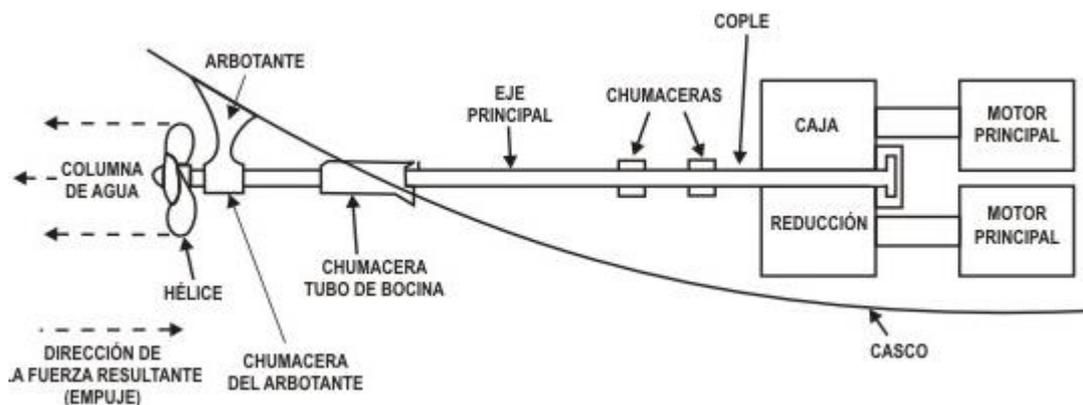


Figura 2-1 Esquema básico de propulsión marina

Los primeros elementos que se utilizaron para generar esa fuerza de empuje a los buques fueron los siguientes:

- Remos: Fue el primer invento ideado por el hombre, que consta de una caña y un extremo en forma plana. Tradicionalmente de madera, aunque ahora se fabrican de metal, y aunque fueron el método de impulso para los buques en una época, en la actualidad están destinados únicamente a embarcaciones pequeñas de pesca o de recreo.
- Rueda de paletas: Se atribuye a los barcos de vapor. Estaban constituidas generalmente por dos ruedas a la altura de la cuaderna maestra, que eran de madera o hierro, y las paletas, que siguieron siendo fabricadas en madera. Algunas embarcaciones que las empleaban, las combinaban con mástiles y velas, sobretodo buques de navegación fluvial de poco calado.

Sin embargo, en ocasiones podían interferir ambos sistemas de propulsión, perjudicando en definitiva al avance del buque.

Pero la invención de la máquina de vapor fue el punto de inflexión para el desarrollo de la propulsión naval. Momento a partir del cual fueron evolucionando los sistemas de propulsión basados en combustibles como la madera o en los combustibles fósiles. También es importante destacar el uso de combustibles nucleares, cuya principal ventaja es su elevada autonomía. Sin embargo, están poco extendidos por el elevado coste de este tipo de sistemas de propulsión y por su extrema peligrosidad.

A continuación, se describen brevemente los diversos sistemas de propulsión marina utilizados por la Armada desde la aparición de la máquina de vapor. [11]

2.2 Propulsión a vapor

Desde que los buques comienzan a contar con máquinas para propulsarse, el vapor ha sido un elemento fundamental en el desarrollo de la propulsión naval. Actualmente, pese a que las plantas tradicionales de vapor han caído en desuso como sistema de propulsión principal, sus principios se encuentran vigentes aún en las grandes plantas de propulsión nuclear de buques de guerra de gran tamaño. Sus componentes principales son:

- Caldera: Quema algún tipo de combustible fósil para producir calor y generar el vapor necesario.
- Máquina principal: Grupo de turbinas a vapor de diferentes características que tienen la finalidad de aprovechar de manera más eficiente el vapor.
- Condensador principal: Trabaja con presión de vacío, para lo cual cuenta con un compresor de aire. Su función es condensar el vapor a la salida de la turbina.
- Bomba: Extrae el líquido saturado del condensador.
- Tanque de nivel: Aloja el líquido saturado hasta convertirlo en agua de alimentación.
- Tanque de agua de alimentación: Mantiene un volumen de agua suficiente que asegura su funcionamiento continuo.
- Bomba de alimentación: Extrae el agua del tanque de alimentación y la introduce en la caldera para reiniciar el ciclo. [12]

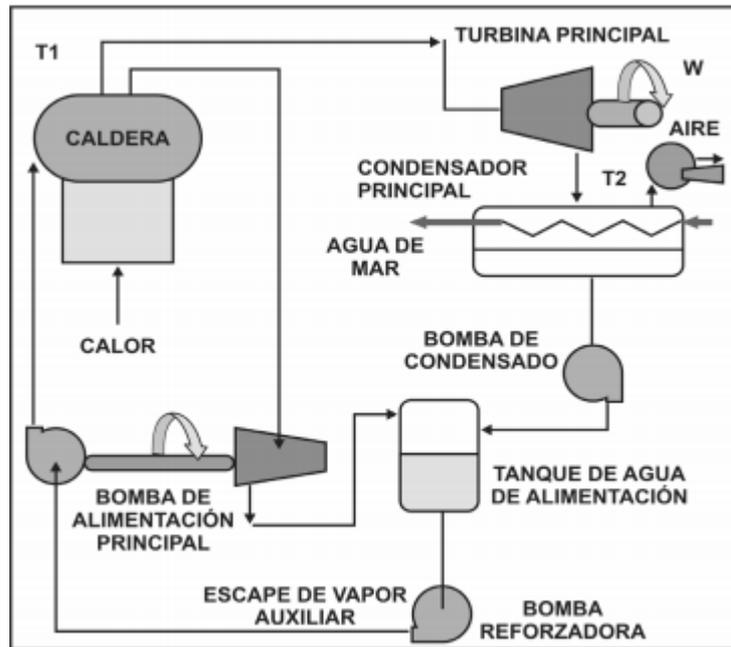


Figura 2-2 Ciclo de vapor

2.3 Motor de combustión interna

Alrededor de 1780 se empieza a emplear el vapor para la propulsión naval mediante grandes paletas en ambos costados de los buques. Estos eran los primeros vapores, realmente veleros a los que se les añadía motores de vapor.

A partir del siglo XX los buques de acero con hélice eran más grandes y permitían el transporte de grandes cantidades de producto a largas distancias. El primer motor Diésel entró en servicio en San Luis en 1898, y se trataba de un motor de dos cilindros y 60 CV. Con nuevos ensayos y experiencias fue desarrollándose poco a poco con nuevas mejoras y un rendimiento cada vez más alto imponiéndose así a las otras máquinas de la industria. En el ámbito marino había mucho escepticismo a la hora de apostar por las nuevas tecnologías debido al enorme coste que representaba y a la exigencia de fiabilidad.

Cuando la casa "Sulzer" construyó el primer motor diésel reversible de la historia en 1905, se solventa un gran requerimiento del mundo marino para su aplicación. Era de dos tiempos reversible, y fue mejorado cuando se introdujo más tarde el sistema de pistones refrigerados y se suprimieron las válvulas de escape. El funcionamiento de los motores diésel terrestres era tan perfecto, que pasados unos años pudo experimentarse también en barcos. En 1910 se instala en un buque un motor diésel de seis cilindros que desarrollaba 50 CV. Era la primera prueba de un motor de este tipo en navegación marina.

Además, se optó por emplear petróleo en vez de carbón por su sistema de almacenaje mucho más eficiente. En aquella época aún se utilizaban mucho las turbinas de vapor para la propulsión de buques debido a las elevadas potencias desarrollables. Sin embargo, los motores diésel fueron mejorando progresivamente con la inclusión de nuevos materiales en su fabricación, el consumo y sus prestaciones crecieron con la turboalimentación, lo que aumentó considerablemente la potencia. Todas estas ventajas hicieron que los grandes barcos de carga implantaran el motor de combustión interna alternativo. [13]

2.4 Turbina de vapor

Es una turbomáquina motora que sirve para transformar energía de un flujo de vapor en energía mecánica mediante un intercambio de cantidad de movimiento entre el fluido de trabajo (vapor) y el rodete o rotor, órgano principal de la turbina, donde se encuentran los álabes. Éstos tienen una forma especial para poder realizar el intercambio energético.

Las turbinas de vapor están presentes en diversos ciclos de potencia utilizando un fluido que sea capaz de cambiar de fase. El ciclo más habitual que utilizan es el de Rankine, el cual genera vapor en una caldera, que sale a una elevada temperatura y presión. En la turbina se transforma la energía propia del vapor en energía mecánica mediante el movimiento y éste, a su vez, es aprovechado por un generador para producir electricidad.

La turbina posee dos partes diferenciadas: El rotor, que cuenta con las ruedas de álabes unidas al eje (parte móvil de la turbina) y el estator, también formado por álabes, pero no unidos al eje si no a la carcasa de la turbina. [15, 16]

Por tanto, la transformación de la energía de las turbinas se realiza en dos fases:

- En la primera fase la energía térmica del vapor se convierte en energía cinética a su paso por las toberas.
- En la segunda fase, la energía cinética se convierte en mecánica al actuar sobre los alabes.

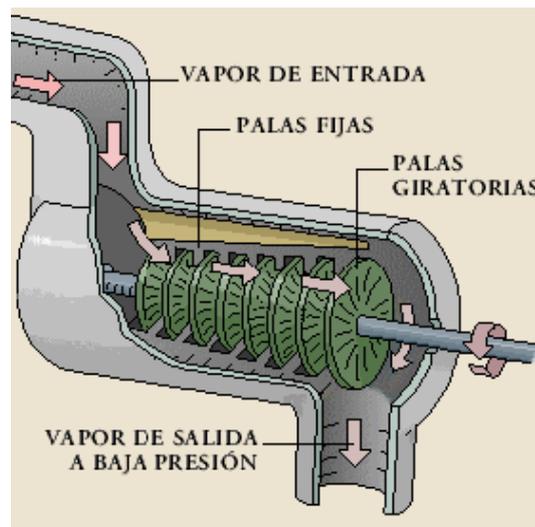


Figura 2-3 Turbina de vapor

2.5 Turbina de gas

Son motores térmicos rotativos de flujo continuo que utiliza el gas como medio de trabajo, y convierte energía térmica en energía mecánica, con una baja relación peso/potencia y una velocidad de giro muy elevada. Su combustible es el gas natural o el queroseno.

Una turbina de gas incluye un compresor que aspira aire a presión atmosférica y lo comprime, para más tarde inyectarlo en la cámara de combustión. El combustible, gas o nebulizado, también se inyecta en esa cámara, y se produce la combustión. Los productos salen de la cámara por las toberas y hace que se mueva la propia turbina, que impulsa una carga externa como un generador eléctrico.

Así, se puede observar que el fluido que circula por la turbina primero es aire en la entrada del compresor, que se mezcla con el combustible y avanza por la turbina y se descarga. La turbina se puede dividir en cinco partes:

- Entrada

- Compresor
- Sistema de combustión
- Turbina propiamente dicha
- Descarga

Juntando los cinco elementos podemos llegar a la conclusión de que la turbina tiene un elemento generador de gases y un elemento generador de potencia. El generador de gases se compone del compresor, la cámara de combustión (donde tiene lugar la combustión) y la turbina de expansión de gases, que solo obtienen potencia necesaria para mover los compresores. [17]

Algunas de las ventajas de las turbinas de gas en la propulsión de barcos son:

- Son compactas y de bajo peso: Permite obtener grandes potencias con tamaños y pesos pequeños.
- Gas limpio en el escape: Los métodos de control de emisiones tradicionales están siendo sustituidos por los nuevos sistemas a base de cámaras de combustión en seco.
- Baja vibración: Todo el movimiento es rotatorio, por tanto la vibración producida es pequeña, aproximadamente un cuarto de la producida por motores diésel.
- Bajo coste de mantenimiento: Solo requieren mantenimientos cada uno o dos meses.
- Consumo de aceite de lubricación: Muy reducido.
- No necesitan agua de enfriamiento, lo que hace el sistema más fiable.

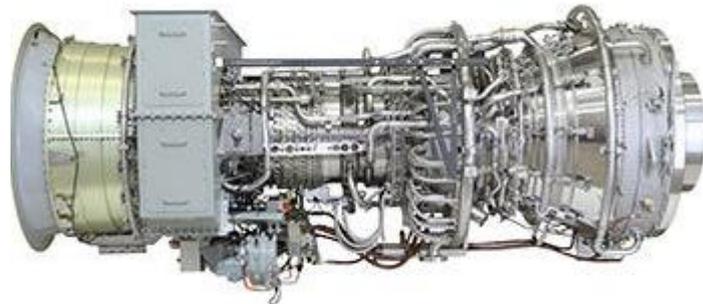


Figura 2-4 Turbina de gas

2.6 Configuraciones de potencia de motores diésel y turbinas

Intenta combinar las ventajas de ambos elementos, con el fin de conseguir una planta propulsora equilibrada y que responda a las distintas necesidades operativas con el máximo rendimiento posible. El motor diésel, con menor potencia pero con mejores prestaciones de consumo se destina a los regímenes de crucero o de baja velocidad, logrando así reservar la turbina de gas para los momentos en los que el buque necesite más potencia. También se pueden emplear configuraciones con uno de estos elementos únicamente. [17]

2.6.1 CODAD (*combined diésel and diésel*)

En ésta configuración se combinan dos motores diésel mediante una reductora, y se aplica a un eje. A la salida de cada motor se instala un embrague, lo que posibilita que la potencia la proporcione un solo motor o los dos al mismo tiempo acoplados. En barcos pequeños, dos motores diésel podrán propulsar un solo eje, o si hay dos ejes, se podrá realizar con cuatro motores diésel y dos reductoras. En velocidades bajas o de crucero se puede utilizar uno de ellos únicamente, mientras que cuando se necesita más potencia se embragan los dos.

Las ventajas de este sistema son el menor coste, la gran autonomía y una baja radiación de calor, mientras que los inconvenientes son las bajas potencias asociadas a las bajas velocidades y aceleraciones y una fuerte huella acústica. [17]

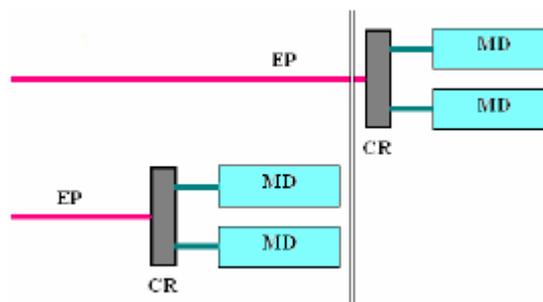


Figura 2-5 CODAD

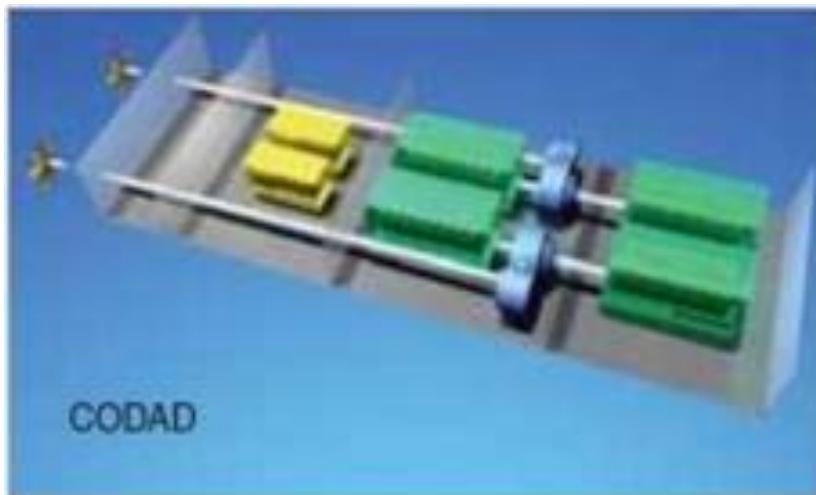


Figura 2-6 Configuración CODAD

2.6.2 COGOG (*Combined gas or gas*)

En ésta configuración, al contrario que en la anterior, se emplean dos turbinas de gas, una para velocidad de crucero y otra para elevadas velocidades.

Este sistema permite utilizar una de las dos turbinas de gas, pero es importante tener en cuenta que no permite utilizarlas simultáneamente.

Los elementos son dos turbinas de gas: una de baja potencia y alto rendimiento y otra de alta potencia. Se disponen de dos reductoras a la salida de las turbinas (una por cada turbina) y dos ejes que permiten la alternancia entre ambas turbinas. Las reductoras acoplan las turbinas a los ejes.

La turbina de baja potencia y alto rendimiento se utiliza para velocidad de crucero y se alterna con la de alta potencia en caso de requerir mayores velocidades. La ventaja de los sistemas alternantes es evitar una reductora costosa y compleja que debería realizar diversas tareas de sincronización. Esto elevaría notablemente el tamaño necesario de la reductora. Sin embargo, como inconveniente, hay que reseñar que al no poder combinar las dos turbinas, se está desaprovechando la potencia que suministrarían las dos al mismo tiempo. [17]

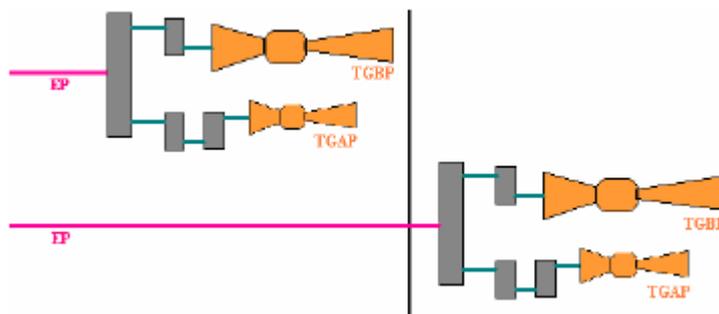


Figura 2-7 COGOG

2.6.3 COGAG (Combined gas and gas)

En esta configuración se utilizan dos turbinas de gas, en general de la misma potencia. Se puede emplear una sola o las dos simultáneamente sumando sus potencias. Consta de dos turbinas de gas, con sus dos reductoras u sus ejes correspondientes. Admite, pues, dos configuraciones, utilizando una de ellas para crucero y la segunda acoplada para altas velocidades.

Tiene la ventaja de una baja firma acústica y permite el uso alternado de las dos turbinas, juntas o en solitario, combinándolas para las bajas y las altas velocidades. Sin embargo, el rendimiento de la planta no es elevado y se justifica cuando el tamaño de la planta es relativamente pequeño y el desplazamiento del buque obliga a altas potencias incluso para velocidades de crucero. [17]

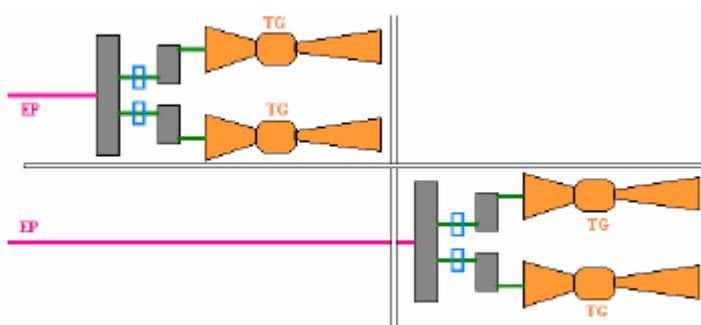


Figura 2-8 COGAG

2.6.4 CODOG (Combined diésel or gas)

Se combina el uso de motores diésel y turbinas de gas, con configuraciones de mayor complejidad por la interacción de elementos muy diferentes. Se emplea un motor diésel y una turbina de gas que trabajan alternativamente. A la salida de la turbina se instala un reductor y el motor diésel se acopla a la reductora del eje propulsor, donde se integra su reductora.

La existencia de dos ejes (uno por elemento), permite alternar los dos dispositivos en una transición adecuada, utilizando por tanto el motor diésel para velocidad de crucero y en caso de necesidad, se desconecta y se conecta la turbina de gas.

De esta forma se aprovecha el motor diésel con menos potencia para velocidad de crucero y la turbina de gas para las aceleraciones y velocidades altas. El inconveniente es que no emplea la totalidad de la potencia instalada al no poder combinarlos al mismo tiempo. Sin embargo, el diseño y la construcción es mucho más sencilla y económica. Si el buque posee dos ejes, se montarían dos motores y dos turbinas de gas respectivamente. Esta configuración es la utilizada por la planta propulsora de las F-100 de la Armada Española, en cámaras separadas a lo largo de la eslora del buque, minimizando así el riesgo de pérdida por impacto. [17]

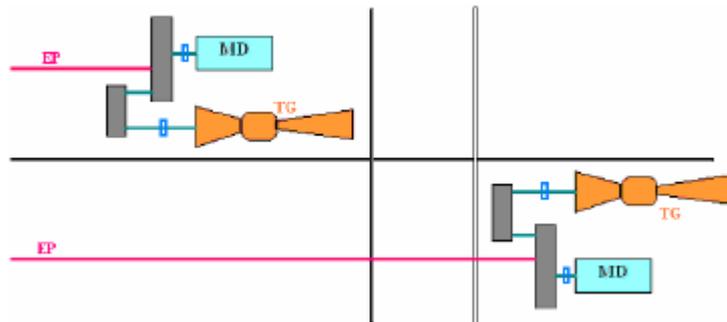


Figura 2-9 CODOG de las F-100

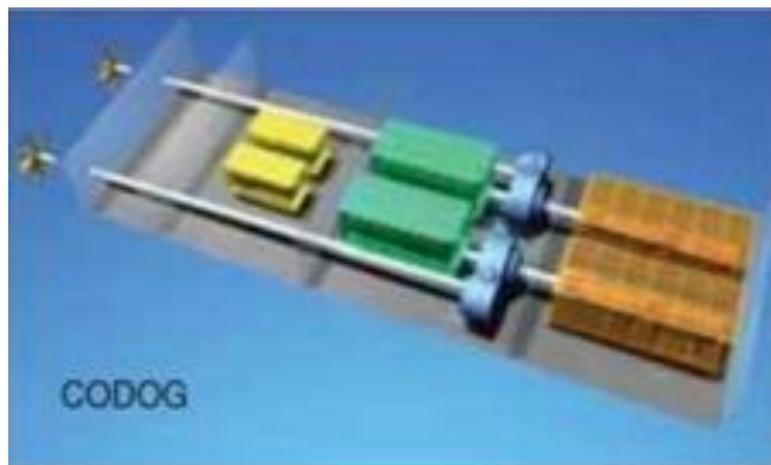


Figura 2-10 Configuración CODOG

2.6.5 CODAG (Combined diésel and gas)

Combinación de un motor diésel y una turbina de gas con un eje propulsor. La diferencia con el anterior se encuentra en la posibilidad de utilizar al mismo tiempo los dos elementos propulsores. No es muy distinto al CODOG, pero posee ciertas diferencias notables:

- La caja reductora del propulsor posee un diseño complejo, ya que debe ser capaz de sincronizar el motor diésel y la turbina de gas. Esto obliga a que haya que utilizar una reductora también más compleja a la salida del motor de gas, ya que la sincronización entre ambos sistemas debe ser posible en todos los rangos de potencia.
- La reductora debe ser capaz de ofrecer dos relaciones diferentes, una cuando funcionan los motores diésel únicamente y otra cuando se le acopla la turbina de gas. Esta configuración de la planta propulsora es utilizada por las Fragatas de la clase Fridtjof Nansen noruegas.

En la primera opción de configuración, se emplean un motor diésel y una turbina de gas por cada eje propulsor y se combinan de manera similar a la configuración CODOG, con reductoras separadas. La diferencia es que pueden actuar juntos.

En la segunda opción, se plantea la posibilidad de utilizar dos motores diésel y una turbina de gas acoplados a los dos ejes por medio de una reductora cruzada. Éste es el utilizado por las fragatas noruegas y la clase Sachsen alemana.

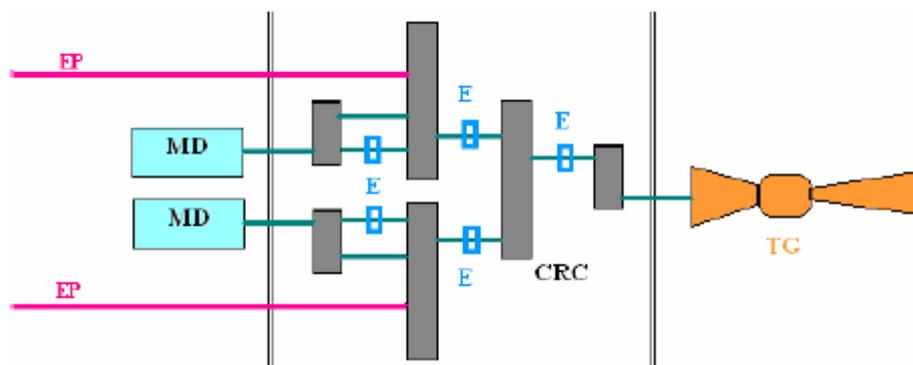


Figura 2-11 Esquema CODAG

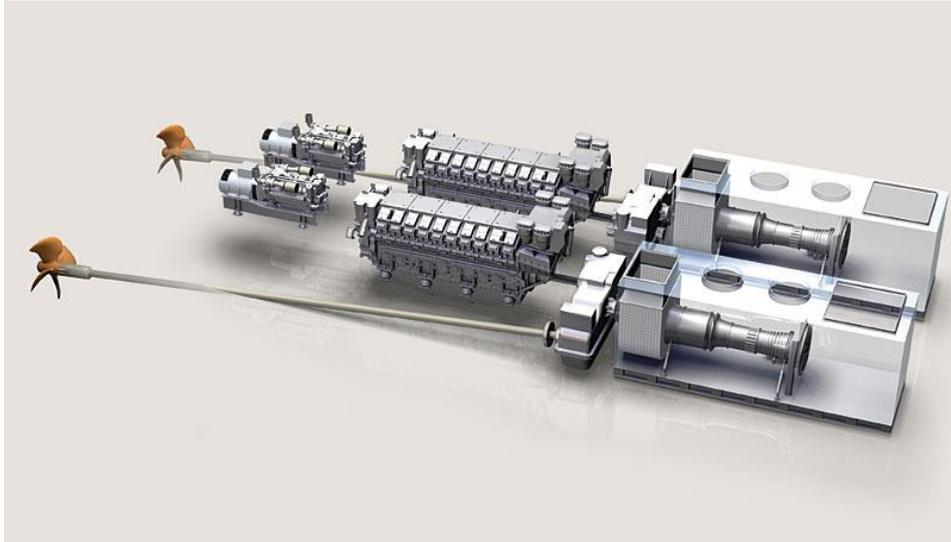


Figura 2-12 Propulsión CODAG

En el esquema podemos observar que la reductora de la turbina de gas se enlaza por medio de un embrague con la reductora cruzada. Al haber elementos pares se generan movimientos contra rotatorios en los ejes de salida. Al mismo tiempo, los motores diésel se conectan con una reductora a su salida y por medio de embragues a la reductora cruzada común. Este conjunto permite cambiar la relación de salida final sobre la reductora cruzada.

Además, el poseer una reductora cruzada permite dos cosas: que la turbina de gas alimente a los dos ejes y que sea posible un enlace mecánico entre cada motor diésel y los dos ejes propulsores, lo cual permite que un solo motor pueda transmitir potencia a los dos ejes.

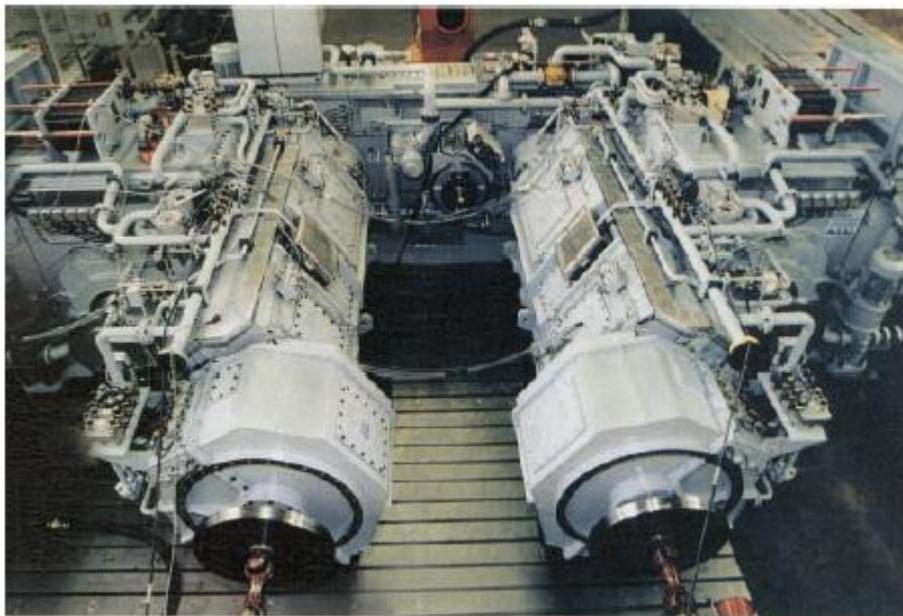


Figura 2-13 Reductora cruzada

La finalidad de este sistema es permitir utilizar para velocidad lenta un solo motor diésel, con el ahorro de combustible que conlleva, y a su vez, utilizar los dos motores a la vez para lograr una velocidad de hasta 18 nudos. Para los casos en los que se necesita una velocidad media y baja huella

acústica, la turbina de gas se adapta a la perfección. Por último, si necesitamos una velocidad mayor, se combinan las potencias de la turbina y de los motores diésel. [17]

2.6.6 CODAG WARP (*Combined diésel and gas Water jet and Refined propeller*)

Este sistema es una opción interesante planteada para fragatas ligeras y/o corbetas. Se basa en el acoplamiento de los motores diésel y la turbina de gas en el medio acuático, en lugar de realizarlo en el interior del buque con una reductora como se vio anteriormente.

Utiliza, por un lado, dos motores diésel con sus reductoras acopladas entre sí y su correspondiente eje, y por otro, una turbina de gas (a popa del buque) que conecta mediante su reductora un waterjet que trabaja como un tercer eje propulsor hidrodinámico. El acoplamiento de las dos reductoras (similar al CODAD), permite que un solo motor diésel potencie los dos ejes propulsores, y permite la utilización de los dos motores en caso de necesidad.

El waterjet es un sistema de propulsión que funciona aspirando agua de mar mediante una bomba, acelerándola en una tobera y expulsándola de nuevo al mar por un conducto de pequeño diámetro, provocando la fuerza de reacción y consiguiendo el empuje para impulsar la embarcación. Lo utilizan, por ejemplo, los buques tipo ferry de la empresa “Balearia”.

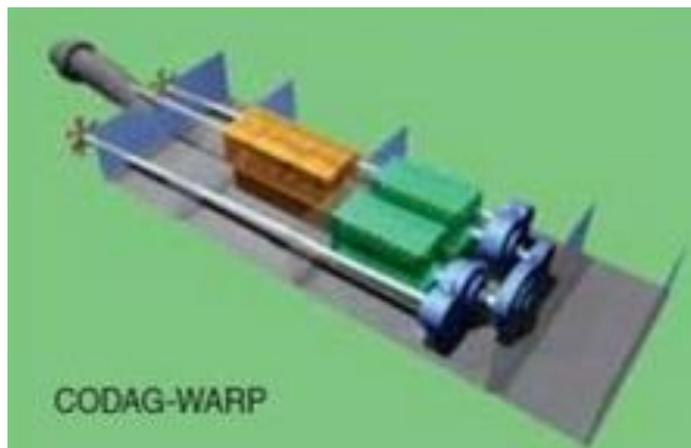


Figura 2-14 Configuración CODAG-WARP

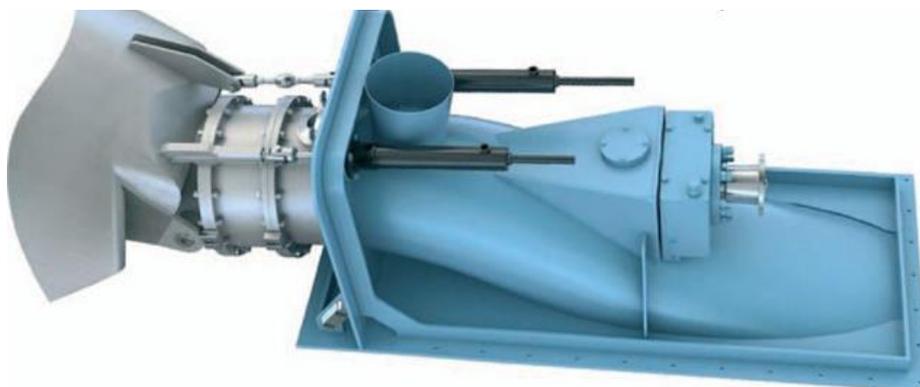


Figura 2-15 Waterjet

Sintetizando, llegamos a la conclusión de que se utilizan tres ejes: dos para las hélices tradicionales (motores diésel) y un tercero (normalmente en crujía) para el waterjet (turbina). Debido a que éste sistema es más compacto que una hélice normal, es posible utilizarlo en corbetas y fragatas, reduciendo el tamaño de las hélices hasta casi tres cuartas partes de su tamaño normal. Además, el reparto de potencia otorgaría a las hélices el 20% y al waterjet un 60%, disminuyendo las exigencias mecánicas de aquellas. Se utilizan motores diésel de media/alta potencia, de manera que con uno solo se pueden alcanzar velocidades de crucero. A su vez, el empleo de los dos, permite alcanzar una velocidad considerable (21-23 nudos). El añadido waterjet permite una mayor aceleración y su acoplamiento no es problemático, puesto que se hace de manera independiente sobre los ejes de los motores diésel.

El uso exclusivo del waterjet puede ser aconsejable en el caso de que se necesite una baja firma acústica, como por ejemplo en guerra anti-submarina. El hecho de que la turbina de gas no se acople a ninguna reductora, permite situarla en la popa del buque, lo cual permite guiar los conductos de escape de la misma y de los motores hacia el espejo de popa, descargando sobre el cubo deflector del waterjet y eliminando las chimeneas (firma infrarroja). [17]

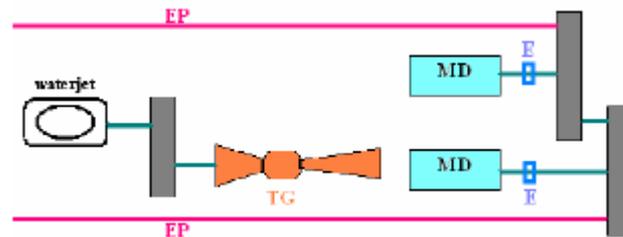


Figura 2-16 CODAG WARP

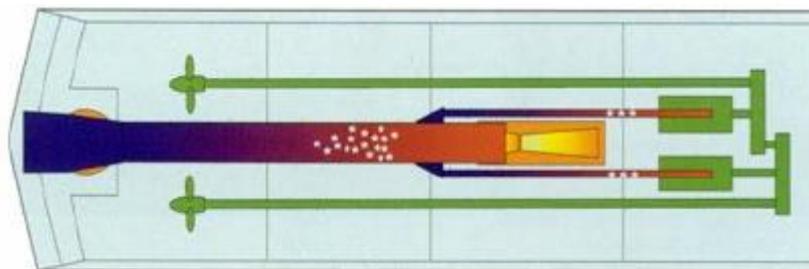


Figura 2-17 Refrigeración en el sistema

2.7 Configuraciones de potencia con motores eléctricos

La introducción de motores eléctricos en los buques se viene produciendo desde hace algunos años debido a la mejora del tratamiento de la corriente alterna junto con el desarrollo de nuevos motores menos pesados y de menor volumen. El principio básico de este tipo de planta radica en desacoplar mecánicamente la generación de potencia y su aplicación al eje propulsor. Así, la energía eléctrica se consigue almacenar y distribuir conectando los motores diésel o turbinas a alternadores, que la distribuyen a su vez a motores eléctricos acoplados a los ejes. Las ventajas que pueden suponer estos motores son, entre otras:

- Desacoplar mecánicamente la generación de potencia, eliminando las restricciones de tipo espacial al ubicar los generadores y así repartirlos a lo largo del buque según convenga.

- Eliminar reductoras y ejes de gran longitud, lo que simplifica sensiblemente el sistema, reduciendo complejidad y liberando espacio.
- Ubicar los generadores en cubiertas más superiores, disminuyendo la firma acústica.
- Control de motores eléctricos a través de frecuencia, lo que permite la variación continua de la velocidad de rotación para ajustarla a las necesidades operativas.
- Administración integral y completa de la energía, repartiendo recursos entre propulsión y servicios del buque, y evitando la existencia de generadores expresamente dedicados al suministro de energía.
- Permite una mayor posibilidad de supervivencia en caso de impacto, reduciendo la vulnerabilidad.

Estas ventajas se enfrentan a los inconvenientes como el bajo rendimiento, el gran tamaño o las dificultades de control y almacenamiento de la energía eléctrica. Una vez superados éstos inconvenientes, aparecen motores de alta potencia, que verán reducido su tamaño próximamente, aumentando su potencia incluso a bajos regímenes y su rendimiento. [17]

2.7.1 CODLAG (Combined diésel electric and gas)

En este tipo de planta, el funcionamiento es prácticamente idéntico a la de una planta CODAG, salvo por el hecho de que los motores diésel son sustituidos por motores eléctricos. Así, el sistema posee varios generadores diésel (no dejan de ser motores diésel conectados a alternadores) que suministran electricidad a una central, y ésta a su vez a los motores eléctricos. Los motores eléctricos son solidarios con los ejes y a su salida se acopla, mediante una reductora, una turbina de gas que suministra potencia a los dos ejes en caso de que sea necesario. La velocidad de crucero la proporcionan los silenciosos motores eléctricos y la potencia puntual la turbina de gas acoplada.

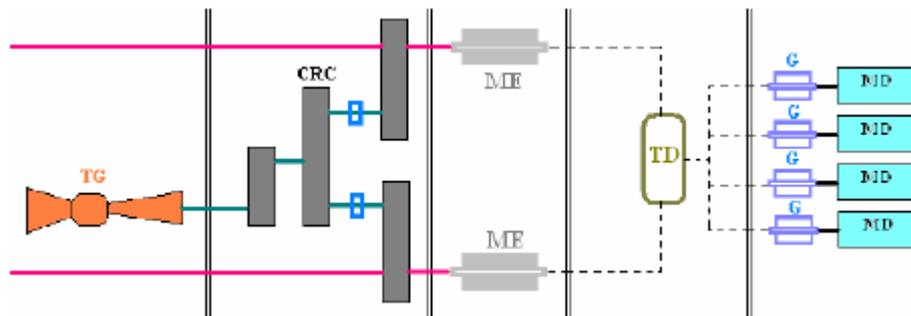


Figura 2-18 CODLAG

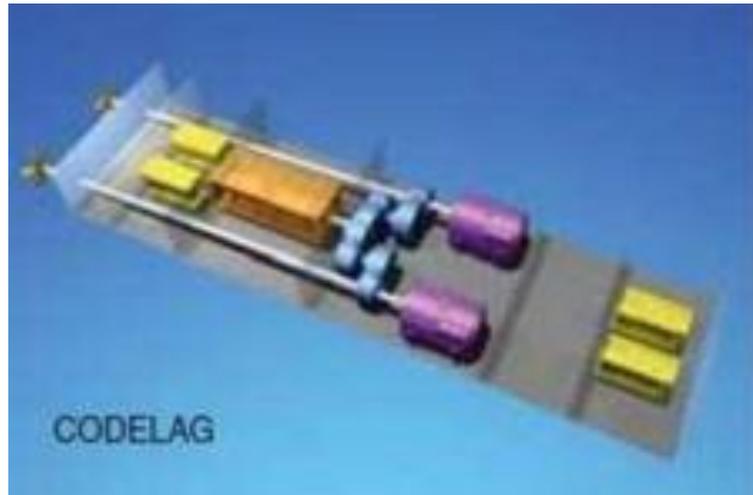


Figura 2-19 Configuración CODLAG

Esta configuración permite mover los ejes mediante un solo motor eléctrico, aunque cabe la posibilidad de utilizar dos motores y también los dos motores junto con la turbina de gas. La potencia de los motores eléctricos iguala cualquier sistema COGAG o CODOG con motor diésel. La ventaja es que los generadores pueden ser distribuidos en cubiertas superiores y son mucho más silenciosos y prácticamente carentes de vibraciones. Además, el consumo en configuración de motor eléctrico es muy reducido, debido a que los generadores pueden trabajar en su régimen de mayor rendimiento y al ser de potencias medio-bajas, su consumo es menor. [17]

2.7.2 FEP (Full electric propulsion)

En éste tipo se engloban varios conceptos, desde el Integrated Power System americano, hasta el Integrated Electric Power inglés, pasando por otros similares que varían según el grado de integración y control sobre el total de sistemas del buque.

En todos los casos, los generadores diésel y los turboalternadores (turbinas de gas conectadas a alternadores) general la energía eléctrica necesaria que se distribuye y se aplica a los motores eléctricos exclusivamente. Esto lleva a la necesidad de considerar motores eléctricos de potencia media o alta. Así, solo la serie de los Type 45 ingleses (clase Daring), serán los primeros buques tipo fragata que monten dicha configuración. [17]

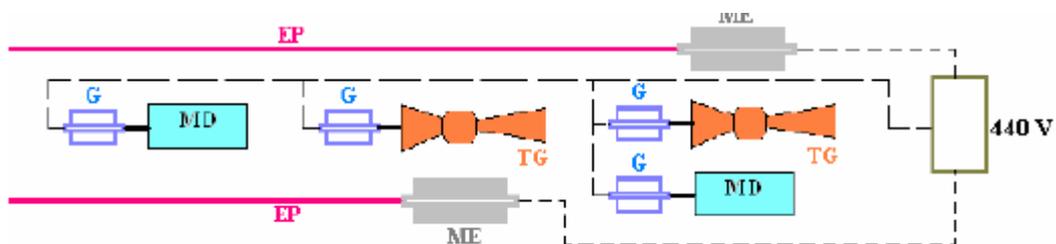


Figura 2-20 FEP (Type 45)

2.8 Propulsión nuclear

La energía nuclear se basa en que la fisión de los núcleos de uranio produce muy altas temperaturas. Cuando un neutrón “golpea” un átomo de uranio, libera calor y libera más neutrones, los cuales golpearán a otro átomo de uranio, y así sucesivamente, produciendo una reacción en cadena. Para contener toda ésta energía se utilizan barras de moderación (barras de boro). Absorben neutrones y sin neutrones no hay fisión ni reacción en cadena.

El reactor funciona normalmente sin las barras de moderación, ya que el enfriamiento que produce el agua que es evaporada es tanto como el calentamiento que producen los propios neutrones, manteniendo una temperatura equilibrada. Las barras solo se utilizan para moderar la reacción.

Existen dos tipos de reactores de agua liviana (LWR), que son los utilizados en la propulsión naval, aunque ambos tienen el mismo proceso prácticamente:

- Reactor de agua en ebullición (BWR): La fisión nuclear produce un calor, que se utiliza para evaporar agua, y éste vapor de agua hace girar los álabes de una turbina, que por medio de un alternador y un generador produce energía. Posteriormente, el agua usada se condensa y vuelve al reactor para reiniciarse el proceso. La temperatura máxima es de 800°C.

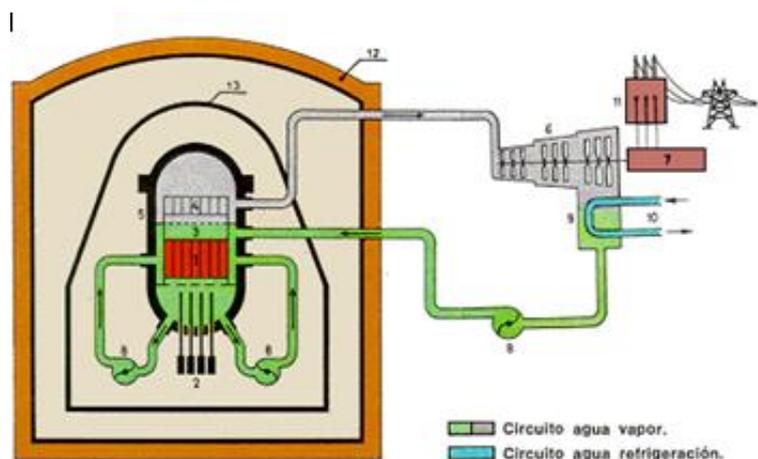


Figura 2-21 Reactor BWR

- Reactor de agua a presión (PWR): Tiene un funcionamiento más complejo, ya que cuenta con tres circuitos, dos internos y otro externo. El primer circuito interno contiene un presurizador que permite que el agua alcance altas temperaturas sin evaporarse. El segundo circuito interno, con agua a menor presión, entra en contacto con el primero, haciendo evaporar el agua que circula por él. A partir de aquí es similar al BWR, el vapor de agua se hace pasar por una turbina, haciendo girar los álabes y produciendo energía eléctrica. El tercer circuito (externo) utiliza agua externa para condensar el vapor del segundo circuito interno y así reutilizarla en el generador de vapor. Éste método es el más utilizado en buques de guerra ya que permite una mayor autonomía.

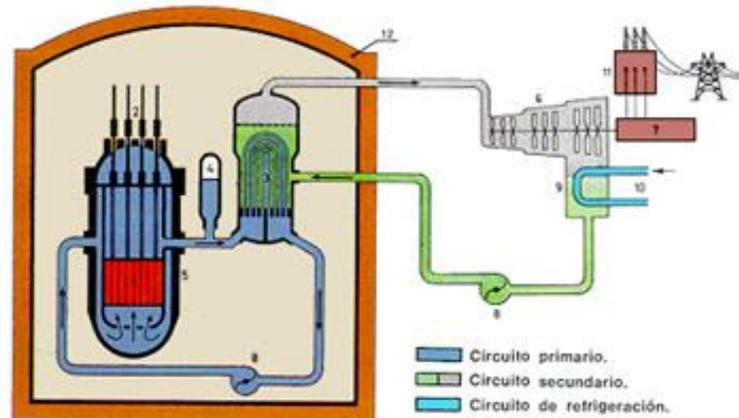


Figura 2-22 Reactor PWR

Una de las ventajas de la energía nuclear en buques es que no contamina el aire. Además, los residuos producidos son mucho menores en volumen. No producen CO₂, ni SO₂, que produce lluvia radioactiva. En una planta propulsora nuclear los residuos sólidos generados son un millón de veces menores en volumen a los de un motor diésel.

Otro beneficio es que al no necesitar tanques para almacenar ningún combustible, se puede utilizar ese espacio para otros menesteres. Además, el menor desplazamiento en lastre significa más desplazamiento neto y menos necesidad de recarga (repostaje), lo cual permite una autonomía casi infinita, limitada casi exclusivamente a las reservas de víveres.

Entre los buques que utilizan ésta planta propulsora se pueden encontrar los portaaviones y los submarinos de la US Navy, aunque existen más Armadas de distintos países que la utilizan en sus buques. [18]

3 PATRULLERO P-28 “TABARCA”

3.1 Generalidades del motor

El patrullero P-28 “Tabarca” monta un motor MTU modelo 16V 956 TB91, construido por la Empresa *Bazán* (actual *Navantia*) en la fábrica de Cartagena, contando con la patente de la casa alemana *MTU*. Este motor está presente en otros buques de la Armada, como por ejemplo las corbetas del tipo *Descubierta*, y los patrulleros clase *Lazaga* y clase *Anaga*. Las principales características y partes se enumeran y/o describen en este capítulo. [19]

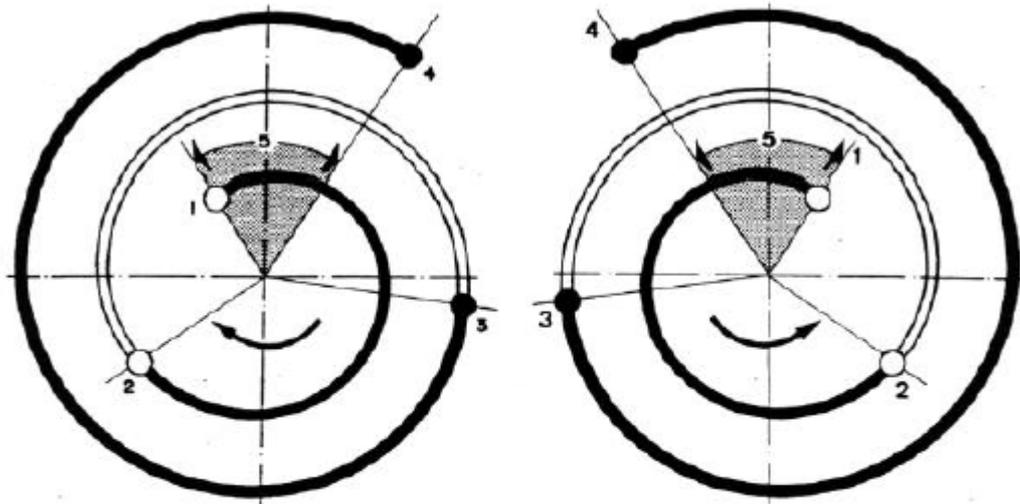
En cuanto a las características principales del motor, se deben reseñar las siguientes:

- Cuenta con 16 cilindros en “V” (8 en cada lado) con una disposición con ángulo de 50°.
- Ciclo de trabajo de cuatro tiempos.
- Sobrealimentación por medio de un turbo-sobrealimentador trabajando con los gases de escape.
- Sistema de inyección directa.
- Refrigeración con agua dulce tratada.
- 230 mm de carrera del pistón.
- 230 mm de diámetro del cilindro
- 152,8 litros de cilindrada total.
- Sentido de giro a izquierdas desde el lado de salida de la fuerza. No es reversible.
- Orden de giro levógiro: A1, B3, A3, B7, A7, B4, A4, B8, A8, B6, A6, B2, A2, B5, A5, B1.
- 260 Kg/cm² de presión en la inyección de combustible.
- Presión de compresión a velocidad de encendido y temperatura de régimen de 20 Kg/cm².
- 650 Kpm en el momento de arranque (temperatura de motor de 5°C).
- Par motor de 450 Kpm.
- A -5°C de temperatura necesita 130 rpm para encendido.
- 1625 rpm de velocidad máxima en vacío.
- 650 rpm de velocidad mínima en vacío.
- 4500 CV a 1575 rpm de potencia máxima (durante 30 min y cada 6 horas).
- 4000 CV de potencia continuada a régimen de 1515 rpm.

Las condiciones de referencia para estas potencias son:

- 26°C el aire de aspiración.
- 22°C el agua a la entrada del refrigerador de aire de sobrealimentación.
- 736 mm Hg de presión barométrica.

- 60% de humedad relativa del aire.
- 11,5 m/s de velocidad media del pistón (1500 rpm).
- Holgura de las válvulas con el motor frío:
 - Admisión: 0,30 mm
 - Escape: 0,5 mm



PUNTO MUERTO SUPERIOR

MOTOR CON GIRO A DERECHAS

PUNTO MUERTO SUPERIOR

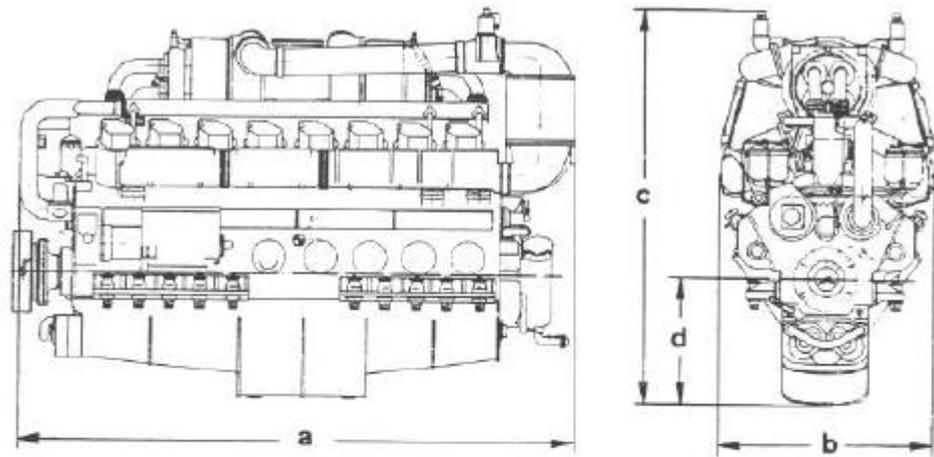
MOTOR CON GIRO A IZQUIERDAS

1.	Abre la válvula de aspiración.....	32° antes del P.M.S.
2.	Cierra la válvula de aspiración.....	56° después del P.M.I.
3.	Abre la válvula de escape.....	79° antes del P.M.I.
4.	Cierra la válvula de escape.....	29° después del P.M.S.
5.	Interferencia.....	61°.
	Finaliza la inyección de combustible.....	24° antes del P.M.S.

Figura 3-1 Diagrama circular del motor

En cuanto a los consumos del motor se debe reseñar:

- Consumo de combustible: 158 g/CV/h.
- Consumo de aceite de motor en servicio continuo (100 h): De 2 a 3 g/CV/h.
- Consumo de aire de arranque: 700 l para la primera arrancada y 350 l para las siguientes.



- | | | |
|----|--|----------------|
| a. | Largo del motor | Unos 3.950 mm. |
| b. | Ancho del motor | Unos 1.550 mm. |
| c. | Altura del motor | Unos 2.750 mm. |
| d. | Profundidad por debajo del centro del cigüeñal | Unos 875 mm. |

Figura 3-2 Dimensiones del motor

Para la numeración, se debe de mirar el motor desde la salida de la potencia. Por tanto, la numeración otorga el lado izquierdo a la letra "A" y el derecho a la letra "B", con los correspondientes números en orden ascendente.

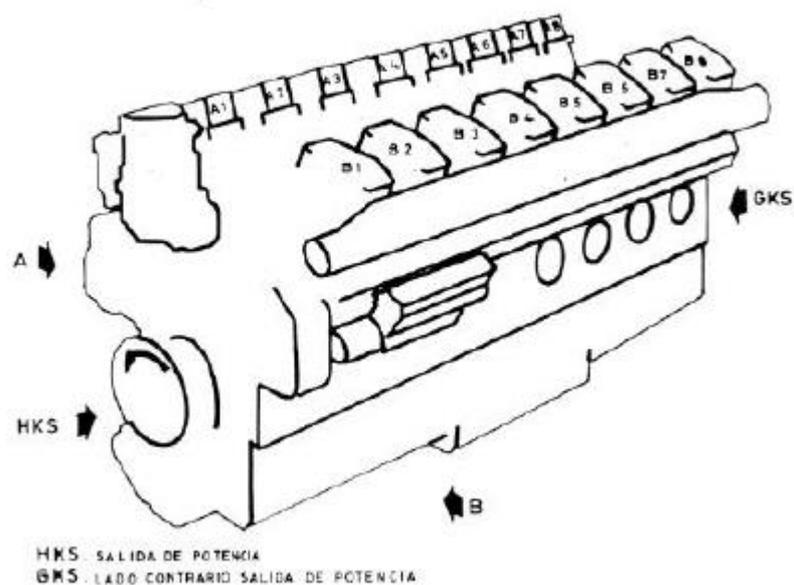


Figura 3-3 Numeración de los lados y cilindros del motor

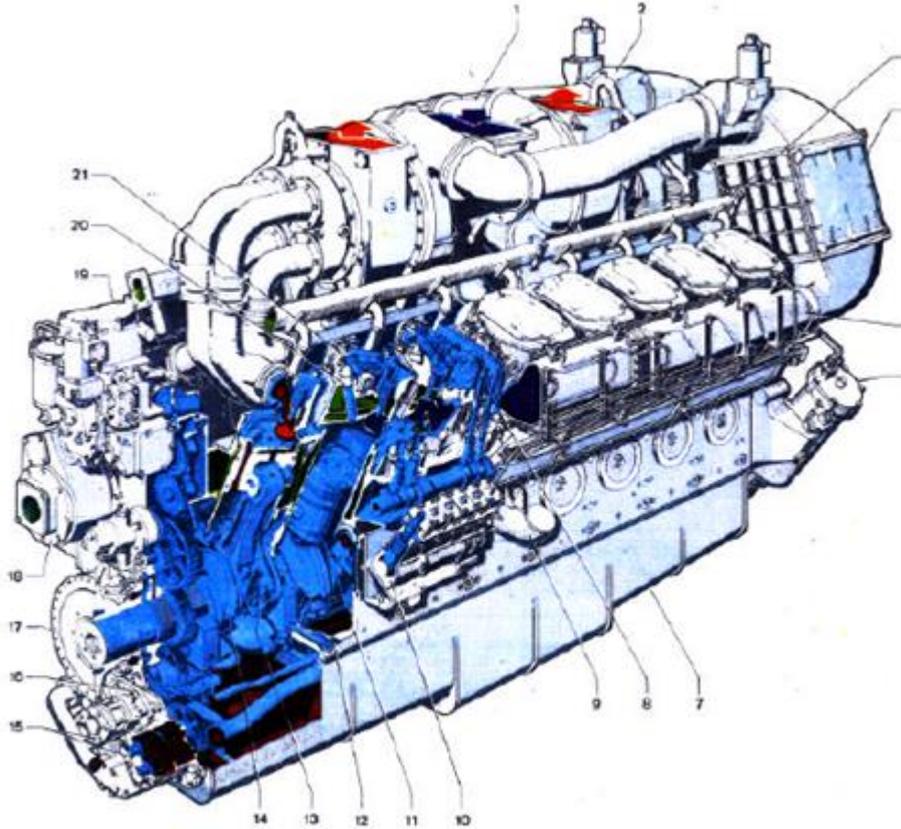


Figura 3-4 Esquema general del motor

3.1.1 Bloque general del motor

El bloque del motor está fabricado en la Empresa Nacional “Bazán” (“Navantia” actualmente), en hierro fundido con grafito esferoidal, conformando un bloque enterizo. Está subdividido con paredes transversales para reforzarlo ya que es un motor de gran potencia y muy revolucionado. De ésta manera podemos distinguir las siguientes subpartes:

- Alojamiento del eje cigüeñal: Situado en un plano superior, sobre la parte baja del bloque. Está separado por una pared de la parte inferior del circuito de refrigeración del motor. En esa misma pared lleva encajes para alojar las camisas del pistón.
- Cámara de refrigeración: Gran parte del interior del bloque, está cerrada superiormente por la cara de apoyo de las culatas, refrigeradas también por el agua de orificios realizados en el bloque. También posee unos orificios por donde pasan los empujadores de los balancines.
- Cámaras del árbol de levas: A ambos del bloque longitudinalmente, donde van alojados los cojinetes del eje de levas, a lo que se accede desde unos registros. También sirven para el desmontaje del eje si fuera necesario.
- Tapas de cojinetes de bancada: Atornilladas en las paredes transversales del bloque, donde van amarrados los cojinetes del cigüeñal.
- Alojamiento del tren de engranajes: Va alojado en una caja especial fundida en el lado de la salida de potencia. Posee unos registros circulares para tener acceso a la distribución del motor.
- Tapas de inspección: A ambos lados del bloque (longitudinalmente), a la altura del eje cigüeñal y coincidiendo con el eje longitudinal de cada cilindro en su parte baja. Su función es permitir inspeccionar todo el tren alternativo y el cárter y el desmontaje del cojinete de cabeza de biela.
- Conductores de aceite: Canales por donde pasa el aceite del servicio de lubricación del motor.
- Cárter de aceite: La parte inferior del bloque se cierra por el cárter, de chapa soldada, que sirve como depósito de aceite de reserva. En la cara “A” del motor lleva una varilla cuya función es de sonda manual para el nivel de aceite.

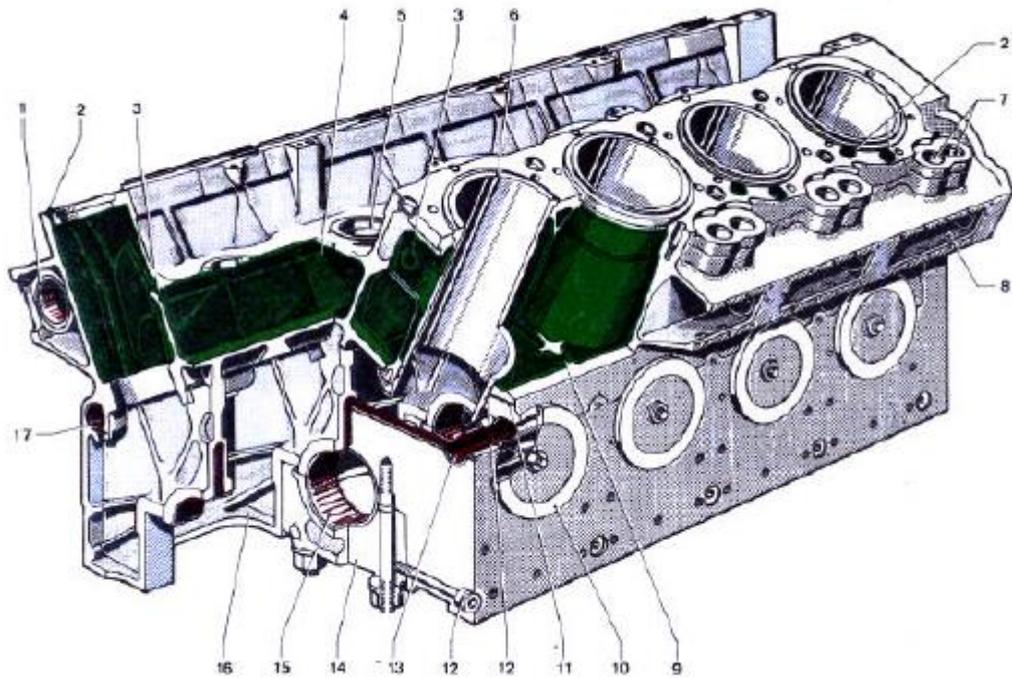


Figura 3-5 Esquema del bloque motor

3.1.2 Exhaustor del bloque motor

El bloque motor en su lado “A” lleva incorporado un exhaustor de gases cuya función es evitar la acumulación de presión en el cárter, por lo que va acoplado por un extremo al turbosobrealimentador y por el otro al propio cárter. De ésta manera conduce los gases a la aspiración de aire del turbosoplante. Está situado en la parte superior del bloque del motor, en el lado de salida de potencia.

La mezcla de gases y partículas de aceite que proceden del cárter entran en el exhaustor por la parte inferior y traspasando el material filtrante. A continuación encuentran un camino sinuoso a través de alambre entrelazado, donde se desprende el aceite y cae a la parte más baja del exhaustor y de ahí al cárter del motor. Los gases son aspirados por el turbo-soplante y mezclados con aire atmosférico, para ser enviados al interior de los cilindros.

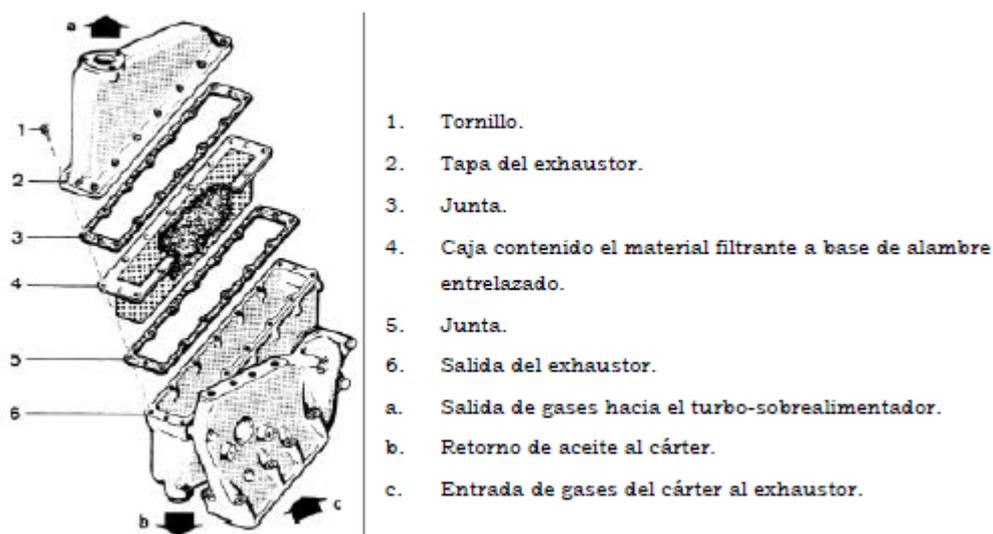


Figura 3-6 Esquema del exhaustor del bloque motor

3.1.3 Distribución del motor

Sirve para controlar la apertura y el cierre de las válvulas de admisión y escape de los cilindros del motor. Ésta apertura y cierre van ligados a la regulación del sistema de inyección, que depende de éste sistema.

3.1.4 Árbol de levas

Como el motor tiene una disposición de los cilindros en "V", utiliza dos ejes de levas, uno para la cara "A" y otro para la cara "B", apoyados en la parte superior del bloque motor. Cada uno es accionado por el eje cigüeñal por medio de cuatro ruedas dentadas, que, además de transmitir el movimiento, proporcionan la capacidad de invertir el sentido de giro en relación con el cigüeñal y reducen la velocidad del eje de levas a la mitad.

Utilizando los camones del eje de levas y los rodetes de los balancines de las válvulas se convierte el movimiento de giro del eje de levas en alternativo de las válvulas, utilizando para el empuje de éstas últimas unas varillas empujadoras. Cada árbol de levas va montado en dos mitades, acoplándose cada una de ellas por unos platos de acoplo solidarios al eje y pernos de ajuste para su amarre.

Cada eje de levas lleva para su fijación un collar o arandela en dos mitades, evitando así el traslado axial. Va instalado en la parte de salida de potencia.

3.1.5 Tren de engranajes

El eje de cigüeñal, gracias a su engranaje, acciona las bombas de aceite, de refrigeración, el regulador del motor, el transmisor de revoluciones y el tacómetro, además de transmitir el movimiento al eje de levas y a la inyección de combustible. Estos engranajes están alojados en una cámara en el lado de salida de potencia, excepto el accionamiento del tacómetro y del transmisor de revoluciones. Las ruedas son de dentado recto montadas sobre cojinetes de deslizamiento.

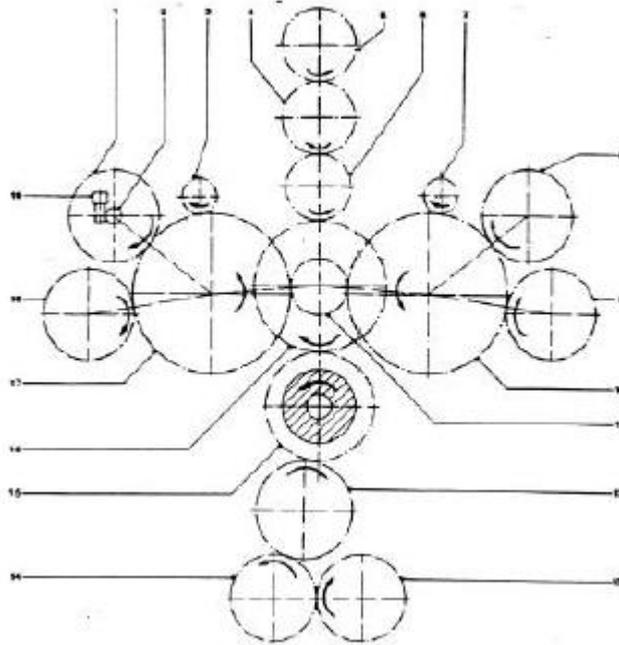
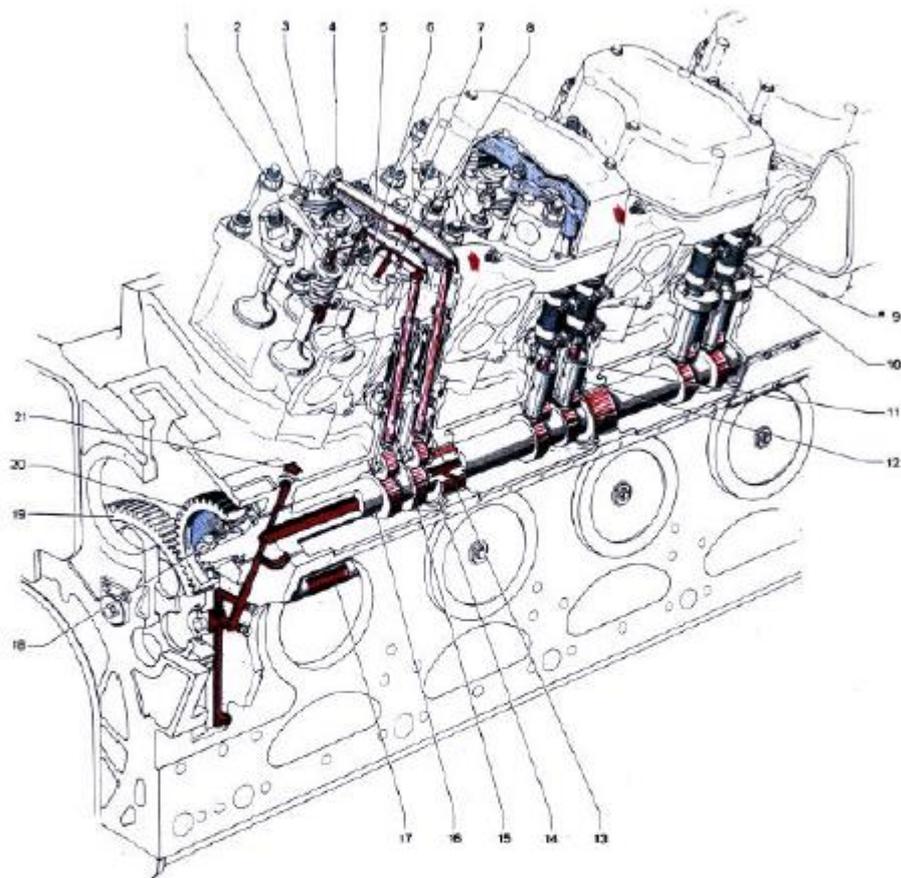


Figura 3-7 Esquema de tren de engranajes del motor

1. Rueda de accionamiento del árbol de levas izquierdo.
2. Accionamiento del tacómetro.
3. Rueda de accionamiento bomba de agua "CRUDA".
4. Rueda intermedia accionamiento regulador del motor.
5. Rueda accionamiento regulador del motor.
6. Rueda intermedia accionamiento regulador del motor.
7. Rueda accionamiento bomba agua refrigerante del motor.
8. Rueda accionamiento árbol de levas derecho.
9. Rueda accionamiento bomba inyección combustible derecha.
10. Rueda intermedia derecha.
11. Rueda intermedia pequeña.
12. Rueda intermedia accionamiento bomba de aceite.
13. Rueda accionamiento bomba de aceite de mecanismos.
14. Rueda accionamiento bomba de aceite de refrigeración de pistones.
15. Rueda dentada del cigüeñal.
16. Rueda intermedia grande.
17. Rueda intermedia izquierda.
18. Rueda accionamiento bomba inyección izquierda.
19. Accionamiento del transmisor de revoluciones.

Figura 3-8 Leyenda del tren de engranajes



- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Guía del yugo de mando de las válvulas. 2. Tornillo de regulación para el puente guía válvula. 3. Pieza deslizante. 4. Tornillo de ajuste para la holgura de la válvula. 5. Balancín escape. 6. Soporte balancines. 7. Balancín, admisión. 8. Eje del balancín. 9. Manguito de goma. 10. Abrazadera. 11. Casquillo de guía del taqué. 12. Taqué de rodillo. 13. Empujador, escape. | <ol style="list-style-type: none"> 14. Casquillo de apoyo. 15. Empujador, admisión. 16. Arbol de levas. 17. Canal de aceite. 18. Pieza de fijación. 19. Rueda intermedia. 20. Rueda de accionamiento del árbol de levas. 21. Llegada de aceite al regulador del motor y a la bomba de inyección. |
|---|--|
- Aceite del motor.

Figura 3-9 Sistema de distribución

3.1.6 Tren alternativo

El tren alternativo de un motor, denominado también mecanismo de accionamiento, está formado por el eje cigüeñal, los pistones y las bielas.

3.1.7 Eje Cigüeñal

Es la pieza más importante y vital del motor Diesel, por lo que se debe extremar el cuidado y la minuciosidad en el proceso de fabricación, eligiendo el acero más adecuado y realizando un mecanizado muy cuidadoso y preciso. Todas estas exigencias son necesarias por ser la pieza del motor que recibe todos los esfuerzos expansivos de los gases a través de la biela. La elección del material y el mecanizado son decisiones tomadas después de un riguroso estudio y de unos cálculos muy precisos, dependiendo de:

- Tamaño y potencia del motor.
- Número de cilindros y disposición (“H”, “V” o estrella).
- Ciclo de trabajo.
- Orden de encendido.

Atendiendo a todas estas razones, en el motor MTU del que se realiza el presente estudio es forjado y de acero aleado completamente mecanizado. [19]

3.1.8 Compensación de masas

Para la compensación de masas, en lugar de un volante de inercia, como llevarían algunos motores, se incorporan en los extremos opuestos de los gorriones de las cigüeñas y en las manivelas unos contrapesos atornillados, como se ve en la Figura 3-10.

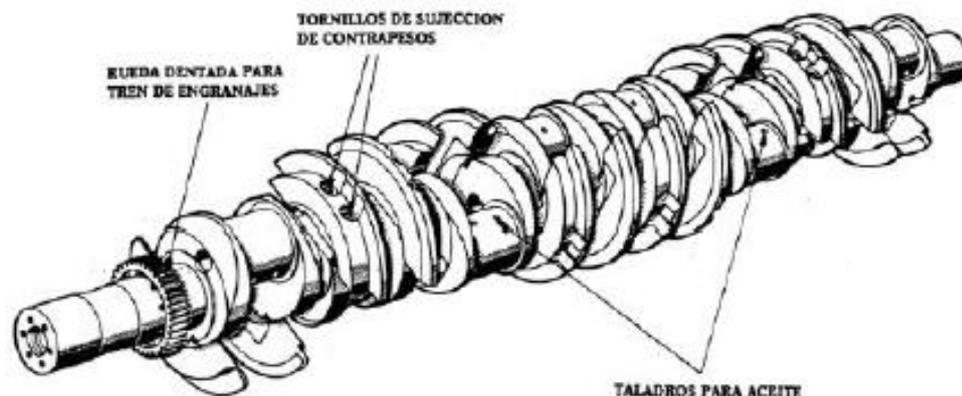


Figura 3-10 Cigüeñal

Está alojado en el bloque del motor, apoyándose en 10 cojinetes de bancada. Está fijado su desplazamiento axial por medio de un rodamiento rígido instalado en la pletina de arrastre, como se puede ver en la Figura 3-11.

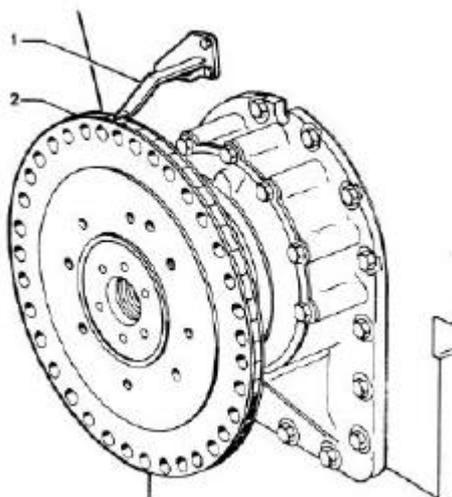


Figura 3-11 Fijación axial del cigüeñal

3.1.9 Engrase del cigüeñal

Desde el canal de aceite de lubricación principal el aceite llega al eje por medio de unos taladros en las paredes transversales del bloque del motor. El aceite, una vez que alcanza el cigüeñal, llega a los cojinetes de la bancada y cabeza de la biela a través de taladros realizados igualmente en él mismo, como se puede ver en la Figura 3-10.

En el extremo opuesto a la salida de potencia, lleva incorporada una rueda dentada, amarrada con tornillos, que sirve como accionamiento de todo el tren de engranajes del motor. En este mismo extremo, y montada a presión, lleva instalada una pletina de arrastre (Figura 3-11) con unas marcas, que junto al indicador de ajuste, indican la posición de los pistones correspondientes. Esta indicación es necesaria para realizar la regulación completa del motor. A la pletina de arrastre se fija el acoplamiento para transmisión de la fuerza del motor por medio de tornillos.

3.1.10 El pistón

Es el componente más importante del tren alternativo, que realiza tres funciones principales:

- Transmite la fuerza expansiva de los gases de combustión a través del eje del émbolo a la biela.
- Por medio de aros, alojados en él, efectúa estanqueidad entre la cámara de combustión y el cárter, y distribuye de la misma manera el aceite en la camisa para la lubricación.
- Transmite al refrigerante el calor que soporta como consecuencia de que forma parte de la cámara de combustión.

Es por esto que el émbolo está sometido a grandes esfuerzos térmicos y mecánicos simultáneamente, lo que le hacen ser el componente que limita la potencia que el motor puede desarrollar. El émbolo del motor estudiado en este trabajo, está refrigerado por aceite, y se compone de dos partes: cabeza y falda.

3.1.11 Cabeza del pistón

Fabricada en acero refractario, está fijada a la falda con tornillos de dilatación, que se enroscan en unos casquillos colocados en la falda para aumentar la seguridad de la unión atornillada entre cabeza y falda.

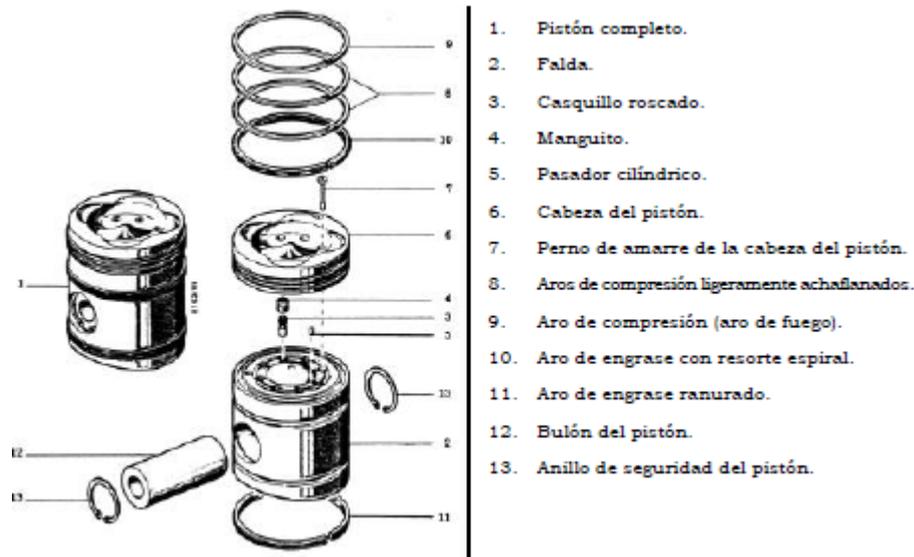


Figura 3-12 Pistón

La cabeza del émbolo lleva tres ranuras para alojar los tres aros de compresión: dos de ellos ligeramente achaflanados y uno, llamado aro de fuego, de cromado duro.

La falda de pistón está forjada de metal ligero, y lleva el alojamiento para el bulón y dos ranuras, una encima del bulón y otra por debajo, para los aros rascadores de aceite. Estos aros son diferentes, ya que el superior lleva resorte espiral y el inferior es ranurado. También lleva mecanizado el taladro conductor de aceite de refrigeración a la cabeza del pistón. El bulón está montado de manera flotante en su alojamiento del émbolo y se fija su desplazamiento axial por medio de unos anillos o arandelas de seguridad.

La cabeza del pistón en su parte interior, está refrigerada por aceite a presión, que impulsa la bomba de aceite de refrigeración de pitones a través de toberas, una para cada pistón, que descargan un chorro de aceite en el orificio del conducto que lleva elaborado la falda del pistón. Por ese orificio llega el aceite a la cabeza, refrigerándola y a un espacio entre esta y la falda, de donde pasa a lubricar el cojinete de pie de biela y vuelve al cárter por gravedad. La parte interior de la cabeza tiene una configuración apropiada para poder mejorar la refrigeración, sobre todo en la carrera de compresión. Esto hace que sea buena y uniforme, y alarga la vida de los aros de compresión, los cuales se quemarían en su ausencia, y limitan la dilatación del pistón a valores mínimos, consiguiendo una marcha suave y un desgaste reducido.

3.1.12 La Biela

Parte del tren alternativo que transmite el esfuerzo desde el émbolo hasta el cigüeñal. Su forma depende, entre otros factores, del tamaño del motor y de la disposición de los cilindros. Este motor lleva bielas denominadas “conjugadas”, por ser un motor en con los cilindros en “V”. Podrían ser también bielas ahorquilladas o articuladas.

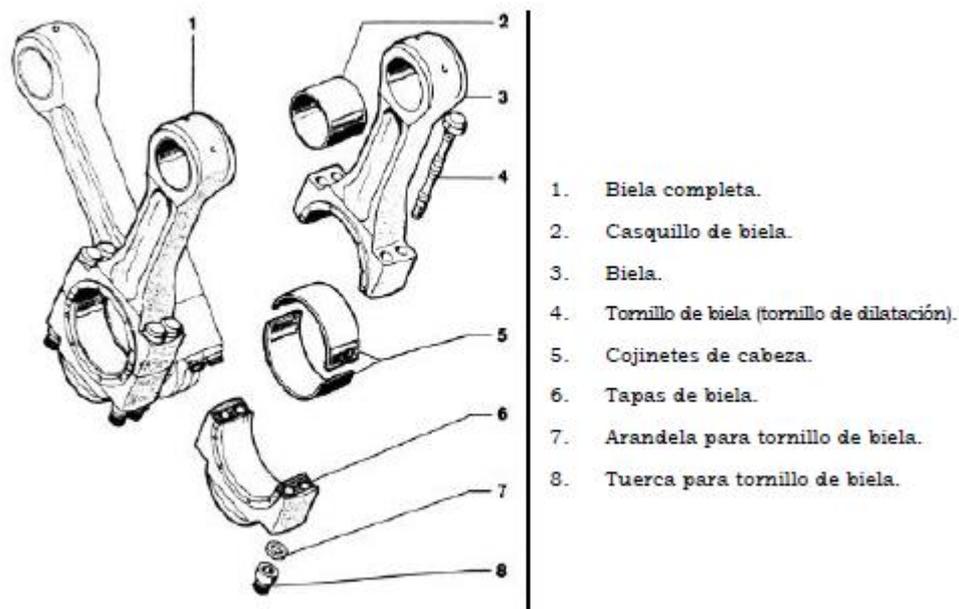


Figura 3-13 Biela

Las bielas de ambos lados (A y B) son iguales, forjadas a estampa y mecanizadas completamente. Las de dos cilindros opuestos trabajan en pares, una al lado de otra en un muñón del cigüeñal. Los cojinetes de pie de biela son casquillos de bronce que se introducen a presión en el orificio del pie de biela.

3.1.13 Cojinetes de cabeza de biela

Los cojinetes van en dos mitades fijadas por la tapa del cojinete (Figura 3-13), gracias a dos pernos con sus correspondientes tuercas, las cuales llevan un estriado para poder realizar un apriete con una llave especial. La lubricación de los cojinetes se hace por aceite a presión, conducido por los taladros en los muñones del cigüeñal. Las tapas de la biela son fijadas por tornillos especiales, con distintos diámetros para permitir las dilataciones, además de llevar unas entalladuras en la cabeza para impedir su giro al apretar o aflojar una tuerca.

3.1.14 Culata

Es una de las piezas que forman la cámara de combustión, muy importante en el motor. En el momento de construcción debe extremarse el cuidado para que pueda soportar los grandes esfuerzos térmicos y mecánicos, que originan las altas presiones y temperaturas a que está sometida. La culata no puede ser una pieza robusta que sirva como tapa ya que la cámara de combustión no puede estar herméticamente cerrada en todos los ciclos de funcionamiento, por lo que necesita tener orificios donde se alojan las válvulas de admisión, escape, inyector, purgas, arranque y galerías internas para la circulación de agua de refrigeración y evitar el alcance de altas temperaturas.

La culata de este motor es de fundición gris, de tipo independiente, una para cada cilindro. Cada una lleva dos válvulas de admisión y dos de escape accionadas por un solo balancín, un inyector, una válvula de purga y una de arranque.

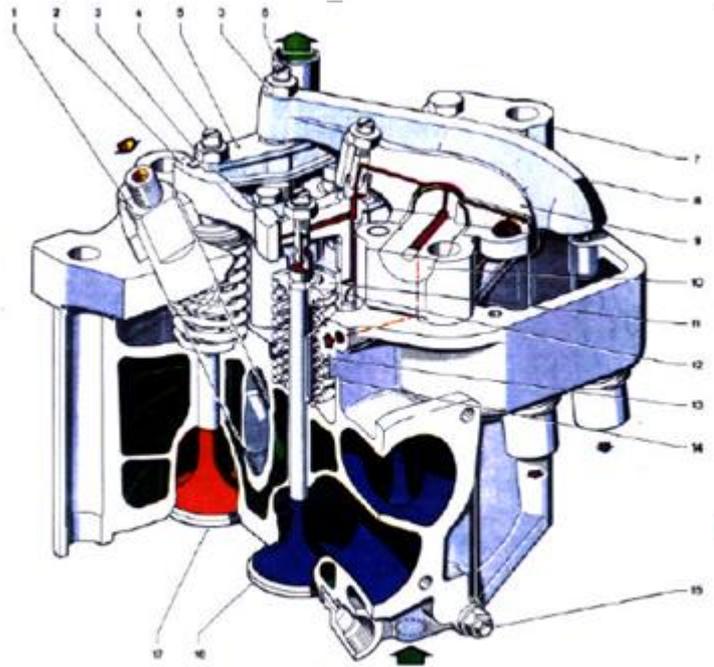


Figura 3-14 Culata

3.1.15 Camisa del motor

Las camisas de este motor son del tipo húmedo, están elaboradas a base de fundición especial centrifugada. Esta camisa lleva en su parte superior un aro torneado de mayor diámetro para reposar en el alojamiento de la parte superior del bloque y conseguir la estanqueidad de la cámara de refrigeración del cilindro con la parte superior del bloque.

3.1.16 Amortiguador de vibraciones

Encargado de amortiguar las vibraciones torsionales del cigüeñal. Va montado a presión en el extremo opuesto a la salida de potencia del cigüeñal.

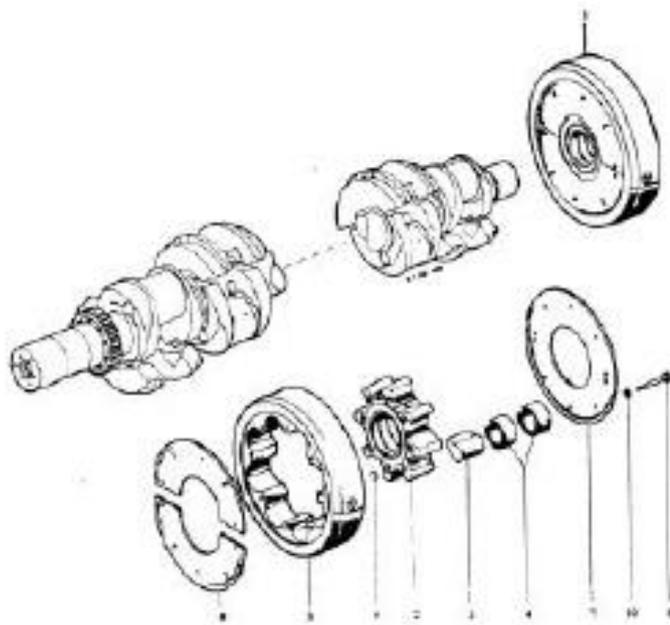


Figura 3-15 Amortiguador de vibraciones

Como está unido de forma solidaria con el cigüeñal, sigue el movimiento circular del mismo. La corona se une al arrastrador con manguitos elásticos y es arrastrado sincrónicamente. Cuando el cigüeñal tiene una vibración, también la recibe el arrastrador por estar solidario. La corona tiende a seguir girando y por tanto amortigua, gracias a los manguitos, los movimientos vibratorios.

Su lubricación procede del circuito del motor, llegando aceite a las cámaras de los manguitos elásticos para disminuir el rozamiento de los mismos y evitar el desgaste. No necesita mantenimiento especial, pero cuando se realiza un recorrido general, deberían calibrarse las pletinas circulares de los manguitos y los bulones limitadores de desplazamiento.

3.1.17 Válvulas de admisión y escape

Cierran y abren los conductos de admisión y escape de la culata del motor.

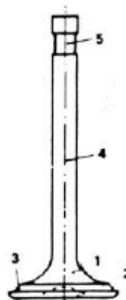


Figura 3-16 Válvulas

Son de acero de alta calidad para que puedan soportar las altas temperaturas de la cámara de combustión, y son buenas conductoras de calor para transmitir dichas temperaturas al agua de refrigeración.

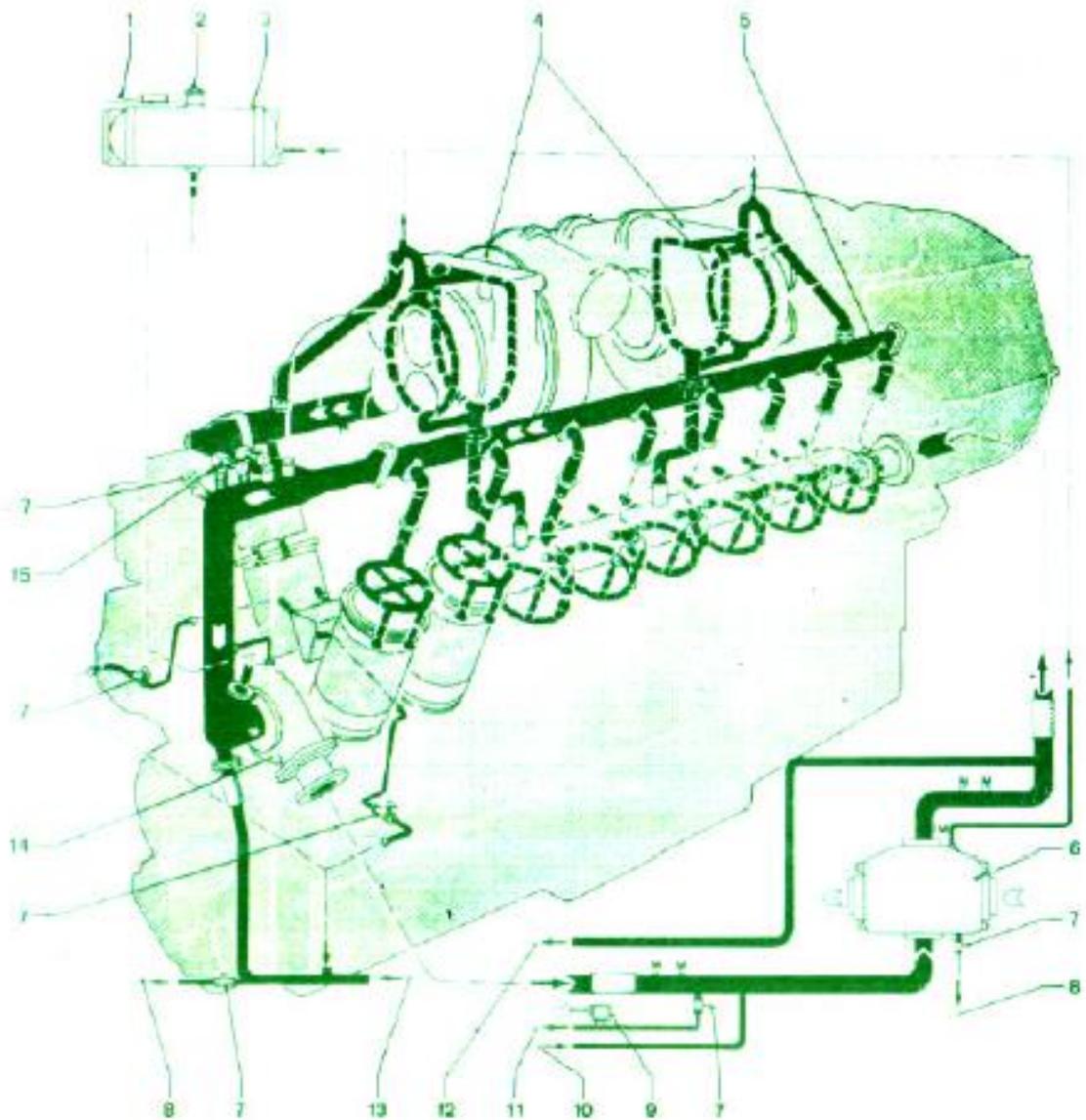
Están provistas de un girador “ROTOCAP” para que cuando el motor esté en marcha las válvulas giren y por tanto evitar que haya calentamientos unilaterales, impidiendo también la acumulación de carbonillas. Está incorporado al plato de resortes de las válvulas de escape.

3.1.18 Circuito de agua de refrigeración

El sistema de refrigeración está dividido en dos circuitos separados. El primero es de agua dulce tratada en circuito cerrado con aceite, y el segundo con agua aspirada del mar (agua cruda), descargada de nuevo al mar tras pasar por los enfriadores.

3.1.19 Circuito de agua dulce

El agua de refrigeración es impulsada por una bomba centrífuga movida por el eje cigüeñal. Va montada en el lado de salida de potencia del motor, y aspira el agua del circuito de refrigeración y la descarga en circuito cerrado a través del enfriador de agua dulce, entrando en el colector de refrigeración para refrigerar las camisas desde abajo hasta arriba, y entrando en las culatas por los orificios que comunican el bloque con la culata. Una vez realizado esto, sale por un tubo de cada una y se dirige hacia un colector para ser aspirado por la bomba. De los colectores de salida sale un tubo por cada lado para refrigerar las dos turbo-soplantes. A su salida se reconduce desde el colector general de retorno a la aspiración de la bomba.

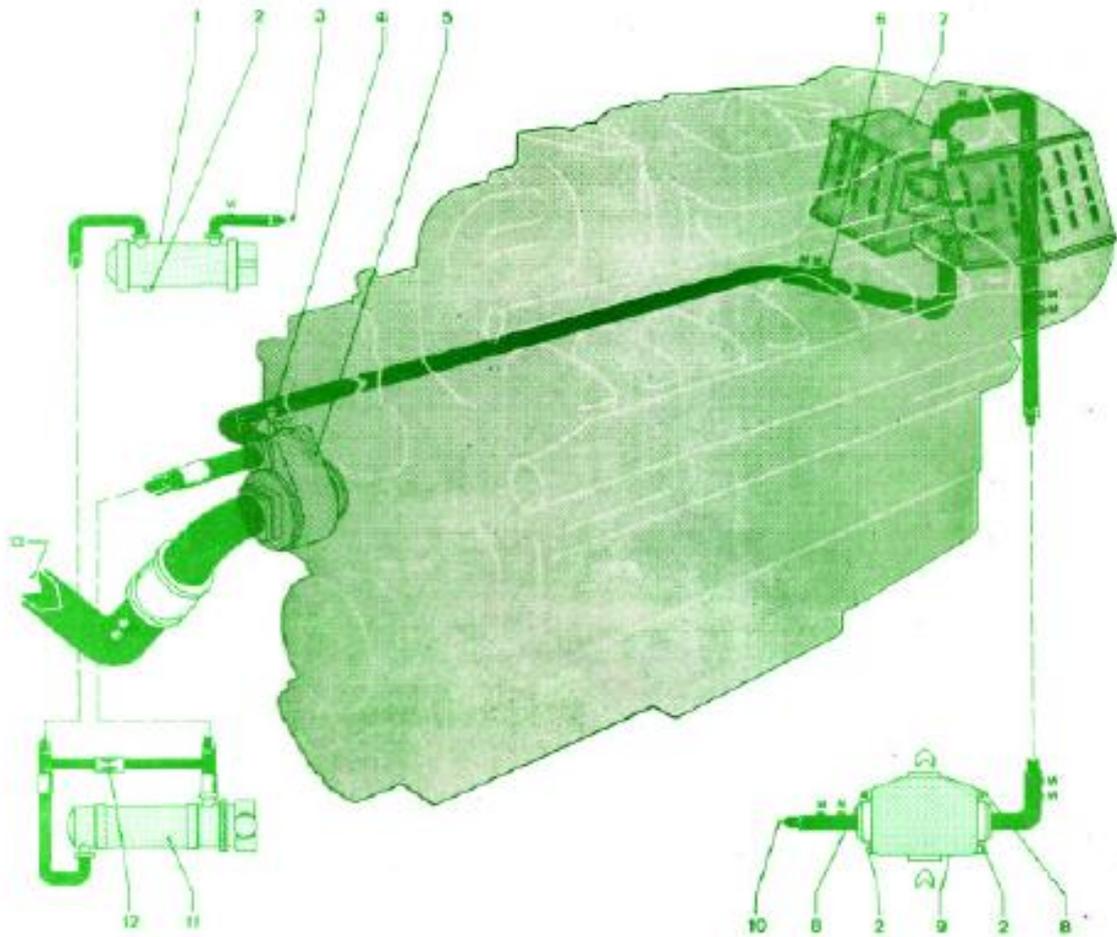


- | | |
|--|---|
| 1. Conducto de rebose. | 10. Conducto de llenado. |
| 2. Válvula de cierre. | 11. A la indicación mecánica de la presión. |
| 3. Depósito de compensación del agua refrigerante. | 12. Al equipo de precalentamiento. |
| 4. Turbosobrealimentador. | 13. Desde el equipo de precalentamiento. |
| 5. Colector de salida del agua de refrigeración. | 14. Bomba de agua de refrigeración del motor. |
| 6. Refrigerador del agua de refrigerador. | 15. Termostato. |
| 7. Válvula de bloqueo. | |
| 8. Desagüe. | M. Punto de medición. |
| 9. Presostato. | () Kp/cm ² . |

Figura 3-17 Circuito de agua de refrigeración tratada

3.1.20 Circuito de agua salada o cruda

Tiene como funciones principales: Enfriar el aire de sobrealimentación del motor, enfriar el aceite de lubricación, enfriar el agua de refrigeración, enfriar los gases de escape y el aceite reductor-inversor.



1. Enfriador de aceite del motor.
2. Desagüe.
3. Al sistema de escape.
4. Embudo de llenado para la bomba de agua no tratada (agua cruda).
5. Bomba de agua no tratada (agua cruda).
6. Válvula de bloqueo.
7. Refrigerador del aire de carga.
8. Desaireación.
9. Refrigerador del agua de refrigeración (agua tratada).
10. Descarga al mar.
11. Refrigerador del aceite del reductor.
12. Estrangulación.
13. Desde el filtro de agua no tratada.
- M. Punto de medición.

Figura 3-18 Circuito de refrigeración secundario

El agua del mar es aspirada a través de un filtro gracias a una bomba centrífuga movida por el eje cigüeñal a través de una rueda intermedia. La bomba impulsa parte del agua aspirada por un conducto a los enfriadores de aire de sobrealimentación, y después al enfriador de agua dulce para refrigerarlo. La otra parte del agua es impulsada al mar después de refrigerar el enfriador de aceite del motor y la salida de gases de escape.

3.1.21 Sistema de lubricación

Está dividido en dos circuitos distintos: El circuito de aceite a mecanismos y el circuito de refrigeración de pistones. El cigüeñal del motor, gracias a una rueda intermedia, mueve dos bombas de piñones dobles, es decir, cuatro bombas. Tres de ellas sirven para descargar el aceite al circuito de mecanismos y la cuarta para el circuito de refrigeración de pistones. Las tres primeras aspiran del cárter del motor y lo descargan por el enfriador de aceite al circuito de mecanismos y a la aspiración de la cuarta bomba, la cual lo descarga al circuito de refrigeración de pistones.

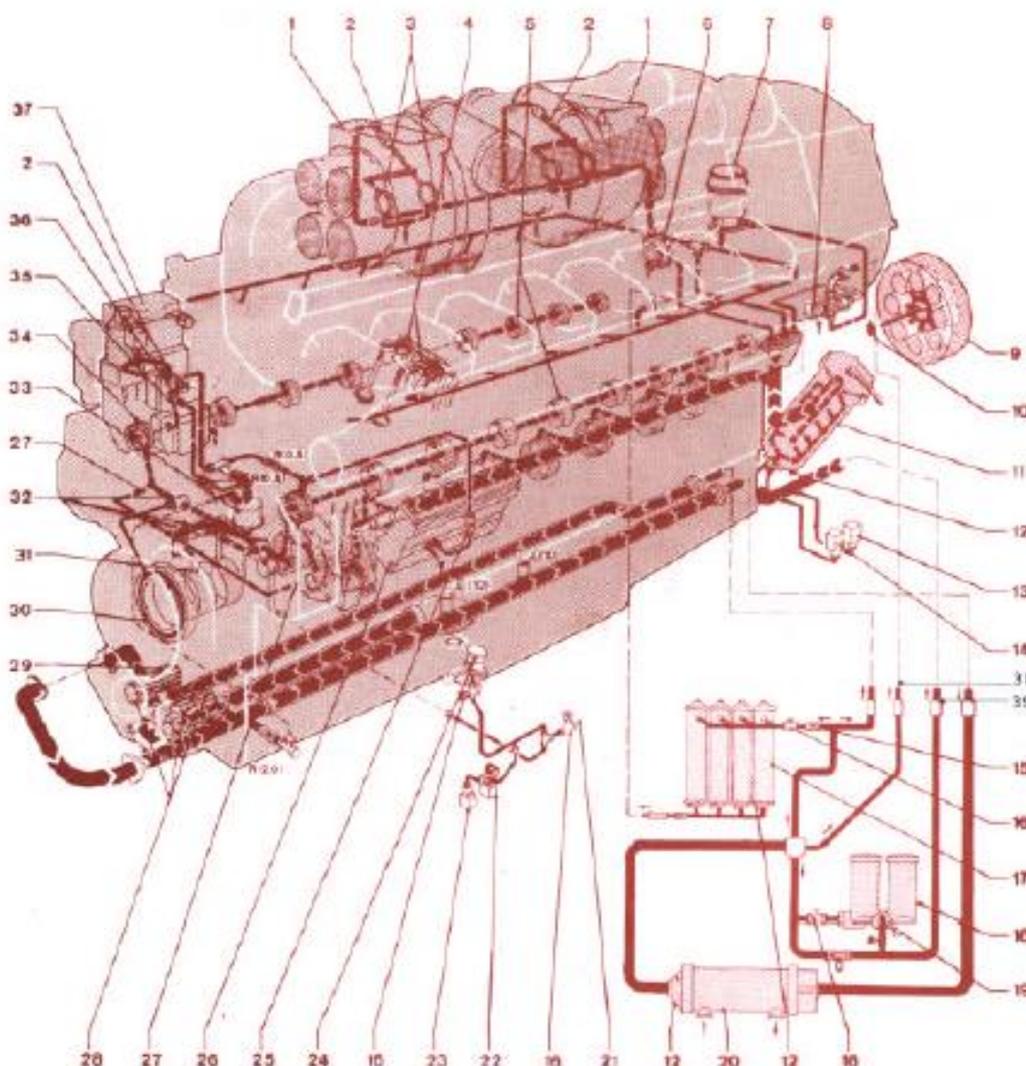


Figura 3-19 Circuito de aceite a mecanismos

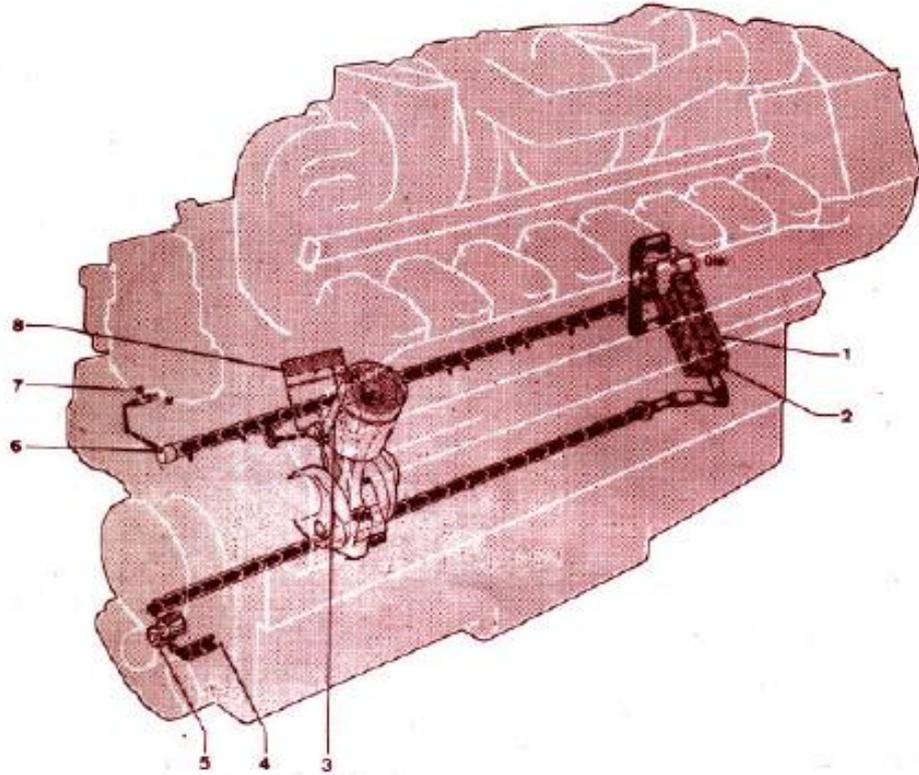


Figura 3-20 Circuito de refrigeración de pistones

3.1.22 Circuito de combustible

El combustible procede de los tanques de almacenamiento, y llega a los tanques de servicio después de haber pasado por la depuradora. El combustible se aspira por la bomba de aportación, accionada por el cigüeñal del motor por medio de engranajes. Pasa a través de los filtros previos y de los filtros dobles a las dos bombas de inyección, que están una a cada lado del motor. Las bombas de inyección son movidas por el eje de cigüeñal por medio de dos ruedas intermedias, siendo su sentido de giro el mismo y la velocidad igual a la del cigüeñal.

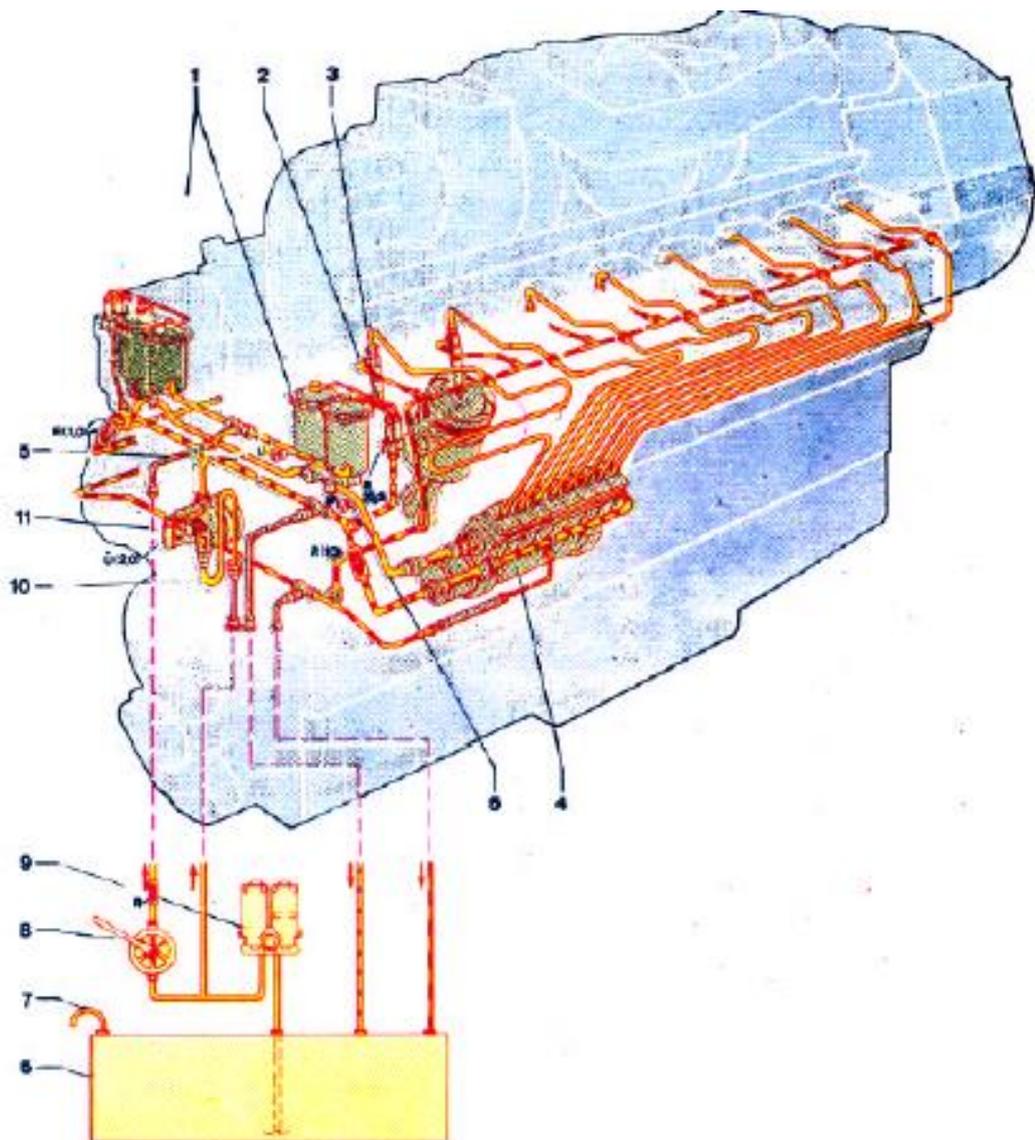


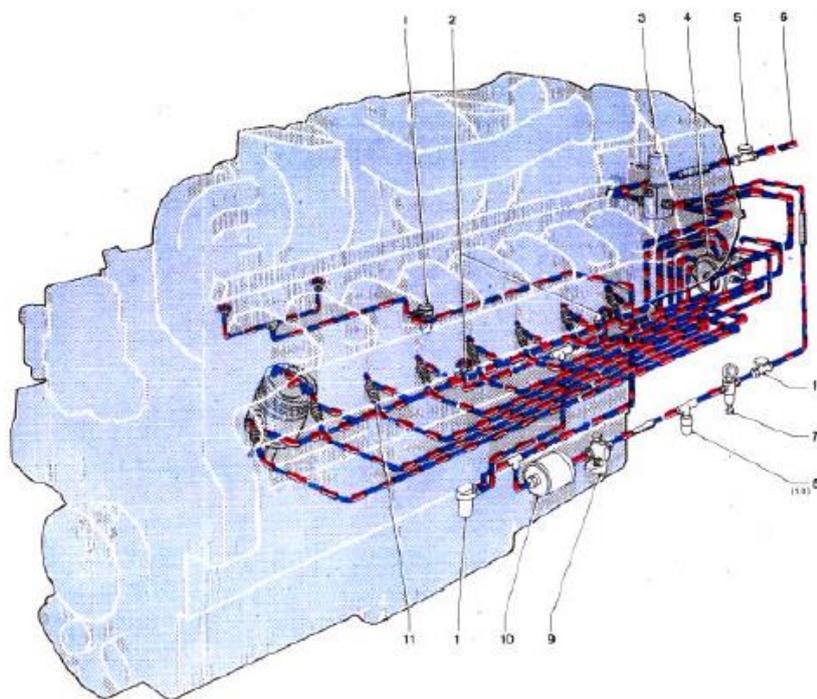
Figura 3-21 Sistema de combustible

3.1.23 Sistema de arranque

El motor arranca con aire comprimido que procede de una botella, cargada por medio de un electro-compresor de alta presión, que hace girar el motor de arranque.

El aire de la botella de almacenamiento ve reducida su presión y llega a través de la válvula de bloqueo y la electroválvula de tres vías al colector general de arranque. La electroválvula es abierta manual o eléctricamente. De ésta parten tres canales:

- Uno al colector que une con las ocho válvulas de arranque, para que cuando éstas se abran permitan el paso del aire al interior del cilindro, cuyo pistón se encuentra en el PMS y en el tiempo de expansión.
- El segundo conduce el aire por el distribuidor a las válvulas de arranque como aire de mando, para abrir la válvula de arranque correspondiente al circuito.
- El tercero se utiliza para el arranque en frío del motor, que sirve para arrancar el motor sin efectuar un precalentamiento en caso de una salida de emergencia del buque.



1. Piloto de arranque.
2. Inyector.
3. Electroválvula de tres vías.
4. Distribuidor del aire de arranque.
5. Válvula de bloqueo.
6. Desde la instalación del aire comprimido.
7. Reductor de presión.
8. Válvula de seguridad.
9. Válvula de retardación.
10. Depósito de retardación.
11. Válvula de arranque.
12. Válvula de bloqueo.

Figura 3-22 Sistema de arranque por aire a presión

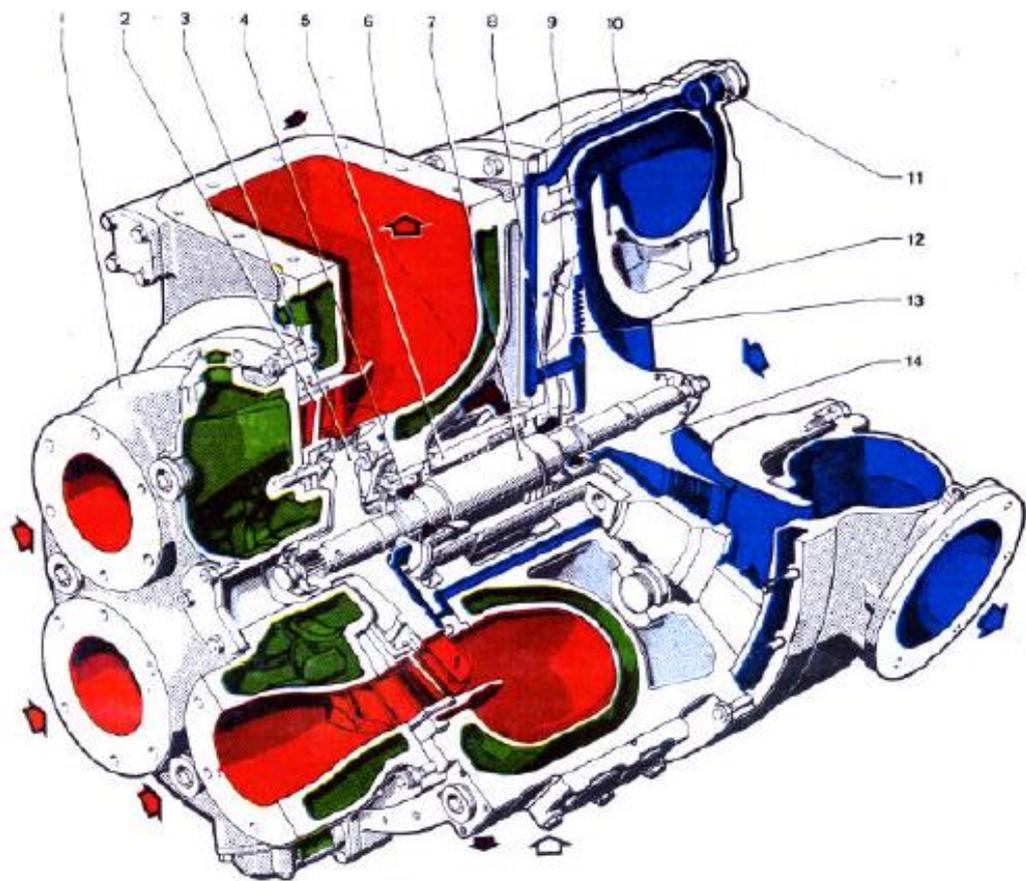
Las válvulas de arranque van montadas una en cada culata del lado “B” del motor y tienen como misión permitir el paso de aire de arranque a los cilindros, y empujar así los pistones que se encuentran en fase de arranque y hacer girar el motor.

Tienen como misión distribuir el aire de forma correcta a las válvulas de arranque de acuerdo al orden de encendido. Va montado en el lado contrario a la salida de potencia, y unido al árbol mediante encastre. Su velocidad de giro es igual a la del árbol de levas, que es la mitad que la del cigüeñal.

Además, la electroválvula de tres vías está montada en el circuito de arranque, entre la botella de almacenamiento de aire y el distribuidor de arranque. Tiene dos misiones: pasa el aire procedente de la botella hacia el distribuidor, y vuelve a cerrar el paso del aire del circuito finalizando el proceso.

3.1.24 Sobrealimentación

Es sobrealimentado por dos turbosoplantes, uno para cada lado de los cilindros, montados en la parte más alta y accionadas por los gases de escape. Tienen como misión aspirar el aire de la atmósfera a través de un filtro, impulsado a través de dos enfriadores de aire, a los colectores de admisión del motor a presión superior a la atmosférica.



- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. Caja de entrada de los gases de escape. | 10. Soporte del anillo de laberinto. |
| 2. Anillo de paletas. | 11. Válvula de sobrepresión. |
| 3. Disco de la turbina. | 12. Caja de aspiración. |
| 4. Rodamiento de tres apoyos. | |
| 5. Soporte de los rodamientos. | |
| 6. Caja de salida de los gases de escape. | |
| 7. Arbol del rotor. | |
| 8. Rodamiento de bolas a contacto angular radial. | |
| 9. Difusor. | |
| 10. Caja de aire. | |
| 11. Válvula de sobrepresión. | |
| 12. Caja de aspiración. | |
-
- | |
|---|
| ■ Aire. |
| ■ Gases de escape. |
| ■ Agua refrigerante del motor. |
| ■ Aceite del motor. |

Figura 3-23 Turbosobrealimentador

Están formados por un compresor, una turbina y el soporte de los cojinetes, encerrados todos ellos en una caja de aleación ligera.

- La turbina está formada por una caja dentro de la que gira un rotor. Por su interior circula agua del servicio de refrigeración de agua dulce del motor. En la parte de entrada de los gases de escape a la turbina va montado un anillo de paletas directrices. Los gases a la salida de la turbina pasan por una cámara refrigerada para impedir que aumente la temperatura del aire de sobrealimentación por estar adosada a la turbina.

- Rotor: Consta de un eje que lleva en uno de sus extremos enchavetado el disco de paletas móviles, que además va sujeto por una tuerca de seguridad. En el otro extremo va montado igualmente el disco del compresor.
- Anillos de laberinto: Montados uno a cada lado del rotor, impiden, por una parte, entrar gases de escape o aire de sobre-alimentación en el soporte de los cojinetes, y por otra, hacen estanqueidad entre los gases de escape y aire de sobre-alimentación y el circuito de aceite de lubricación de los cojinetes.

Los enfriadores de aire de sobrealimentación están montados entre los turbosoplantes y los colectores de admisión del motor, uno para cada colector. Enfrían el aire de sobrealimentación para poder introducir más cantidad de aire en paso de los cilindros, y así inyectar más combustible para la misma cilindrada, alcanzándose mayor potencia con el mismo volumen de embolada. Utiliza agua salada (cruda) para refrigerar, alimentado por la bomba de agua del motor.

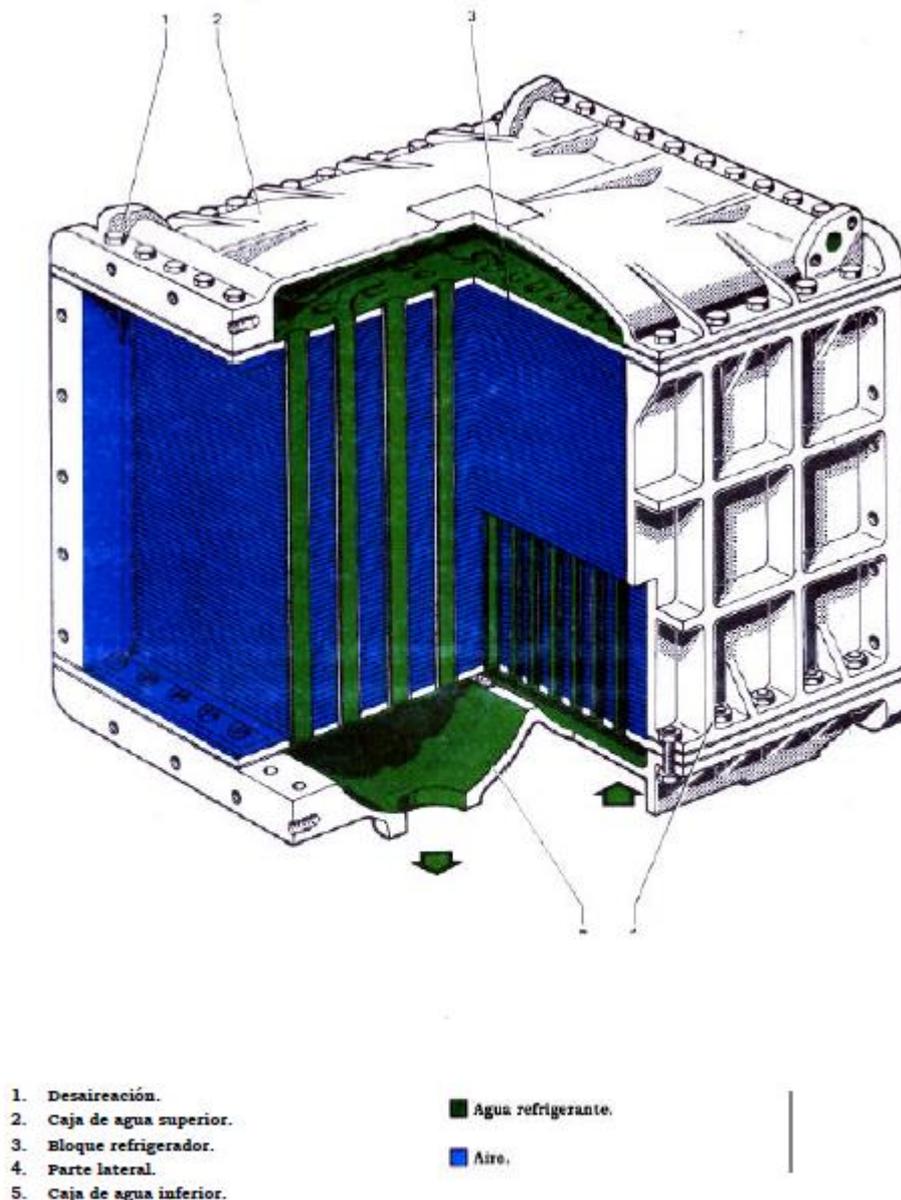


Figura 3-24 Refrigerador del aire de carga

3.1.25 Regulador de velocidad

Trabaja según el principio de un regulador centrífugo, y tiene como misión mantener constante el número de revoluciones al que se ajusta dentro de su grado de proporcionalidad. Este grado es ajustable, lo que permite ajustar velocidad y potencia del motor. Para su funcionamiento óptimo se necesita una presión de aceite mínima, con lo cual el propio regulador vigila la presión del circuito de lubricación del motor, parándolo cuando la presión desciende por debajo de un valor determinado y de acuerdo con las especificaciones del motor.

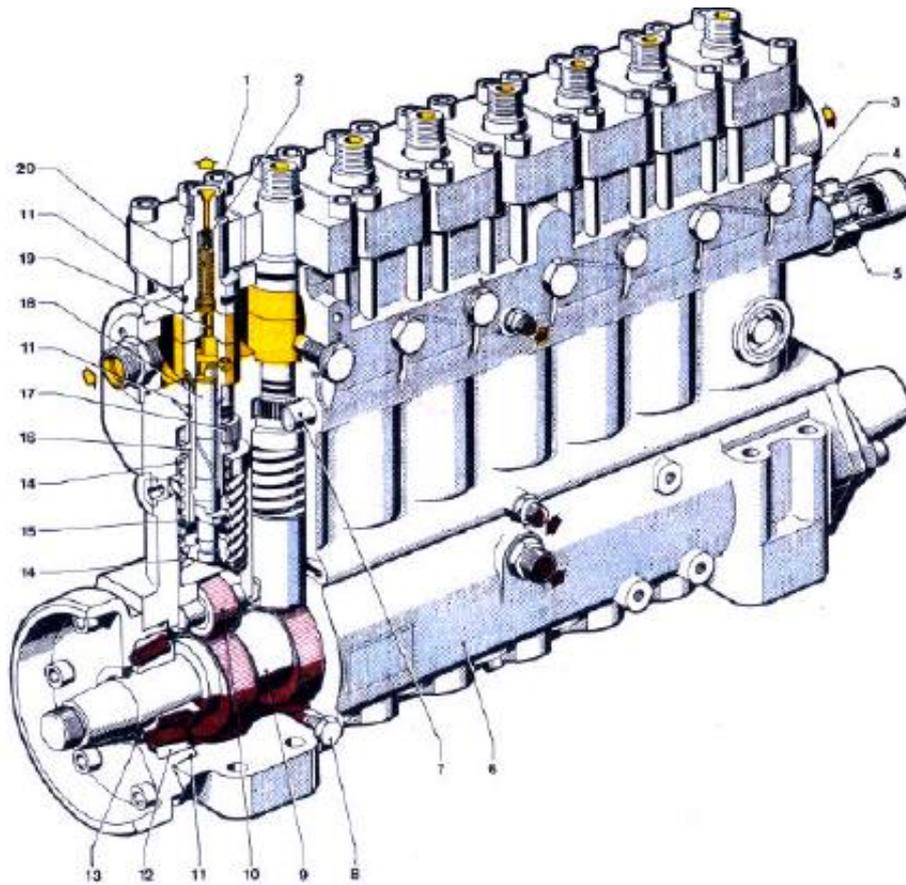
El ajuste mecánico de las revoluciones se efectúa a través de un sinfín montado en la parte superior del regulador y accionado a distancia por medio de un cable flexible comandado por un volante. Componentes:

- Pasos centrífugos y resortes para control de revoluciones.
- Corredera de mando y émbolo de trabajo para regular cantidades de combustible a inyectar.
- Membrana y palanca de transmisión para ajuste del valor nominal.
- Émbolo limitador de inyección para sobrecarga.
- Limitador de arranque de inyección al arrancar.

3.1.26 Bomba de inyección de combustible

Introducen el combustible a los cilindros en el momento preciso del ciclo del pistón. Cada línea de cilindros del motor lleva montada una bomba de inyección. Las dos bombas giran en el mismo sentido y son movidas por el cigüeñal a través de dos ruedas intermedias cada una. El cuerpo está fabricado de hierro fundido con gradito esferoidal, y sus elementos principales son: cuerpo, árbol de levas, taqués de rodillo, elementos de bomba, válvulas de presión y barra cremallera.

El árbol de levas está apoyado en la parte inferior del cuerpo de la bomba sobre los cojinetes de rodillos cónicos y un cojinete intermedio. Los camones del árbol están torneados de acuerdo al orden de encendido del motor, y en la parte superior de la bomba van montados los elementos de inyección y sujetos por una brida con 4 tornillos.



- | | |
|---|-----------------------------|
| 1. Racor para conducto de presión de combustible. | 14. Plato del resorte. |
| 2. Estrangulador de refujo. | 15. Resorte del pistón. |
| 3. Tornillo de seguridad para el cilindro de bomba. | 16. Boquilla de regulación. |
| 4. Resorte de compensación de la holgura. | 17. Segmento dentado. |
| 5. Tapa de cierre. | 18. Pistón. |
| 6. Caja de la bomba. | 19. Válvula de descarga. |
| 7. Cremallera de regulación. | 20. Pletina. |
| 8. Purga del aceite motor. | |
| 9. Arbol de levas. | |
| 10. Taqué de rodillo. | |
| 11. Anillo de junta. | |
| 12. Rodamiento de rodillos cónicos. | |
| 13. Retén para el aceite. | |
-
- | |
|---|
| Llegada de combustible. |
| Retorno de combustible. |
| Combustible de fuga. |
| Aceite del motor. |

Figura 3-25 Bomba de inyección

El movimiento alternativo ascendente de los émbolos de la bomba se produce por el empuje de los camones del árbol de levas a través de unos taqués de rodillos y el movimiento descendente por la fuerza de expansión de los resortes, que tratan en todo momento de tener en la posición baja a los émbolos de impulsión. Son de carrera constante, variando el principio de la inyección y manteniendo constante el final de la misma.

La lubricación de la bomba se produce por medio de aceite a presión procedente del circuito principal de lubricación del motor, pasando antes de entrar en la bomba por un reductor de presión.

4 EL MANTENIMIENTO

4.1 Introducción

Es el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones durante el mayor tiempo posible en uso y obteniendo, al mismo tiempo, el mejor rendimiento de ellas.

El mantenimiento nace al mismo tiempo que la máquina de vapor, entre el siglo XVIII y principios del XIX, con sus primeros fallos y reparaciones. Inicialmente, se limitaba a una corrección de las averías causadas por la producción, por lo que se habla ya del mantenimiento correctivo.

Todo esto cambia en 1913, con la llegada de la producción en cadena implantada por Henry Ford. Por tanto, se establecen los primeros programas de producción y el personal se empieza a preocupar por fallos o paradas de producción no planeados. Es así como empiezan a aparecer las primeras estadísticas sobre índices de fallos en motores y equipos. Además, durante la Segunda Guerra Mundial, la industria (militar en este caso) comienza a realizar inspecciones en las piezas de los carros y aviones de combate para estudiar el cambio de las mismas para alcanzar una vida útil determinada. Éste es el origen del mantenimiento preventivo, ya que no solo se corrigen fallos, sino que se tratan de evitar.

En los años 60, la mejora de los instrumentos de medición y verificación consigue la optimización de equipos, originándose así el mantenimiento predictivo. Además, con la aparición de nuevas exigencias de calidad y de producción, aparece en Estados Unidos el concepto del mantenimiento productivo, realizando modificaciones en el diseño de las máquinas para mejorar su fiabilidad de los equipos, englobando el mantenimiento correctivo y preventivo y tratando de evitar un mantenimiento posterior a un fallo durante su uso.

En los años 80, se desarrolla el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), basado en la planificación y enfoque hacia los costes, y en 1995, se crea en Japón el concepto conocido como las “5S”, que son los cinco pilares (en japonés) del método para lograr la calidad en el lugar de trabajo: Organización, orden, limpieza, control visual y disciplina. [20]

4.2 Gama de limpieza

Es el mantenimiento diario para evitar que aparezcan averías graves en el motor, y encontrar los posibles fallos antes de que se compliquen. Se recogen los equipos a revisar y el material que se debe usar para que el operador no tenga percances al realizar dichas revisiones. [9]

PLAN DE LIMPIEZA DIRIGIDA			
MOTOR BAZAN MTU-16V 956TB91			
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MEDIOS	EPI
Sistema general	Control de motores inactivos	Visual	Gafas, guantes
Sistema general	Control de ruidos en marcha		Gafas
Sistema general	Estanqueidad y condiciones exteriores	Visual	Gafas, guantes
Sistema general	Registro de parámetros de funcionamiento	Visual	Gafas, guantes
Sistema de admisión y escape	Control de los gases de escape	Visual	Gafas, guantes
Sistema de admisión y escape	Control de desagüe antes y después del sobrealimentador	Visual, trapo	Gafas, guantes
Sistema de combustible	Control del nivel de combustible	Visual	Guantes
Sistema de agua de refrigeración	Control del nivel de agua de refrigeración	Visual	Guantes
Sistema de lubricante	Control del nivel de aceite del motor	Visual, trapo	Gafas, guantes
Sistema de lubricante	Accionar la palanca de carraca varias veces	Visual, manual	Gafas, guantes
Sistema de arranque	Controlar la cantidad disponible de aire comprimido	Visual	Gafas, guantes
Sistema de arranque	Desaguar el sistema de aire comprimido	Visual, trapo	Gafas, guante

Tabla 1 Gama de limpieza

4.3 Plan de mantenimiento

El mantenimiento en la Armada es una importante función logística que se encarga de mantener los equipos de que dispone en el mejor estado de funcionamiento. En función del tipo de mantenimiento o avería, de su gravedad o del lugar donde se produzca, podemos distinguir distintos niveles de mantenimiento:

- **Mantenimiento de comprobación:** Actividades para asegurar el buen funcionamiento de equipos.
- **Mantenimiento preventivo:** Realizado para evitar que se produzcan averías mayores en función de los elementos críticos de cada equipo.
- **Mantenimiento correctivo:** Se realiza una vez que el equipo queda fuera de servicio para volver a ponerlo en funcionamiento.

- Mantenimiento de rehabilitación: Comprobar periódicamente los equipos para repararlos y volver a un correcto funcionamiento, garantizando fiabilidad a largo plazo.
- Mantenimiento de modificación: Cambios en equipos para mejorarlos y aumentar sus prestaciones.

Una vez sintetizados los tipos de mantenimiento más importantes en la Armada, se han establecido los siguientes “escalones” para realizarlo:

- Primer escalón: Mantenimiento realizado por la dotación del buque o unidad, y que, aunque no tiene que ser necesariamente a bordo del buque, es responsabilidad del Comandante del mismo.
- Segundo escalón: Se incluyen los preventivos, correctivos, rehabilitación y modificación de grandes magnitudes que no se pueden realizar en el buque, sino que es necesario contar con la ayuda de Arsenales de la Armada. La responsabilidad es de la autoridad correspondiente a cada Arsenal.
- Tercer escalón: Todas las acciones realizadas por empresas civiles externas a la Armada. El responsable es la autoridad del Arsenal y de la empresa civil.

Una vez considerado todo esto, se debe volver a clasificar el mantenimiento según los criterios propios de la Armada de la siguiente manera:

- Según disponibilidad operativa:
 - En periodo operativo: Mantenimiento durante el tiempo en el que la unidad está operativa.
 - Obras normales o Gran carena: Destinados a aumentar el período de vida de los buques, intentando mantener su fiabilidad y manteniéndolo inmovilizado durante su ejecución.
- Según capacidad:
 - Nivel A: Pequeña escala, se sustituyen partes de los equipos.
 - Nivel B: Construir piezas de las que no se disponen de repuestos.
 - Nivel C: Mantenimientos complejos de rehabilitación de equipos además de fabricar los componentes en caso de que fuera necesario.

El motor MTU del patrullero es el único medio de propulsión del buque, siendo el P-28 “Tabarca” uno de los pocos barcos de la Armada que posee solamente un motor. Es por esta razón por la que el motor que monta el barco debe tener un extremo cuidado en su mantenimiento y limpieza, así como en su fiabilidad, para que el barco no se quede sin gobierno y sin propulsión en medio de una navegación.
[9]

En el patrullero Tabarca, se distinguen los siguientes niveles de mantenimiento:

- W1, W2 y W3: Realizados por la dotación del patrullero. El máximo al que pueden llegar con el material del buque es a cambiar algún filtro en el motor. Se realizan cada 24 horas, 150 horas o 6 meses y 300 horas o 1 año respectivamente
- W4, W5 y W6: Se realizan en el Astillero, en este caso en el Arsenal de Ferrol, cada 1500 horas o 2 años, 3000 horas o 6 años y 6000 horas o 12 años respectivamente.

TAREA	ELEMENTO MOTOR	DESCRIPCIÓN	W1	W2	W3	W4	W5	W6
			24 horas	150 horas/6 meses	300 horas/1 año	1500 horas/2 años	3000 horas/6 años	6000 horas/12 años
2P01-TM-00-000	Sistema general	Control de la configuración						
2P01-TM-01-000	Sistema general	Operaciones de mantenimiento en motores inactivos						
2P01-TM-01-001	Sistema general	Controlar los ruidos de marcha						
2P01-TM-01-003	Sistema general	Verificar estanqueidad del motor y condiciones exteriores						
2P01-TM-01-004	Sistema general	Registrar los parámetros de funcionamiento del motor						
2P01-TM-02-000	Sistema general	Acopio de material						
2P01-TM-03-000	Sistema general	Acopio de material						
2P01-TM-03-001	Sistema general	Engrasar puntos de engrase del motor						
2P01-TM-03-019	Sistema general	Controlar el estado y tensado de la correa trapezoidal						
2P01-TM-03-020	Sistema general	Realizar control visual del estado del acoplamiento torsioelástico						
2P01-TM-04-000	Sistema general	Acopio de material						
2P01-TM-04-007	Sistema general	Verificar el buen apriete de los tornillos del soporte del motor						
2P01-TM-04-008	Sistema general	Control visual del estado de los apoyos elásticos del motor						
2P01-TM-04-012	Sistema general	Realizar POP y Check-List de arranque						
2P01-TM-05-000	Sistema general	Acopio de material						
2P01-TM-05-007	Sistema general	Paquetes de manguitos elásticos en amortiguador de vibraciones						
2P01-TM-05-040	Sistema general	Controlar la alineación del motor						
2P01-TM-05-042	Sistema general	Desmontar dinamo y revisarla						
2P01-TM-05-046	Sistema general	Realizar POP y Check-List de arranque						
2P01-TM-06-000	Sistema general	Acopio de material						
2P01-TM-06-001	Sistema general	Desmontar, reacondicionar y montar todos los elementos del motor						

Tabla 2 Plan de mantenimiento:sistema general

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN DEL PATRULLERO “TABARCA”.
MANTENIMIENTO Y MEJORAS DEL SISTEMA

TAREA	ELEMENTO MOTOR	DESCRIPCIÓN	W1	W2	W3	W4	W5	W6
			24 horas	150 horas/6 meses	300 horas/1 año	1500 horas/2 años	3000 horas/6 años	6000 horas/12 años
2P01-TM-01-002	Sistema de admisión y escape	Control del color de los gases de escape						
2P01-TM-01-005	Sistema de admisión y escape	Control desagüe antes y después de turbosobrealimentador respecto a la salida de agua y paso						
2P01-TM-02-001	Sistema de admisión y escape	Controlar los ruidos en turbosobrealimentador						
2P01-TM-02-002	Sistema de admisión y escape	Verificar funcionamiento de válvulas de cierre rápido del sistema de admisión de aire						
2P01-TM-02-003	Sistema de admisión y escape	Controlar conductos de aire de admisión respecto a estanqueidad y deterioros						
2P01-TM-03-005	Sistema de admisión y escape	Limpiar rejillas protectoras del filtro de aire						
2P01-TM-03-006	Sistema de admisión y escape	Verificar fijación de los tubos de escape						
2P01-TM-03-007	Sistema de admisión y escape	Controlar sistema de escape y verificar desagüe respecto al paso del agua						
2P01-TM-04-002	Sistema de admisión y escape	Limpiar desagüe de tubería de alimentación de aire de sobrealimentación						
2P01-TM-04-003	Sistema de admisión y escape	Verificar presión del aire de sobrealimentación						
2P01-TM-05-008	Sistema de admisión y escape	Desmontar culatas y rectificar asientos de válvulas y válvulas						
2P01-TM-05-009	Sistema de admisión y escape	Sustituir anillos de junta de hierro dulce y anillos de junta de los pasos de agua y aceite de las culatas						
2P01-TM-05-014	Sistema de admisión y escape	Desmontar el turbosobrealimentador, despiezarlo, limpiarlo, control visual de los componentes y cambiar rodamientos						
2P01-TM-05-015	Sistema de admisión y escape	Realizar prueba hidráulica del turbosobrealimentador						
2P01-TM-05-016	Sistema de admisión y escape	Limpiar filtro-tamiz correspondiente a la lubricación de rodamientos del turbosobrealimentador						
2P01-TM-05-017	Sistema de admisión y escape	Desmontar y limpiar las tuberías de admisión de aire						
2P01-TM-05-018	Sistema de admisión y escape	Desmontar los tubos de escape del motor, limpiarlos y sustituir las juntas						
2P01-TM-05-019	Sistema de admisión y escape	Desmontar el refrigerador de aire de sobrealimentación, limpiarlo y verificar su estanqueidad						
2P01-TM-05-020	Sistema de admisión y escape	Comprobar el estado del aislamiento del sistema de escape						

Tabla 3 Plan de mantenimiento: sistema de admisión y escape.

TAREA	ELEMENTO MOTOR	DESCRIPCIÓN	W1	W2	W3	W4	W5	W6
			24 horas	150 horas/6 meses	300 horas/1 año	1500 horas/2 años	3000 horas/6 años	6000 horas/12 años
2P01-TM-01-008	Sistema de combustible	Controlar nivel de combustible						
2P01-TM-03-008	Sistema de combustible	Vaciar el filtro de combustible, limpiar la caja y cambiar elementos filtrantes del papel						
2P01-TM-03-009	Sistema de combustible	Limpiar el filtro previo de combustible						
2P01-TM-04-004	Sistema de combustible	Desmontar inyectores, examinarlos, sustituir anillos de junta y toberas						
2P01-TM-05-021	Sistema de combustible	Desmontar las bombas de inyección y revisarlas (caudal, estanqueidad)						
2P01-TM-05-022	Sistema de combustible	Controlar el acoplamiento de accionamiento de las bombas de inyección						
2P01-TM-05-023	Sistema de combustible	Verificar el comienzo de alimentación de bombas de inyección						
2P01-TM-05-024	Sistema de combustible	Limpiar depósito de combustible y verificar su estanqueidad y los conductos del mismo						
2P01-TM-05-044	Sistema de combustible	Desmontar y reacondicionar la bomba nodriza de combustible						

Tabla 4 Plan de mantenimiento: sistema de combustible.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN DEL PATRULLERO “TABARCA”.
MANTENIMIENTO Y MEJORAS DEL SISTEMA

TAREA	ELEMENTO MOTOR	DESCRIPCIÓN	W1	W2	W3	W4	W5	W6
			24 horas	150 horas/6 meses	300 horas/1 año	1500 horas/2 años	3000 horas/6 años	6000 horas/12 años
2P01-TM-01-009	Sistema de agua de refrigeración	Controlar nivel de agua de refrigeración						
2P01-TM-02-004	Sistema de agua de refrigeración	Tomar dos muestras de agua de refrigeración, examinar una con el maletín y otra enviarla al laboratorio						
2P01-TM-03-010	Sistema de agua de refrigeración	Limpiar el filtro de agua externa						
2P01-TM-03-011	Sistema de agua de refrigeración	Controlar el abastecimiento de agua externa						
2P01-TM-03-012	Sistema de agua de refrigeración	Verificar funcionamiento del equipo de vigilancia de nivel de agua de refrigeración						
2P01-TM-04-006	Sistema de agua de refrigeración	Limpiar el sistema de agua y renovarla						
2P01-TM-05-025	Sistema de agua de refrigeración	Realizar control visual de los componentes de la bomba de agua y cambiar rodamientos y juntas						
2P01-TM-05-026	Sistema de agua de refrigeración	Realizar control visual de los componentes de la bomba de agua externa y cambiar rodamientos y juntas						
2P01-TM-05-027	Sistema de agua de refrigeración	Desmontar refrigerador del agua de retorno del sistema de refrigeración del motor, limpiarlo y verificar estanqueidad						
2P01-TM-05-028	Sistema de agua de refrigeración	Controlar precalentamiento						
2P01-TM-05-029	Sistema de agua de refrigeración	Limpiar depósito de agua de refrigeración, controlar sus puntos de estanqueidad y los conductos						

Tabla 5 Plan de mantenimiento: Sistema de agua de refrigeración.

TAREA	ELEMENTO MOTOR	DESCRIPCIÓN	W1	W2	W3	W4	W5	W6
			24 horas	150 horas/6 meses	300 horas/1 año	1500 horas/2 años	3000 horas/6 años	6000 horas/12 años
2P01-TM-01-010	Sistema de aceite lubricante	Controlar nivel de aceite del motor						
2P01-TM-01-011	Sistema de aceite lubricante	Accionar la palanca de carraca (manilla) del filtro de aceite varias veces						
2P01-TM-02-005	Sistema de aceite lubricante	Verificar espesor de la capa de residuos de aceite y limpiar filtro centrífugo						
2P01-TM-02-006	Sistema de aceite lubricante	Evacuar el lodo del filtro de aceite y limpiar caja						
2P01-TM-02-007	Sistema de aceite lubricante	Tomar dos muestras de aceite de motor, examinar una con el maletín y enviar otra al laboratorio						
2P01-TM-02-011	Sistema de aceite lubricante	Cambiar elementos filtrantes de papel en estrella y anillos de junta en filtro doble de aceite motor						
2P01-TM-03-014	Sistema de aceite lubricante	Cambiar elementos filtrantes y anillos de junta del filtro de derivación de aceite de motor y limpiar la caja						
2P01-TM-03-015	Sistema de aceite lubricante	Cambiar aceite del motor						
2P01-TM-05-030	Sistema de aceite lubricante	Desmontar intercambiador de calor de aceite del motor, limpiarlo y verificar su estanqueidad						
2P01-TM-05-031	Sistema de aceite lubricante	Desmontar, sustituir juntas y limpiar el filtro de aceite del motor						
2P01-TM-05-032	Sistema de aceite lubricante	Limpiar el depósito adicional de aceite lubricante, controlar sus puntos de estanqueidad y los conductos						
2P01-TM-05-033	Sistema de aceite lubricante	Desmontar el filtro centrífugo de aceite, despiezarlo, y en caso necesario cambiar los cojinetes						
2P01-TM-05-045	Sistema de aceite lubricante	Desmontar y reacondicionar la bomba de prelubricación de aceite						

Tabla 6 Plan de mantenimiento: sistema de aceite lubricante.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN DEL PATRULLERO “TABARCA”.
MANTENIMIENTO Y MEJORAS DEL SISTEMA

TAREA	ELEMENTO MOTOR	DESCRIPCIÓN	W1	W2	W3	W4	W5	W6
			24 horas	150 horas/6 meses	300 horas/1 año	1500 horas/2 años	3000 horas/6 años	6000 horas/12 años
2P01-TM-03-002	Sistema de distribución	Realizar control visual de la correcta alimentación de aceite al sistema de distribución de válvulas						
2P01-TM-03-003	Sistema de distribución	Verificar holgura de la válvula y ajustarla si es necesario						
2P01-TM-04-001	Sistema de distribución	Inspeccionar visualmente la alimentación de aceite en elementos del sistema de distribución de la culata						
2P01-TM-05-001	Sistema de distribución	Control visual en estado montado del tren de engranajes						
2P01-TM-05-010	Sistema de distribución	Desmontar balancines y revisarlos						
2P01-TM-05-011	Sistema de distribución	Controlar taqués de válvulas respecto al desgaste						

Tabla 7 Plan de mantenimiento: sistema de distribución.

TAREA	ELEMENTO MOTOR	DESCRIPCIÓN	W1	W2	W3	W4	W5	W6
			24 horas	150 horas/6 meses	300 horas/1 año	1500 horas/2 años	3000 horas/6 años	6000 horas/12 años
2P01-TM-01-012	Sistema de arranque	Controlar la cantidad disponible de aire comprimido						
2P01-TM-01-013	Sistema de arranque	Desaguar el sistema de aire comprimido						
2P01-TM-03-013	Sistema de arranque	Limpiar sistema de aire de arranque						
2P01-TM-05-035	Sistema de arranque	Controlar válvulas de arranque y estanqueidad de las tuberías de alimentación de las mismas						
2P01-TM-05-036	Sistema de arranque	Desmontar conductos de aire de arranque y limpiarlos						
2P01-TM-05-037	Sistema de arranque	Desmontar el distribuidor de aire, revisarlo y efectuar nueva puesta a punto						
2P01-TM-03-038	Sistema de arranque	Controlar las botellas de aire/depósito respecto a su estanqueidad						

Tabla 8 Plan de mantenimiento: sistema de arranque.

TAREA	ELEMENTO MOTOR	DESCRIPCIÓN	W1	W2	W3	W4	W5	W6
			24 horas	150 horas/6 meses	300 horas/1 año	1500 horas/2 años	3000 horas/6 años	6000 horas/12 años
2P01-TM-03-004	Sistema de control	Verificar funcionamiento del vanillaje de regulación del motor y lubricarlo						
2P01-TM-04-009	Sistema de control	Verificar funcionamiento de sensores y equipos de protección						
2P01-TM-05-012	Sistema de control	Cambiar membrana de regulador						
2P01-TM-05-013	Sistema de control	Limpiar tamiz de entrada de aceite al regulador						
2P01-TM-05-041	Sistema de control	Cambiar elemento termosensible de dilatación en termostáticas						

Tabla 9 Plan de mantenimiento: sistema de control.

TAREA	ELEMENTO MOTOR	DESCRIPCIÓN	W1	W2	W3	W4	W5	W6
			24 horas	150 horas/6 meses	300 horas/1 año	1500 horas/2 años	3000 horas/6 años	6000 horas/12 años
2P01-TM-04-011	Sistema de accionamiento	Comprobar funcionamiento y tiempo de retardo en el sistema de accionamiento del motor						
2P01-TM-05-002	Sistema de accionamiento	Comprobar aprietes de tornillos de contrapesos y cabeza de biela						
2P01-TM-05-003	Sistema de accionamiento	Control visual de las camisas del cilindro						
2P01-TM-05-004	Sistema de accionamiento	Control visual de las cabezas del pistón y limpiarlas						
2P01-TM-05-005	Sistema de accionamiento	Por cada línea de cilindros, desmontar un pistón con su biela y revisarlos						
2P01-TM-05-006	Sistema de accionamiento	Por cada línea de cilindros, desmontar una camisa, revisarla y revisar la cámara de agua de refrigeración del bloque motor						
2P01-TM-05-043	Sistema de accionamiento	Controlar el sistema de accionamiento, y en caso necesario efectuar una nueva puesta a punto						

Tabla 10 Plan de mantenimiento: sistema de accionamiento.

TRAS REALIZAR 50 HORAS EN MOTORES NUEVOS O DESPUÉS DE UN W5 O UN W6			W1	W2	W3	W4	W5	W6
TAREA	ELEMENTO MOTOR	DESCRIPCIÓN	24 horas	150 horas/6 meses	300 horas/1 año	1500 horas/2 años	3000 horas/6 años	6000 horas/12 años
2P01-TM-50-001	Sistema general	Verificar el buen apriete de los tornillos y tuercas de sujeción en piezas de montaje						
2P01-TM-50-002	Sistema de distribución	Verificar holgura de la válvula, y en caso necesario, reajustarla						
2P01-TM-50-003	Sistema de admisión y escape	Verificar apriete de los tornillos y tuercas de sujeción en el sistema de admisión de aire						
2P01-TM-50-004	Sistema de admisión y escape	Verificar el buen apriete de los tornillos y tuercas de sujeción en el sistema de gases de escape						
2P01-TM-50-005	Sistema de combustible	Vaciar el filtro principal de combustible, cambiar elementos filtrantes de papel y limpiar los tubulares de fieltro						
2P01-TM-50-006	Sistema de combustible	Limpiar el filtro previo de combustible						
2P01-TM-50-007	Sistema de aceite lubricante	Cambiar el aceite de motor						
2P01-TM-50-008	Sistema de aceite lubricante	Limpiar el filtro de aceite de motor de discos a tamiz						
2P01-TM-50-009	Sistema de aceite lubricante	Cambiar elementos filtrantes de papel en estrella y anillos de junta en el filtro de aceite						
2P01-TM-50-010	Sistema general	Verificar el buen apriete de los tornillos y tuercas de sujeción en el soportado del motor						

Tabla 11 Plan de mantenimiento W6

4.4 Averías frecuentes

En los barcos de la Armada el mantenimiento, recambios y reparaciones se gestionan desde el año 2008 en el sistema informático de Gestión de Apoyo Logístico Integrado “GALIA”, a cargo de la Jefatura de Apoyo Logístico “JAL”. En él se supervisa el control de la configuración de las unidades y sistemas en servicio, manteniendo la correspondiente base de datos y actualizándola. Desde este año, se recogen en el patrullero “Tabarca” las averías y recambios realizados en el motor. Por tanto, a partir de esto, se puede elaborar un listado con los elementos críticos del buque, de cara a prevenir el mal funcionamiento de los mismos.

En la tabla que se muestra a continuación se pueden observar las diferentes reparaciones recogidas en el sistema informático, junto al año en el que sucedieron y el responsable de su reparación.

LISTADO DE AVERÍAS				
MOTOR BAZAN MTU-16V 956TB91				
Sistema	Elemento	Descripción	Año	Reparación
Sistema de combustible	Acometida de combustible	Falta de estanqueidad y sustituir reducción asociada	2006	NAVANTIA
Sistema general	Motor	Recorrido del motor (mantenimiento W4)	2006	NAVANTIA
Sistema de combustible	Inyector lado “A”	No inyecta al cilindro A4 y se sobrecalienta	2006	NAVANTIA
Sistema de combustible	Inyector del motor	Alta dilución del combustible en el aceite	2007	NAVANTIA
Sistema de agua de refrigeración	Tubería de 6” de agua tratada del enfriador	Limpieza de los enfriadores y sustitución de la tubería. Reparación de los filtros tamiz	2007	NAVANTIA
Sistema general	Varillas del motor	Apriete de las abrazaderas de los manguitos que generan pérdidas	2007	NAVANTIA
Sistema de agua de refrigeración	Bomba de agua salada	Reparación por presentar pérdida de agua	2008	NAVANTIA
Sistema de admisión y escape	Escape	Revisión por ruido anormal y reparación del silencioso	2009	M Blanco S.L. (PIP)
Sistema de combustible	Mangueras de neopreno	Sustitución por tener más de 6 años de uso	2009	Arsenal (PIP)
Sistema de agua de refrigeración	Manguera de circuito agua tratada	Sustitución por tener más de 6 años de uso	2009	NAVANTIA (PIP)
Sistema de aceite lubricante	Mangueras de los filtros	Sustitución por tener más de 6 años de uso	2009	NAVANTIA (PIP)
Sistema de admisión	Silencioso	Reparación	2009	M Blanco S.L.

y escape				
Sistema general	Motor propulsor	Ejecución escalón de mantenimiento W4 (4500 h)	2011	NAVANTIA
Sistema general	Motor propulsor	Mantenimiento W4	2013	NAVANTIA
Sistema de agua de refrigeración	Circuito agua salada	Ánodos de zinc para el sistema de agua salada	2013	FOROVE S.L.
Sistema de combustible	Bomba de inyección	Reparación por anomalía en cilindros 6ª, 7ª, 8ª y 5B	2013	NAVANTIA
Sistema general	Motor propulsor	Mantenimiento W4	2013	NAVANTIA
Sistema de combustible	Bomba de inyección	Reparación por anomalía en cilindros 6ª, 7ª, 8ª y 5B	2013	NAVANTIA
Sistema de accionamiento	Cilindros A6, A7, A8, 5B	Fallo de combustión	2013	NAVANTIA
Sistema de accionamiento	Culatas	Revisión de las culatas y funcionamiento (6 veces)	2014	NAVANTIA
Sistema de agua de refrigeración	Bomba de agua de refrigeración	Reemplazo	2015	NAVANTIA
Sistema de combustible	Bomba de inyección	Pequeña pérdida de aceite en la bomba	2015	Arsenal
Sistema general	Culatas	Desmontaje y limpieza de los casquillos	2015	NAVANTIA
Sistema de aceite lubricante	Tuberías	Sustitución de las tuberías semirrígidas de aceite del motor	2016 (PIP)	Arsenal (Pendiente)
Sistema de arranque	Botella	Prueba hidráulica de la botella de arranque del motor	2016 (PIP)	Arsenal (Pendiente)
Sistema de agua de refrigeración	Bomba	Recorrido de la bomba de precalentamiento	2016 (PIP)	Arsenal (Pendiente)

Tabla 12 Averías GALIA

4.5 Elementos críticos

Partiendo de la tabla que aparece en el punto anterior, se ha procedido a establecer una serie de elementos que, como indica el título del apartado, son los que más averías sufren, y por tanto, los que más mantenimiento preventivo tienen que tener, para poder evitar así el mal funcionamiento y la consiguiente pérdida de operatividad del motor y por tanto del buque.

4.5.1 Inyectores de combustible del motor

El inyector y el porta-inyector están fijados en la culata lateralmente, y su cometido es inyectar el combustible suministrado por las bombas de inyección a la cámara de combustión.

El inyector es una tobera de agujero que consta de un cuerpo y una aguja, ajustados muy finamente y sin poder funcionar por separado, por lo tanto, en caso de sustitución, deberán ser sustituidos al mismo tiempo. En el cuerpo, se disponen ocho taladros simétricamente, que reparten el combustible en la cámara de combustión. Está atornillado al porta-inyector por una tuerca en su extremo. Por otro lado, la aguja es lubricada con combustible que se fuga entre el cuerpo del inyector y la propia aguja. Este combustible de fuga retorna al depósito de combustible por el taladro para el perno de presión, un taladro de combustible de fuga en el cuerpo y un conducto.

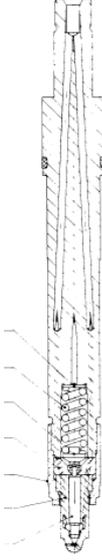
FICHA DE ELEMENTOS CRÍTICOS	
Máquina	MOTOR BAZAN MTU-16V 956TB91
Elemento: Inyector de combustible del motor	
	
Descripción y funcionamiento	
Introducir el combustible en el momento preciso del ciclo de combustión de los cilindros	
Condiciones básicas	
Alimentación correcta de la bomba y limpieza	
Acciones preventivas	Averías más habituales
Controlar presión de apertura, control de estanqueidad, prueba de zumbido, control de la pulverización, revisión de la alimentación de combustible y de las mangueras	Obstrucción en la pulverización, deterioro de las mangueras y pérdidas de combustible

Tabla 13 Elemento crítico: inyector de combustible

4.5.2 Mangueras del circuito de refrigeración

El circuito de aceite motor está dividido en dos sistemas de aceite, que son el circuito de aceite del mecanismo de accionamiento y el de refrigeración de los pistones. La bomba de aceite de refrigeración de los pistones recibe el aceite refrigerado del circuito del mecanismo y lo impele a través de filtro-rendijas de aceite motor al canal de aceite de refrigeración de los pistones. Desde el canal de aceite de refrigeración de los pistones el aceite es conducido a las toberas de inyección por tubos de unión. La tobera inyecta el aceite en el pistón que desemboca en el canal de refrigeración del pistón. Cuando sale de dicho canal lubrica el pistón y retorna, sin presión, al cárter de aceite.

FICHA DE ELEMENTOS CRÍTICOS	
Máquina	MOTOR BAZAN MTU-16V 956TB91
Elemento: Manguera del circuito de refrigeración	
	
Descripción y funcionamiento	
Conduce el aceite de refrigeración a las toberas de inyección	
Condiciones básicas	
Presión adecuada constante	
Acciones preventivas	Averías más habituales
Conexión para teletransmisor de presión para vigilar la presión de aceite de refrigeración	Obstrucción por partículas residuales o pérdida de presión por fugas.

Tabla 14 Elementos críticos: manguera del circuito de refrigeración

4.5.3 Bomba de agua de refrigeración

Antes de arrancar el motor se debe precalentar el agua a una temperatura aproximada de 40°C. Esto facilita el arranque, evita la formación de residuos de combustible y aceite en la cámara de combustión e impide desgastes por arranques en frío. El agua de refrigeración se aspira desde el depósito, se calienta y se conduce al motor para pasar por culatas y camisas y sale por el lado de potencia del motor para retornar al precalentador.

FICHA DE ELEMENTOS CRÍTICOS	
Máquina	MOTOR BAZAN MTU-16V 956TB91
Elemento: Bomba de agua del circuito de refrigeración del motor (agua dulce tratada)	
	
Descripción y funcionamiento	
Forma parte del circuito de agua de refrigeración del motor de agua tratada, aspirando el agua del depósito gracias al movimiento solidario con el eje cigüeñal del motor	
Condiciones básicas	
Alimentación correcta de agua a través de las mangueras, tratamiento correcto del agua del circuito	
Acciones preventivas	Averías más habituales
Controlar el nivel del agua de refrigeración del circuito, analizar el agua refrigerante y limpieza de las cámaras de agua	Obstrucción en los conductos de la bomba a causa de impurezas o mal tratamiento de las aguas del circuito

Tabla 15 Elementos críticos: bomba de agua del circuito de refrigeración

4.5.4 Bomba de inyección

Construida en hierro fundido con grafito esferoidal. Cada uno de los émbolos de la bomba es accionado por un taqué de rodillo del árbol de levas y trabaja con carrera total invariable. Un resorte empuja el taqué de rodillo continuamente contra la pista de rodadura de levas, sin que haya holgura alguna. Hay una para cada hilera de cilindros del motor, y están lubricadas con aceite de presión del circuito de aceite motor.

FICHA DE ELEMENTOS CRÍTICOS	
Máquina	MOTOR BAZAN MTU-16V 956TB91
Elemento: Bomba de inyección de combustible	
Descripción y funcionamiento	
Conducir a los cilindros del motor una cantidad de combustible dependiente de las condiciones de carga del motor	
Condiciones básicas	
Funcionamiento correcto y sincronización precisa con el ciclo de combustión y el movimiento de los pistones	
Acciones preventivas	Averías más habituales
Controlar la limpieza de los filtros y la estanqueidad de la propia bomba	Obstrucción de los conductos y pérdidas de combustibles

Tabla 16 Elementos críticos: Bomba de inyección de combustible

4.5.5 Sistema de combustión de los cilindros

Los pistones son refrigerados por aceite, se componen de falda y cabeza. La falda está forjada en metal ligero y como aros rascadores de aceite lleva montado un aro con resorte espiral y un aro ranurado. En la falda existe un taladro para la alimentación del aceite refrigerante de los pistones.

La cabeza del pistón es de acero, fijada en la falda con tornillos de dilatación. Lleva un aro de compresión de cromado duro así como dos aros ligeramente achaflanados.

FICHA DE ELEMENTOS CRÍTICOS	
Máquina	MOTOR BAZAN MTU-16V 956TB91
Elemento: Sistema de combustión de los cilindros	
Descripción y funcionamiento	
Los cilindros realizan el ciclo de combustión en cuatro tiempos para obtener la potencia de movimiento del motor	
Condiciones básicas	
Sincronización exacta de las válvulas y ajuste fino entre las paredes del cilindro y el pistón	
Acciones preventivas	Averías más habituales
Revisar presión del cárter para no forzar los aros de los pistones, revisar los pistones y los aros	Gripaje o desincronización en los tiempos del ciclo de combustión

Tabla 17 Elementos críticos: sistema de combustión de los cilindros

5 MEJORAS DEL SISTEMA

El patrullero P-28 “Tabarca” es, junto con los demás buques de su clase, de los únicos buques de la Armada Española que cuenta únicamente con un motor propulsor, que, aunque posee gran fiabilidad, lo dejaría a la deriva y sin gobierno en caso de fallar en mitad de una navegación.

5.1 Instalación de un motor auxiliar

Debido a este único motor propulsor, se ha estudiado la posibilidad de instalar en el patrullero un motor auxiliar de tipo eléctrico de manera similar a la propulsión con la que cuentan los “BAM”. Éstos poseen una planta propulsora del tipo “CODOE” (Combined Diesel or Electric), y cuentan con dos ejes con un motor diésel y un motor eléctrico cada uno.

La finalidad de los motores eléctricos es accionar las hélices, pero no son los equipos de propulsión principales, sino auxiliares o alternativos. Se utilizarán en caso de que sea necesario si los principales sufren alguna avería o en el caso de que se decida navegar con los auxiliares para reservar los motores diésel. Estos motores poseen una instalación que consta de los siguientes equipos:

- Motor eléctrico: Proporciona la energía mecánica necesaria para accionar la hélice.
- Acoplamiento elástico: Componente que permite unir mecánicamente el eje del motor y el de la caja reductora de la hélice. El hecho de que sea algo elástico permiten que funcione correctamente con cierto grado de desalineación de los ejes. Además, posee la resistencia necesaria para transmitir el par de un eje al otro.
- Freno mecánico: Se encarga de frenar el eje del motor eléctrico y mantenerlo bloqueado en caso necesario, impidiendo que gire cuando el motor está desconectado
- Arrancador electrónico: Pone en marcha el motor teniendo en cuenta que no se alcance una corriente muy elevada durante el arranque, y que el incremento de la corriente no sea brusco, sino que sea progresivo. Posee, además, dos armarios:
 - Armario de potencia.
 - Armario de control.

Aplicándolo al patrullero que se está estudiando, la implantación de un motor eléctrico auxiliar supondría la seguridad de tener un medio de propulsión secundario en caso de avería del motor principal.

El motor tiene una potencia de 760 kW y tiene la posibilidad de girar en los dos sentidos. Además, posee un volumen de 1990x1630x1380 m y un peso de 3600 Kg. Las características completas se recogen en el Anexo 1.

El presupuesto para adquirir el motor (sin contar los gastos de instalación) ascendería aproximadamente a 143.237,45€.

5.2 Regulador de velocidad del motor

El Regulador de velocidad trabaja según el principio de un regulador centrífugo, y su misión es mantener constante las revoluciones a las que es ajustado dentro de su grado de proporcionalidad. Éste último se ajusta en el regulador, permitiendo, en caso de tener varios motores en la misma instalación, ajustar la velocidad y potencia entre los motores.

El ajuste de las revoluciones se realiza mediante un tornillo sinfín, accionado por un cable flexible comandado a su vez por un volante. Además, debe tener una presión mínima de aceite para su correcto funcionamiento. El regulador posee dos posiciones principales para su funcionamiento:

- **Posición de parada del motor:** Cuando el motor está parado, los pesos centrífugos del regulador adoptan la posición de reposo. La corredera distribuidora de aceite, empujada por su resorte, acciona las palancas y ajusta las cremalleras de las bombas de inyección a la posición de máxima inyección. Esto ocurre por no entrar aceite procedente de la bomba de prelubricación al estar parada.
- **Posición de arranque:** Para que el motor no arranque en plena carga, el regulador dispone de un dispositivo limitador de arranque. Cuando se arranca se debe poner en marcha la bomba de prelubricación, para impulsar aceite al regulador.

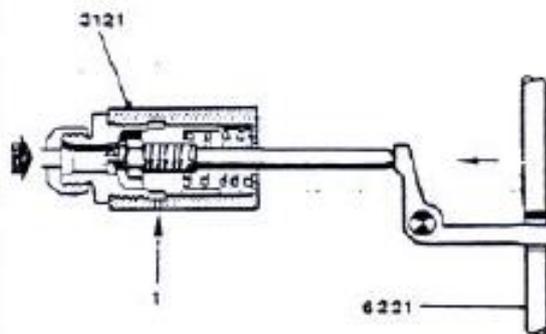


Figura 5-1 Limitador de arranque

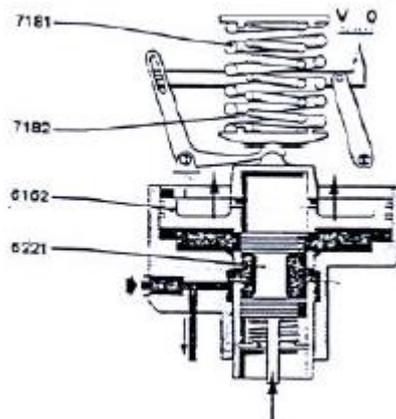


Figura 5-2 Regulador de velocidad

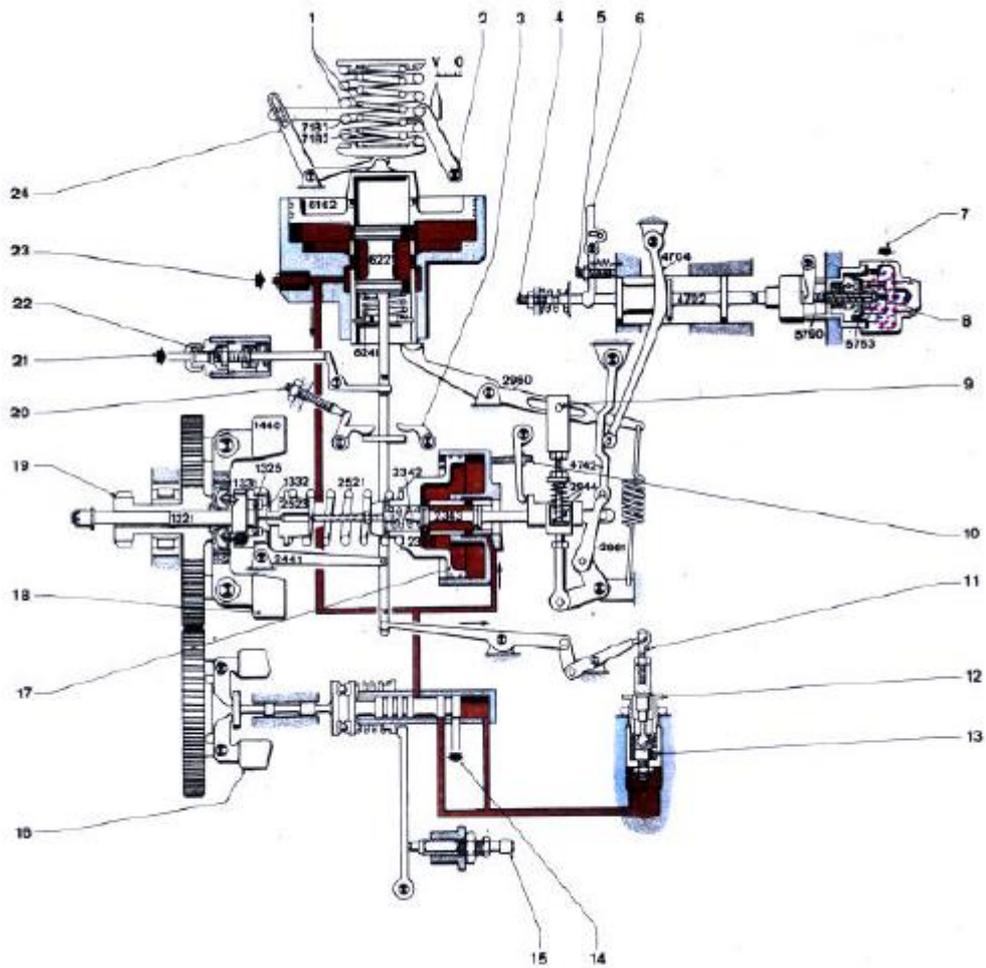


Figura 5-3 Esquema del regulador en plena carga

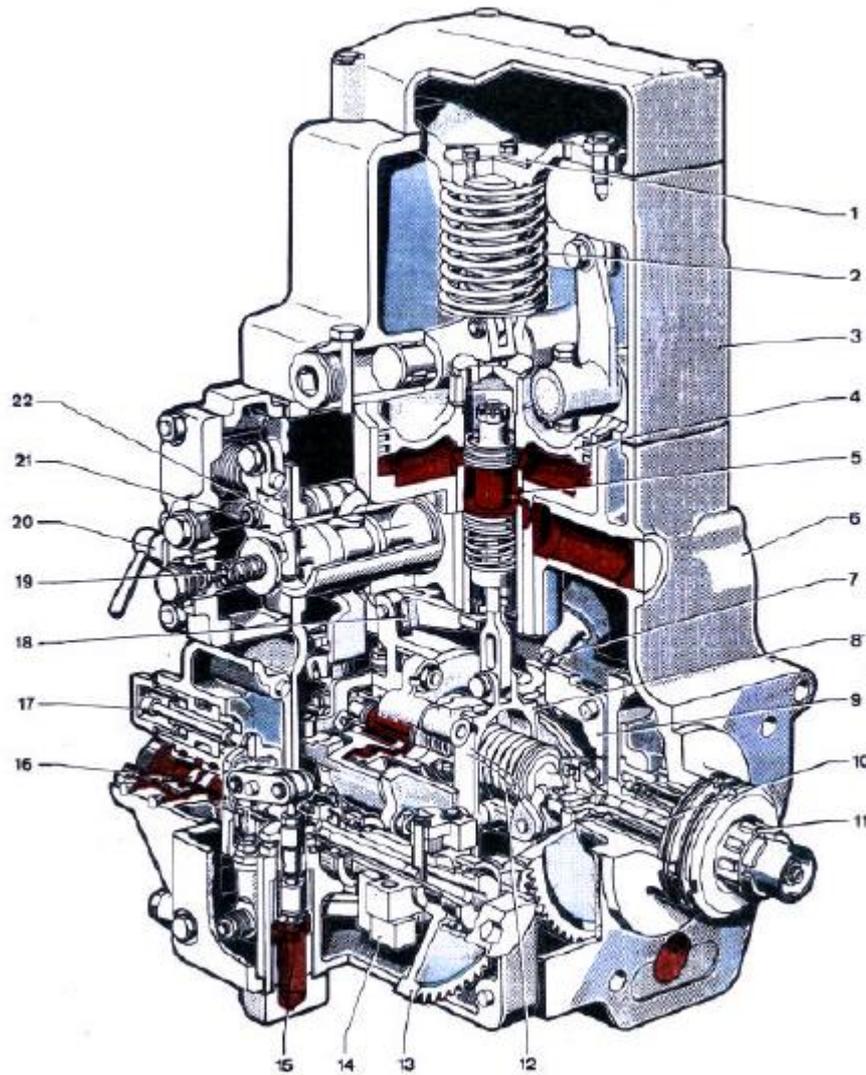


Figura 5-4 Regulador del motor

Una vez arrancado el motor, las bombas de aceite impulsan el aceite a presión al interior del regulador, parándose automáticamente la bomba de prelubricación. Una vez puesto en marcha el motor, el regulador cambia inmediatamente a la posición de arranque a posición de marcha en vacío.

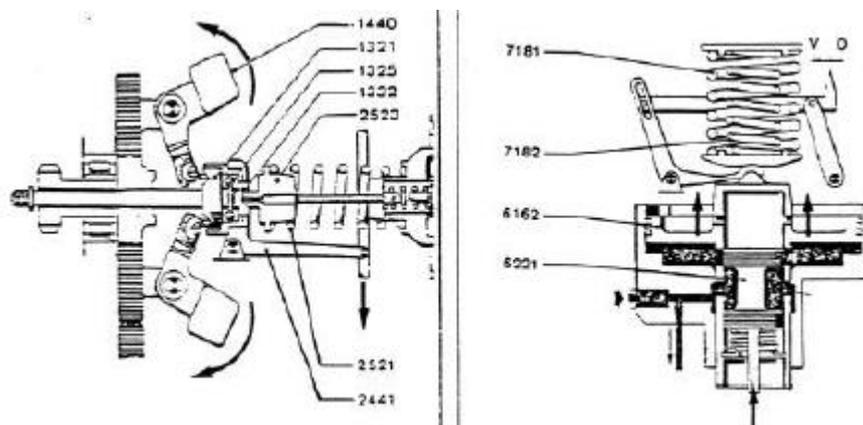


Figura 5-5 Posición de marcha en vacío

Por efecto de los pesos centrífugos de la Figura 5-5 se comprime el resorte, y la palanca tira hacia abajo liberando la parte superior de los orificios de aceite.

- **Posición de plena carga (accionamiento neumático):** Para aumentar la velocidad del motor, y con ello la potencia, por medio de los telemandos se regula la presión de aire que entra en la Figura 5-3, ejerciendo presión en la palanca de la Figura 5-6. Ésta, a su vez, empuja la varilla hacia arriba y moviendo las cremalleras de combustible para aumentar o disminuir la inyección del mismo.

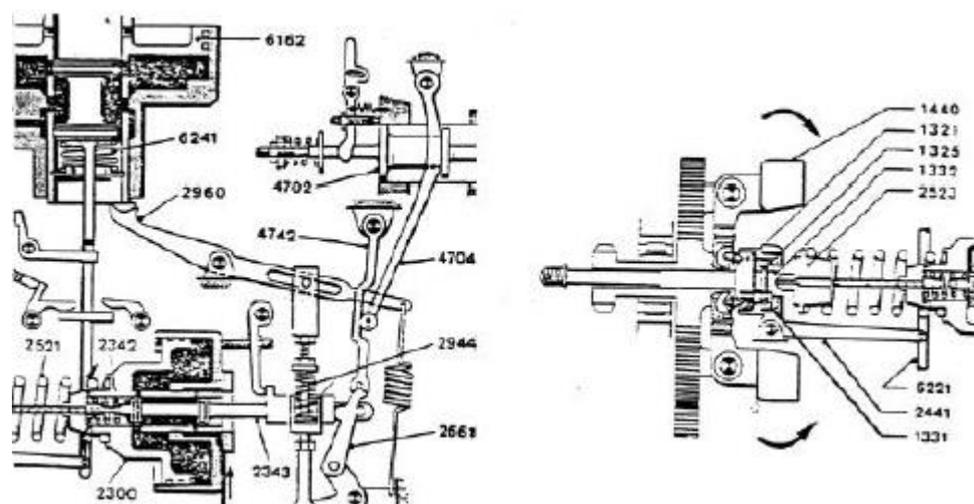


Figura 5-6 Membranas del regulador a plena carga

Una vez estudiado el funcionamiento del regulador actual del patrullero, se plantea la posibilidad de realizar un cambio por uno electrónico, tal como se ha hecho en los patrulleros de la clase "Descubierta".

El regulador que se instaló en éstos últimos es el "UG-Actuator" de la casa "Woodward". Es un regulador electrohidráulico que utiliza una señal de entre 20 y 160 mA. Convierte una señal eléctrica en una posición de salida que acciona el eje del motor y la válvula de seguimiento. La rotación de salida posee 42 grados de rango de movimiento.

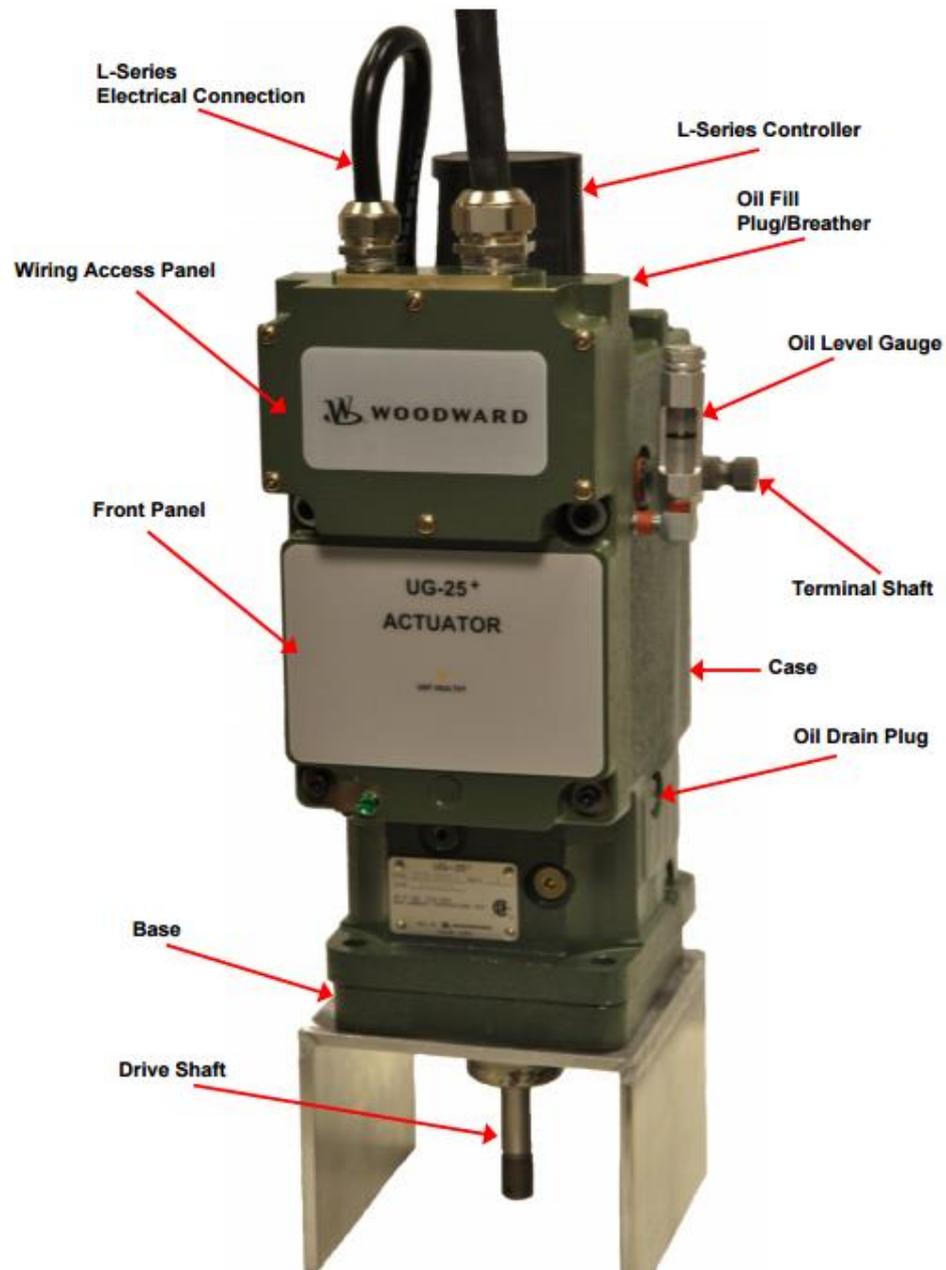


Figura 5-7 Regulador de velocidad UG

El regulador tiene tres componentes principales:

- Controlador “L-Series”: Proporciona la rotación de salida en función de la corriente que le llegue desde el control externo.
- Interfaz de usuario: Contiene la unidad de comprobación de funcionamiento y los conectores eléctricos.
- Amplificador hidráulico: Amplifica el trabajo realizado por el controlador “L-Series”, y consta de los siguientes elementos:
 - Bomba de aceite: Proporciona presión de aceite al regulador desde un depósito propio.
 - Válvula de seguridad: Mantiene una presión de 1034 kPa.

- Conversor de movimiento: Convierte el movimiento rotativo en la salida del "L-Series" en un movimiento lineal necesario en el funcionamiento de las válvulas del amplificador.
- Muelle de retorno: Mueve la válvula a la posición mínima de combustible en caso de mal funcionamiento del controlador "L-Series".
- Émbolo de la válvula piloto: Dirige el flujo de aceite hacia el pistón o hacia el desagüe del actuador.
- Potencia del pistón, terminal eje de la palanca y terminal del eje: La palanca de eje de salida convierte el movimiento lineal de la potencia en un movimiento de rotación del eje de terminal, que a su vez mueve el combustible.

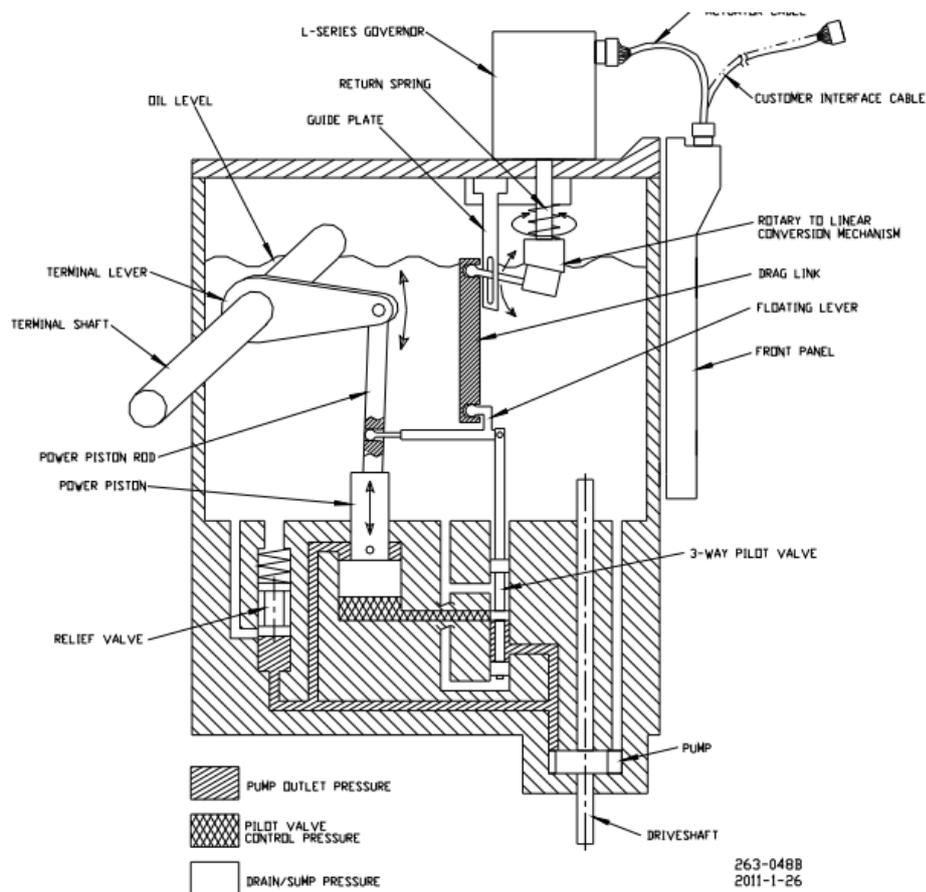


Figura 5-8 Esquema general del regulador

El coste del regulador de velocidad sin incluir la instalación del mismo ronda los 2.300,51 €. Sus especificaciones detalladas se pueden encontrar en el Anexo 2 de este documento.

5.3 Sistema de recuperación del calor de los gases de escape

Este sistema consiste, como su nombre indica, en la instalación de un intercambiador de calor en la salida de los gases de escape de los cilindros del motor. Con esto se puede conseguir aprovechar el calor que poseen los gases para, por ejemplo, utilizarlo en el circuito de agua caliente sanitaria del buque. Para llevarlo a cabo, se pueden utilizar intercambiadores de calor comerciales como el de la Figura 5-9 de la casa Bosch.

Este módulo aprovecha el potencial térmico de las corrientes de gas de escape, incrementando así la eficacia del sistema en calderas de vapor, pudiendo ser utilizado también en motores diésel. Permite ahorrar energía disminuyendo la temperatura del gas de escape, calentando el agua de retorno de la red.

Las corrientes de los gases de escape contienen un potencial considerable de calor con un alto nivel de temperatura, y los módulos tipo economizador con su superficie de calentamiento altamente eficiente aprovechan este potencial incrementando así el rendimiento de la instalación.

El módulo se encuentra montado sobre una base de apoyo estable y dispone en la parte trasera de carriles para el transporte. El servoaccionamiento, las tuberías de las conexiones, las válvulas reguladoras de los gases de escape y de cierre de salida se montan y forman parte, junto al aislamiento térmico del alcance del suministro de fábrica. En la parte inferior se acumulan los gases de humo, los cuales circulan en la parte superior a través del intercambiador de calor integrado, para recuperar el calor.



Figura 5-9 Intercambiador de calor

Además, también se podría aprovechar la energía calorífica de los gases de escape para generar otro tipo de energía, como por ejemplo eléctrica. Para llevarlo a cabo, se necesitaría implantar en el buque un sistema de cogeneración. Éste consiste en la producción simultánea de dos o más tipos de energía, normalmente eléctrica o mecánica y térmica.

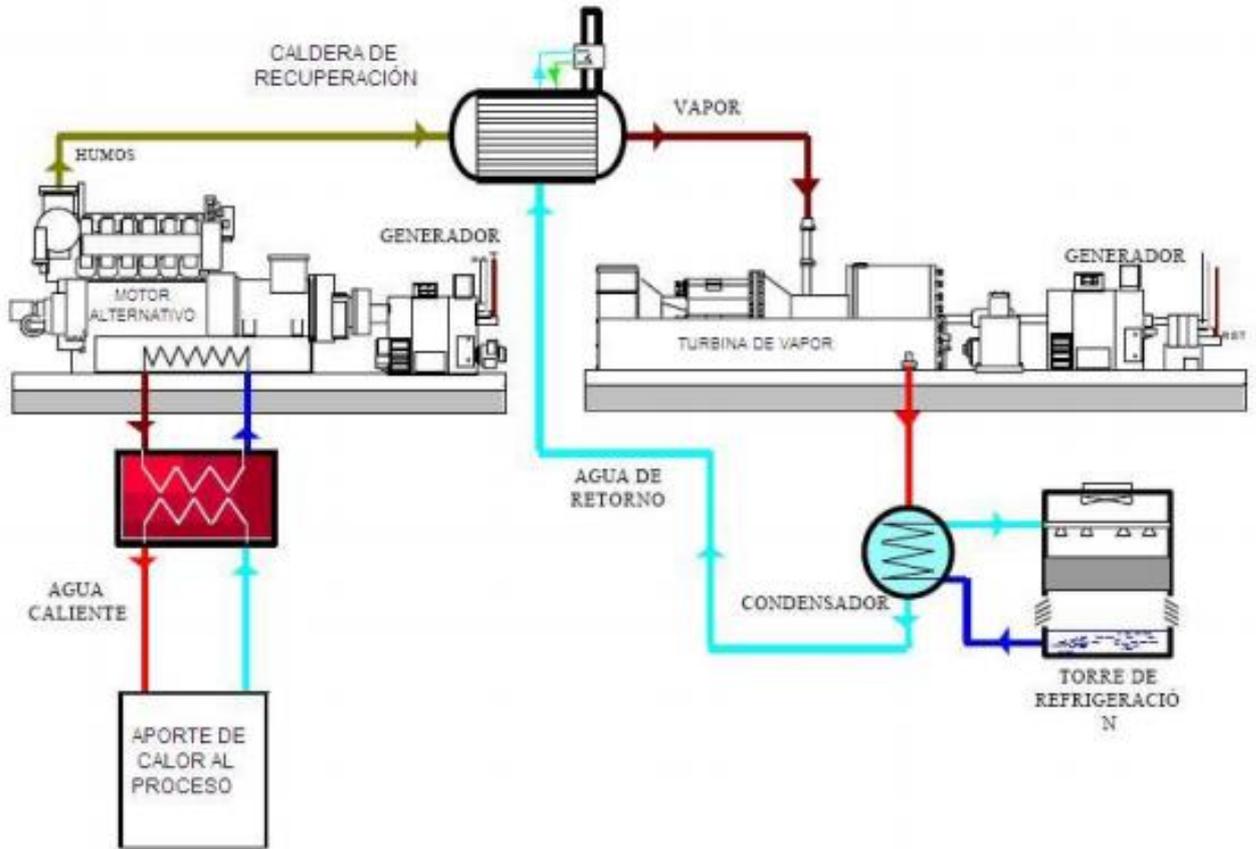


Figura 5-10 Cogeneración en motor diésel

Para el caso de la cogeneración con el motor diésel estudiado, el calor de los gases de escape se recupera en una caldera de recuperación, donde se produce vapor que será utilizado en una turbina de vapor para producir energía mecánica o eléctrica. En la Figura 5-10 se puede observar un esquema del montaje del ciclo. El coste total de obra rondaría 1.100.000€, basándose en un presupuesto de una instalación similar.

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

6.1 Conclusiones

En este trabajo se ha recopilado información acerca del motor MTU del patrullero “Tabarca”, así como de las tareas de mantenimiento y de los elementos críticos del propio motor. La colaboración del personal del P-28 “Tabarca” ha sido esencial en el desarrollo de este documento, permitiendo el acceso a las diferentes herramientas que posee la Armada Española en materia de mantenimiento.

La reducida lista de averías, así como el escaso número de elementos críticos detectados, que ha proporcionado el personal del buque muestra la elevada fiabilidad de este bloque. Este es uno de los principales motivos por el que la Armada ha decidido prolongar su vida útil hasta las 9000h, muy lejos de las 6000h previstas.

Se ha realizado un plan de mantenimiento del motor “MTU 956TB91”, partiendo de los que se realizan a bordo del buque y de los que se realizan en los diferentes arsenales y astilleros de la Armada.

Una vez realizado el plan de mantenimiento se han recogido en una tabla las averías producidas en el motor a lo largo de su vida útil, detectándose como elementos más críticos los siguientes:

- Inyectores de combustible del motor
- Mangueras del circuito de refrigeración
- Bomba del circuito de refrigeración del motor (agua dulce tratada)
- Bomba de inyección de combustible
- Sistema de combustión de los cilindros

A partir de estos elementos críticos es conveniente realizar un seguimiento exhaustivo y periódico del correcto funcionamiento de los mismos, ya que se ha comprobado que son los que más averías han sufrido y, por lo tanto, los que más probabilidad tienen de averiarse.

La instalación de un motor auxiliar permitiría mantener la gobernabilidad del buque cuando se averíe el motor principal. Los costes son relativamente elevados pero se amortizarían gracias al aumento de la vida útil del motor principal, aún más, y rebajando su uso en navegaciones de tránsito donde no se necesiten velocidades elevadas.

El regulador electrohidráulico permitiría un control más preciso y rápido de la velocidad del motor sustituyendo el obsoleto sistema neumático, que, aunque funciona correctamente, haría difícil su reparación o cambio de piezas en caso de avería.

La última mejora propuesta, el intercambiador de calor, permitiría un aprovechamiento mayor de los gases de escape, utilizando parte de su energía térmica en otros sistemas, con la consecuente reducción del consumo y emisiones.

6.2 Líneas futuras

En primer lugar, se debe mantener el plan de mantenimiento del motor actualizado periódicamente, realizando todas las tareas que requiere en el momento necesario. Esto garantizará la ampliación de uso del motor prevista en los objetivos del estudio.

En el futuro está previsto un cambio de motor a cargo del Arsenal de Ferrol, para que sea desmontado y reacondicionado totalmente. Una vez hecho esto, se montará en otro patrullero similar, continuando así el ciclo con todos los motores de estos patrulleros. Es por esto por lo que sería conveniente acompañar el motor con el historial de mantenimiento de ese bloque.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Villaverde, Adrián. “Historia, tipos y piezas del motor”, 2009. [En línea]: <http://mecanicayautomocion.blogspot.com.es/2009/02/historia-del-motor.html> (Consultado 26/12/2015).
- [2] Mostacero Valderrama, J.E. “Motores de combustión interna y externa”, 2014. [En línea]: <http://royalautomotriz.com/motores-de-combustion-externa-e-interna/> (Consultado 26/12/2015)
- [3] “El motor de combustión”, 2015. [En línea]: <http://www.sabelotodo.org/automovil/motores.html> (Consultado 26/12/2015)
- [4] “Clasificación de los motores de combustión interna”, 2015. [En línea]: <http://es.slideshare.net/leonidaspailiacho/clasificacin-de-los-motores-de-combustin-interna> (Consultado el 26/12/2015)
- [5] “Funcionamiento de un motor de combustión interna” (2015). <http://www.banrepcultural.org/node/92121> (Consultado 26/12/2015)
- [6] Lluch Hernández, Rafael. “Motores diésel marinos”. Barcelona: CEAC, 2000.
- [7] Hewitt, Dick. “Motores de barco”. Madrid: Ediciones Pirámide, 1998.
- [8] De Mazarredo Beutel, Luis. “Evolución de la propulsión naval mecánica”. Madrid: FEIN, 1992.
- [9] Bellas Arribas, Enrique. “Plan de mantenimiento autónomo en motor Bazán-MAN V6V 16/18TL”, 2015.
- [10] “Propulsión de barcos” ,2013. [En línea]: http://www.ricepropulsion.com/TNLS/propulsion_de_barcos.htm (Consultado 04/01/2016)
- [11] “Diez sistemas de propulsión en el mundo naval”, 2013. [En línea]: http://www.sectormaritimo.es/lista/detalle.asp?apt=58&id_contenido=582 (Consultado 03/01/2016)
- [12] Fernández Díez, Pedro. “Turbina de vapor”, 2015 [En línea]: <http://es.pfernandezdiez.es/?pageID=20> (Consultado 04/01/2016)
- [13] “Motores de combustión interna”, 2014. [En línea]: <http://mecanicarodanto.blogspot.com.es/p/motor-de-combustion-interna-mci.html> (Consultado 01/02/2016)

- [15] Baskakov A.P. “Ciclos de instalaciones térmicas de fuerza”. Moscú: Ediciones MIR, 1976.
- [16] Chvetz I. “Termodinámica técnica, turbinas y máquinas alternativas”. Barcelona: Edición Hispano Europea, 1975.
- [17] Massi, Enrique. “Turbinas de gas aplicadas a propulsión naval”. Barcelona: Universidad tecnológica, 2006.
- [18] Estegui, J.M., Zlate, Lisandro. “Propulsión nuclear naval y marina”. UTN, 2005.
- [19] “Motor propulsor Bazán-MTU-Modelo 16V 956TB91” Ferrol: 1984.
- [20] Puig Novell, Eduarda. “Mantenimiento e Ingeniería. Instalaciones industriales”, 2013. [En línea]: <http://puigenginyindustrial.blogspot.com.es/2013/07/historia-del-mantenimiento-industrial.html> (Consultado 08/02/2016).
- [21] García Gutiérrez, Mario. “PFC Dimensionado de un sistema de recuperación de gases de escape para un portacontenedores 2700 TEU”. Barcelona: Universidad politécnica de Cataluña, 2015.

8 ANEXOS

Anexo 1. Características motor eléctrico Loher GmbH JNWA-450SB-06A

Appendix B.

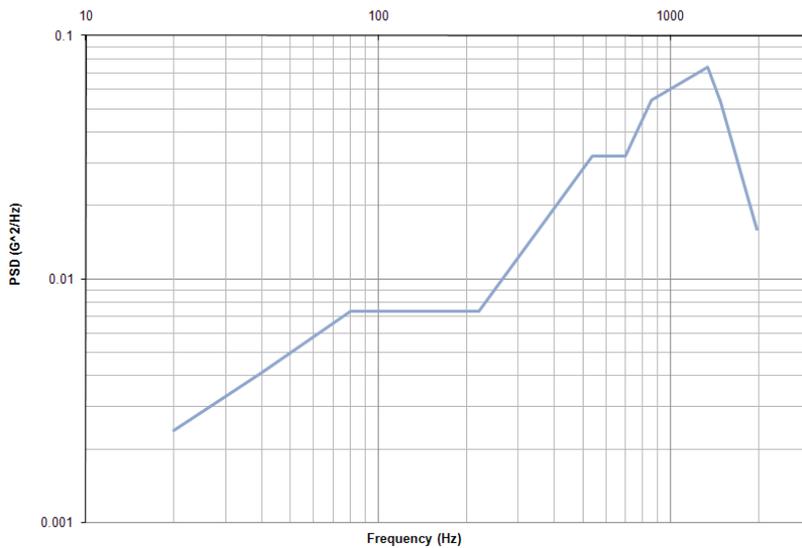
UG-25⁺ Actuator Specifications

Actuator	Power Supply	(18 to 32) V (dc), dual inputs at 2.5 A max. each
	Power Consumption	Reverse polarity protection, 32 W max
	Torque/Work Output (minimum):	
	Standard Version	
	(0.625 inch diameter terminal shaft)	45.4 N·m (33.5 lb-ft) torque; 32.9 J (24.3 ft-lb) of work over 42 degrees
	Increased Output Version	
	(0.75 inch diameter terminal shaft)	55.5 N·m (40.9 lb-ft) torque; 40.2 J (29.6 ft-lb) of work over 42 degrees
	Continuous Speed	500 rpm to 1700 rpm (drive shaft speed) max (0.625 inch pump); 350 rpm to 1200 rpm (drive shaft speed) max (0.875 inch pump)
	Hysteresis	1.0 % or less (measured over full terminal shaft travel)
	Temperature Drift	1.0 % of full terminal shaft travel between 27 °C and 77 °C (80 °F and 170 °F)
	Linearity	2.5 % or less (measured over full terminal shaft travel)
	Slew Rate	180 degrees/second or better at full actuator oil pressure for 34 J (25 ft-lb) of work output 145 degrees/second or better at full actuator oil pressure for 41 J (31 ft-lb) of work output
		NOTE —All performance specifications are valid while operating at a case temperature between 71 °C and 93 °C (160 °F to 200 °F) with an oil viscosity of 20 cSt to 65 cSt (100 to 300 SUS).
	Weight	27 kg (60 lb), dry weight
	Customer Connections	Terminal blocks located inside front access plate (field wiring enters the top of the unit through a cable gland available commercially or from Woodward)
	Actuator Drive / Hydraulic System	
	Input Shaft Options	0.625 keyed drive shaft with 0.625-18 threads or 0.625-36 serrated
	Output	42.2 ± 0.6 degrees rotary
	Terminal Shaft Options	0.625-36 serration (34 J / 25 ft-lb version) 0.750-48 serration (41 J / 31 ft-lb version)
	Drive Power Requirement	335 W (0.45 hp) max.
	Internal Hydraulic Pressure	1034 kPa (150 psi)
	Oil	Self-contained sump (2.1 L / 2.2 quart capacity). See Woodward manual 25071, <i>Oils for Hydraulic Controls</i> , for oil recommendations.
	Drive Rotation	Pump can be configured to operate in CW or CCW direction

Environment

Ambient Operating Temperature	(0 to 55) °C / (32 to 131) °F
Actuator Case Temperature	100 °C (212 °F) maximum
Storage Temperature	(-40 to +85) °C / (-40 to +185) °F, limited by electronics
EMC	EN61000-6-4, 2007: EMC Part 6-4: Generic Standards—Emissions for Industrial Environments EN61000-6-2, 2005: EMC Part 6-2: Generic Standards—Immunity for Industrial Environments
Humidity	US MIL-STD 810E, Method 507.3, Procedure III
Shock	MS1-40G 11 ms sawtooth
Vibration Validation	Power Spectral Density (PSD) must not exceed the level or frequency as shown in the curve while the governor is running on a loaded engine, as measured at governor base.

UG25+ Maximum Allowed Application Vibration PSD vs. Frequency



Frequency (Hz)	Allowed PSD Level (G ² /Hz)
20	0.00240
40	0.00414
80	0.00736
220	0.00736
540	0.03197
700	0.03197
860	0.05453
1340	0.07452
1480	0.05339
1960	0.01595

Thermal Shock	SAE J1455, Paragraph 4.1.3.2
Ingress Protection	IP45 for entire unit. IP56 for User Interface per EN60529 and only if proper cable glands are used as described in this manual.

Functions

I/O	(4 to 20) mA analog Position Command control signal Unit Healthy discrete out
Front Panel Indications	Unit Healthy status indication

I/O Specifications

Power Input (1 and 2)

Parameter	Value
Range	(18 to 32) V (dc)
Power Consumption	Nominal consumption is less than 500 mA. If internal failures occur, the device can draw 32 W maximum. (18 V @ 1.8 A)
Protection	Reverse-polarity protected
Isolation	None

Status (Unit Health) Output

Parameter	Value
Output Type	Low-side output driver
Max Contact Voltage (Open)	32 V
Max Current	0.5 A
Max Contact Voltage at 0.5 A (Closed)	1.5 V
Max Delay Time for Opening Contact	6.5 ms
Default at Power Up	On (conducting), if there are no faults
During Error Condition	Off
Driving Inductive Loads	Yes, internally protected low-side switch
Protection	Utilizes circuitry that will open the contact when output contacts are short-circuited. Self-resetting when fault is removed

Position Command

Parameter	Value
Input Type	(4 to 20) mA
Input Scaling	4 mA is minimum position signal 20 mA is maximum position signal
Max Input (Full Scale)	0 mA to 25 mA
Input type	Differential
3 db Circuit Bandwidth	30 Hz
Input Impedance	200 Ω
Anti-Aliasing Filter	1 anti-aliasing pole at 0.47 ms (338 Hz)
Resolution	10 bits
Accuracy	± 0.8 % of full scale at 25 °C
Drift	80 ppm/°C
I/O Latency	6.5 ms
CMRR	60 dB
Common-Mode Range	45 V (dc)

Anexo 2. Características regulador de velocidad “UG Actuator”

1.1.1 Datos técnicos del motor

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MOTOR	
Fabricante	Loher GmbH
Tipo de Motor	JNWA-450SB-06A
Tamaño IEC	450S
Potencia nominal (P_N)	760 kW
Tensión nominal (U_N)	440 V
Intensidad nominal (I_N)	1265 A
Frecuencia (f)	60 Hz
Velocidad de giro (n)	1191 rpm
Sentido de giro	Ambos
Clase de servicio	S1
Clase de protección	IP55
Temperatura ambiente	KT 50 °C
Clase de aislamiento térmico	F
Utilización	F
Forma constructiva	IM B3
Conexión	D
Número de polos	6
Tipo de arranque	directo
Corriente de arranque (I_A/I_N)	489%
Factor de potencia ($\cos \varphi$)	0,81
Eficiencia (η)	96,00%
Par nominal (M_N)	6094 Nm
Par de arranque (M_A/M_N)	93%
Par máximo (M_K/M_N)	192%
Clase de rotor	HS2
Momento de inercia	24 kgm ²
Curva de Par-Motor	17133
Protección térmica motor	6 x Pt100 en bobinados 2 x 2 Pt100 en cojinetes
Captador de velocidad	encoder relativo
Resistencia de caldeo	230 V, 60 Hz

Tabla 1 - Características técnicas del motor

Los dos motores que se instalan en el buque son de idénticas características a excepción de la posición de la caja de bornes y la posición de las conexiones del agua de refrigeración. En la **Tabla 2** se indican los datos de identificación de cada uno de los motores.

RELACIÓN DE MOTORES INSTALADOS EN EL BUQUE		
Descripción	Motor 1	Motor 2
Ubicación en el buque	Cámara de Proa	Cámara de Popa
Número de motor	5145646	5146322
EP-Nr.	1096290	1096085
Hoja de datos N°	DBL38510	DBL39205
Plano de dimensiones N°	M33788	M33788A
Curva Par-Motor N°	17133	17133
Plano dimensiones eje N°	JB451B2016--54	
Esquema de conexión bobinados N°	X1041	
Esquemas de conexión de elementos auxiliares N° - Descripción	X9001-0501 – Resistencia de Caldeo X9001-6009 – Pt100 Bobinados X9001-6403 – Pt100 Cojinetes X9001-6457A – Pt100 Aire Interior X9001-0319A – Encoder X9001-0410 – Detector de fuga de agua	

Tabla 2 - Relación de motores instalados en el buque

DATOS DE REFRIGERACIÓN DEL MOTOR	
Caudal	6m ³ /h
Temperatura del agua de entrada	32 °C
Temperatura del agua de salida	36,6 °C
Perdida de carga	720 mbar
Presión máxima de trabajo	10 bar
Presión de prueba	15 bar

Tabla 3 - Datos de refrigeración del motor

VIGILANCIA DE TEMPERATURAS DEL MOTOR		
	AVISO	DESCONEXIÓN
Pt100 devanado	135 ° C	145 ° C
Pt100 cojinetes	110 ° C	120 ° C
Pt100 aire frío	45 ° C	55 ° C
Pt100 aire caliente	100 ° C	110 ° C

Tabla 4 - Vigilancia de temperaturas del motor

DATOS DE LOS COJINETES	
Tipo de rodamiento L.AC.	6324/C3
Tipo de rodamiento L.VOL.	6324/C3
Tipo de Grasa	Shell Alvania RL3
Tipo de Lubricación	reengrase
Período de reengrase	5600 h
Cantidad de grasa para reengrase	70 g/rodamiento
Temperatura máxima cojinetes	120 ° C
Vida útil de los rodamientos	40000 h
Cantidad de grasa en el cojinete	1,18 Kg

Tabla 5 - Datos de los cojinetes

CONEXIONES DEL MOTOR SEÑALADAS EN LOS PLANOS	
1	Caja de bornes de bobinados
2	Caja de bornes de sensores de temperatura
3	Caja de bornes de la resistencia de caldeo
4	Intercambiador de calor aire-agua
5	Detector de fuga de agua
6	Puntos de reengrase de los cojinetes
7	Orificios de salida de grasa
8	Encoder
9	Puntos de montaje de sondas de vibración
C.O.G.	Centro de gravedad

Tabla 6 - Conexiones del Motor

DIMENSIONES EXTERNAS Y PESO DEL MOTOR	
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	1990x1630x1380
Peso	3600 Kg

Tabla 7 - Dimensiones externas y peso del motor