



# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Propuestas de mejora en servicios auxiliares y propulsión en  
patrulleros clase "Anaga": caso "Tabarca"*

### Grado en Ingeniería Mecánica

**ALUMNO:** Francisco Javier Martínez Redondo

**DIRECTORES:** Guillermo Lareo Calviño  
Miguel Ángel Álvarez Feijoo

**CURSO ACADÉMICO:** 2019-2020

Universida<sub>de</sub>Vigo





# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Propuestas de mejora en servicios auxiliares y propulsión en  
patrulleros clase "Anaga": caso "Tabarca"*

**Grado en Ingeniería Mecánica**  
Intensificación en Tecnología Naval  
Cuerpo General / Infantería de Marina

Universida<sub>d</sub>eVigo



## **RESUMEN**

La Armada española cuenta con un gran número de unidades, desde las más modernas y punteras, hasta aquellas que, a pesar de los años transcurridos desde su botadura, siguen siendo operativas gracias a un mantenimiento adecuado, de forma que en algunas de ellas se puede alcanzar una vida muy dilatada en el tiempo, amortizando, de esta manera, su alto coste. Este sería el caso del patrullero P-28 “Tabarca”, botado en 1981, cuyo puerto base es la Escuela Naval Militar, objeto del presente trabajo.

El hecho precisamente de poder acceder al mismo ha permitido obtener información de primera mano sobre las necesidades operativas actuales y posibles mejoras.

En concreto, este trabajo se centra en el análisis tanto de los aspectos relativos a los equipos destinados a propulsión como de otros, denominados comúnmente servicios auxiliares, donde se incluye un gran abanico de equipos destinados a la plena operatividad del buque.

Será por tanto necesario, conocer en profundidad los sistemas de propulsión actuales más habitualmente utilizados, así como sus principales elementos constitutivos.

A partir de la información facilitada desde el propio buque y de trabajos anteriormente realizados sobre el mismo, se ha podido dibujar un escenario de posibles actuaciones en aquellos aspectos de mayor importancia susceptibles de mejora (gobierno del buque, suministro de recambios y servicios auxiliares).

Así, se plantean diversas actuaciones destinadas a paliar o mejorar las capacidades operativas del buque, que es en definitiva el aspecto principal que pretende resolver este trabajo.

## **PALABRAS CLAVE**

Propulsión, patrullero, mejora, plataforma, naval



## **AGRADECIMIENTOS**

Quien me conoce sabe que lo de expresarme no es lo mío, así que sin más rodeos vamos allá.

Quiero empezar agradeciendo a todas aquellas personas que me han apoyado en este trabajo, en especial a los tutores, por haberme ayudado cuando lo he necesitado. También al personal del patrullero Tabarca, especialmente a Víctor Rey Lago, por la paciencia conmigo y por estar siempre disponible para ayudar en lo que hiciese falta.

Quiero además agradecer a la 420-150, por ser los mejores, y por haberme dado 5 años que nunca olvidaré: somos la mejor brigada sin duda.

Doy también las gracias a mi familia, por haber sido un apoyo firme a lo largo de estos años de formación, a pesar de la distancia se han hecho sentir como si estuvieran al lado: gracias por estar siempre ahí.

Por último, quiero agradecer a Luisete, que permanecerá siempre en la memoria de la 420-150, por haberme enseñado tanto, y por estos años en los que he podido compartir experiencias contigo, sé que nos cuidas desde arriba.



## CONTENIDO

Contenido .....	v
Índice de Figuras .....	vii
Índice de Tablas.....	x
1 Introducción y objetivos.....	1
1.1 Organización .....	2
2 Estado del arte .....	3
2.1 Evolución de la propulsión naval .....	3
2.1.1 Los inicios de la propulsión naval.....	3
2.1.2 La propulsión de vapor .....	4
2.1.3 El motor alternativo de combustión interna .....	5
2.1.4 La turbina de gas .....	5
2.1.5 La electrificación de la propulsión .....	5
2.1.6 La propulsión nuclear .....	6
2.1.7 Últimas tendencias.....	6
2.2 Métodos de propulsión marina actuales.....	6
2.2.1 Combinado diésel y diésel .....	7
2.2.2 Combinado diésel y gas .....	7
2.2.3 Combinado diésel o gas .....	8
2.2.4 Combinado gas y gas .....	9
2.2.5 Combinado gas o gas.....	10
2.2.6 Combinado diésel-eléctrico y gas.....	10
2.2.7 Combinado diesel o eléctrico .....	11
2.3 Elementos propulsores navales .....	12
2.3.1 La turbina de gas marina.....	12
2.3.2 El motor eléctrico .....	13
2.3.3 Propulsión azimutal .....	13
2.3.4 El motor diésel marino.....	16
2.3.5 Transmisión de potencia .....	19
2.4 Propulsión en los patrulleros en la Armada española .....	25
2.4.1 Clase Meteoro .....	25
2.4.2 Clase Descubierta .....	27
2.4.3 Clase Serviola.....	28
2.4.4 Clase Toralla .....	29
2.4.5 Clase Chilreu.....	30

2.4.6 Patrulleros de vigilancia costera.....	31
2.4.7 Patrullero de vigilancia interior.....	32
2.4.8 Clase Anaga .....	32
3 Caso de estudio: P28 Tabarca .....	35
3.1 Servicio de propulsión .....	36
3.1.1 Motor Diésel MTU 16V 956 TB 91 .....	36
3.1.2 Sistema de regulación de paso de la hélice [45].....	38
3.1.3 Embrague o acoplamiento elástico .....	41
3.1.4 Reductor.....	41
3.1.5 Eje.....	41
3.2 Servicios auxiliares.....	42
3.2.1 Servicio de energía eléctrica .....	42
3.2.2 Servicio de aire de arranque y baja presión [45].....	42
3.2.3 Servicio de circulación de agua salada principal y auxiliar .....	47
3.2.4 Servicio de refrigeración de agua dulce.....	48
3.2.5 Servicio de precalentamiento [45].....	50
3.2.6 Servicio de combustible [45] .....	51
3.2.7 Servicio de lubricación [45].....	53
3.2.8 Servicio de ventilación [45] .....	54
3.2.9 Servicio de agua dulce (potabilizadora) VULPAC [46].....	54
3.3 Propuestas de mejora .....	57
3.3.1 Mantenimiento/reconstrucción del motor.....	58
3.3.2 Mejoras en el gobierno del buque .....	61
3.3.3 Renovación de componentes del circuito de aire a presión .....	70
3.3.4 Renovación del sistema de potabilización .....	71
3.3.5 Instalación de impresoras 3D a bordo .....	73
4 Conclusiones y líneas futuras .....	75
4.1 Conclusiones .....	75
4.2 Líneas futuras .....	75
5 Bibliografía.....	78
Anexo I: planos de los servicios.....	83
Anexo II: POTABILIZADORA SPECTRA VENTURA .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Usos del motor diésel en la propulsión naval. Elaboración propia .....	2
Figura 2-1 Nave vikinga [2].....	4
Figura 2-2 El Great Eastern [4] .....	5
Figura 2-3 Sistema CODAD (Combined Diesel and Diesel). Elaboración propia .....	7
Figura 2-4 Sistema CODAG (Combined Diesel and Gas). Elaboración propia .....	8
Figura 2-5 Sistema CODOG (Combined Diesel or Gas). Elaboración propia .....	9
Figura 2-6 Sistema COGAG (Combined Gas and Gas). Elaboración propia .....	9
Figura 2-7 Sistema COGOG (Combined Gas or Gas). Elaboración propia .....	10
Figura 2-8 Sistema CODLAG (Combined Diesel-Electric and Gas). Elaboración propia .....	11
Figura 2-9 Sistema CODOE (Combined Diesel or Electric) [9].....	11
Figura 2-10 Esquema de una turbina de gas [11].....	12
Figura 2-11 Configuración L-Drive. Elaboración propia .....	14
Figura 2-12 Configuración Z-drive [13].....	14
Figura 2-13 Azipod ABB [15] .....	15
Figura 2-14 Propulsión SSP [16].....	15
Figura 2-15 Esquema de un cilindro en un motor de gasolina de 4 tiempos [17].....	16
Figura 2-16 Recorrido del cilindro en un motor de 4 tiempos gasolina [18].....	17
Figura 2-17 Diagrama práctico de trabajo [18].....	18
Figura 2-18 Esquema general de la transmisión de potencia en un buque [19].....	19
Figura 2-19 Reductor [19].....	20
Figura 2-20 Cojinete de apoyo [20].....	21
Figura 2-21 Chumacera de empuje [21] .....	21
Figura 2-22 Bocina [22].....	22
Figura 2-23 Arbotante, visible en color azul en la parte superior, abrazando al eje por la parte inferior [23].....	22
Figura 2-24 Hélice de paso fijo [26].....	23
Figura 2-25 Hélice de paso variable [27].....	24
Figura 2-26 Hélice con paso controlable [28].....	24
Figura 2-27 Hélice con tobera [30].....	25
Figura 2-28 OPV P-41 "Meteoro", que da el nombre a su clase [31] .....	26
Figura 2-29 Esquema de la planta de propulsión-generación de los OPV clase Meteoro. Elaboración propia.....	26
Figura 2-30 P-76 "Infanta Elena" de la clase Descubierta [33] .....	27

Figura 2-31 Esquema de la planta de propulsión de los patrulleros clase Descubierta. Elaboración propia.....	28
Figura 2-32 Patrullero Vigía de la Clase Serviola [34] .....	29
Figura 2-33 P-81 "Toralla" [35] .....	29
Figura 2-34 P-64 "Alborán" de la clase Chilreu [35] .....	30
Figura 2-35 Motor MAK 6M 25 de los patrulleros clase Chilreu [38] .....	31
Figura 2-36 Patrullero de vigilancia costera P-101 [40].....	31
Figura 2-37 Patrullero P-201 “Cabo Fradera” [41] .....	32
Figura 2-38 P-26 “Medas” abarloado al P-22 “Tagomago” en el puerto de Málaga en mayo de 2013 [43].....	33
Figura 3-1 Esquema de los sistemas y servicios principales del P28 Tabarca. Elaboración propia	35
Figura 3-2 Esquema de la propulsión del P28 Tabarca. Elaboración propia .....	36
Figura 3-3 Vista general del motor [44] .....	37
Figura 3-4 Esquema del sistema de regulación del paso de la hélice. Elaboración propia .....	38
Figura 3-5 Elementos de la cabeza. Elaboración propia.....	39
Figura 3-6 Elementos retén rotativo. Elaboración propia.....	40
Figura 3-7 Elementos circuito hidráulico. Elaboración propia .....	40
Figura 3-8 Esquema del servicio de aire a presión. Elaboración propia .....	43
Figura 3-9 Electrocompresor ARIES INDUSTRIAL Y NAVAL. Elaboración propia .....	44
Figura 3-10 Motocompresor. Elaboración propia .....	45
Figura 3-11 Una de las botellas principales del servicio de aire de arranque. Elaboración propia..	45
Figura 3-12 Esquema del telégrafo de velocidades en puente. Elaboración propia.....	47
Figura 3-13 Bomba del servicio de agua dulce. Elaboración propia.....	49
Figura 3-14 Enfriador del servicio de refrigeración de agua dulce. Elaboración propia.....	50
Figura 3-15 Bomba del servicio de precalentamiento. Elaboración propia.....	51
Figura 3-16 Filtro doble de combustible. Elaboración propia .....	52
Figura 3-17 Bomba de combustible de uso diario. Elaboración propia .....	52
Figura 3-18 Enfriador del aceite de lubricación. Elaboración propia.....	53
Figura 3-19 Uno de los ventiladores pertenecientes al servicio de ventilación. Elaboración propia .....	54
Figura 3-20 Principio de funcionamiento de potabilización [46] .....	55
Figura 3-21 Generador VULPAC [46].....	56
Figura 3-22 Propuestas de mejora en el ámbito del patrullero. Elaboración propia .....	58
Figura 3-23 Factores que influyen en la maniobra. Elaboración propia a partir de [47].....	62
Figura 3-24 Esquema básico de instalación de un pod en el Tabarca. Elaboración propia .....	63
Figura 3-25 Empuje de una hélice con el paso de agua [14] .....	64
Figura 3-26 Empuje transversal de una hélice según el sentido de giro [50] .....	64

Figura 3-27 Pod con hélices contra rotativas [51].....	65
Figura 3-28 Elementos de potencial modificación en la regulación del paso. Elaboración propia .	66
Figura 3-29 Esquema del recorrido de la pala de la hélice en el la configuración actual. Elaboración propia.....	66
Figura 3-30 Esquema del recorrido de la hélice en la propuesta de estudio. Elaboración propia....	67
Figura 3-31 Núcleo de hélice KaMeWa/BALIÑO tipo KS [52] .....	68
Figura 3-32 Detalle del esquema hidráulico del Tabarca .....	68
Figura 3-33 Esquema básico de la integración de la cabeza de hélice KaMeWa en eje del Tabarca. Elaboración propia .....	69
Figura 3-34 Plano de la recepción del circuito hidráulico en el retén rotativo [53].....	69
Figura 3-35 Elementos del circuito de aire a presión. Elaboración propia.....	71
Figura 3-36 Elementos de la potabilizadora VENTURA WATERMAKER [54] .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Elementos de la vista general del motor .....	38
Tabla 3-1 Elementos de la recepción del circuito hidráulico en el retén rotativo .....	70

## 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las unidades operativas de Armadas pertenecientes a países punteros en el ámbito militar, como el caso de España, están compuestas básicamente de unidades relativamente recientes (buque multipropósito LHD L61 Juan Carlos I, buques de acción marítima (B.A.M.)) e incluso algunas en construcción, como las recientemente aprobadas Fragatas F110, que modernizan y sitúan a la vanguardia estos buques en el contexto actual con los últimos avances existentes tanto en el aspecto de equipamiento de propulsión y servicios auxiliares, como el relativo a necesidades puramente militares, como sistemas de combate y comunicaciones, entre otros.

Sin embargo, en toda la flota, todavía la presencia de unidades a las que se ha alargado su vida útil es habitual, como puede ser el caso de los submarinos S70 o algunos patrulleros, como los de la clase Anaga, entre los que se encuentra el P28 Tabarca, objeto del presente trabajo.

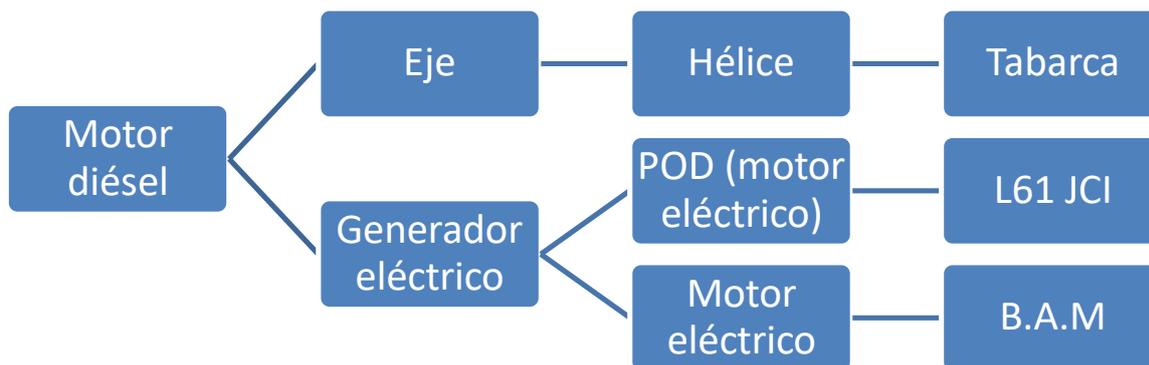
Estos buques requieren de actualizaciones y actuaciones que permitan su operatividad en las condiciones actuales, en ocasiones incluso distintas a aquellas para las cuales fueron inicialmente concebidos.

Por otro lado, el paso de las décadas ha traído consigo avances en muchos aspectos, que, por lo tanto, son susceptibles de implementación en este tipo de buques.

Este trabajo pretende analizar las condiciones actuales de operatividad del patrullero P-28 “Tabarca”, botado en diciembre de 1981 [1] y que ha desarrollado ininterrumpidamente su actividad desde entonces y seguirá en servicio en las labores para que ha sido concebido: vigilancia costera (menos de 200 millas de costa) y servir de apoyo para el adiestramiento de los alumnos de la Escuela Naval Militar, por lo que no tiene requerimientos de altas velocidades.

Este último aspecto representa una de las cuestiones más importantes de esta plataforma, dado que una gran cantidad de buques (tanto antiguos como más actuales), están basados en motores de combustión interna con diésel como combustible, por ser los más idóneos en diferentes aspectos como:

- Más adecuados para velocidades de crucero por sus bajos consumos.
- Combustible económico y de amplia disponibilidad.
- Fiabilidad garantizada y mantenimiento relativamente sencillo, sin requerir formación especializada.



**Figura 1-1 Usos del motor diésel en la propulsión naval. Elaboración propia**

Las actuaciones planteadas en este trabajo se han desarrollado en base a los aspectos operativos que presentan carencias en la actualidad y que ha sido remitida directamente desde la unidad, en particular:

- Propuestas en el sistema de propulsión actualmente en servicio, que redunden en una mejora de su operatividad, con especial énfasis en el gobierno del buque.
- Estudio de las mejoras en sistemas auxiliares utilizados en el mismo, como la disponibilidad de producción agua potable a bordo.
- Mejora de la cadena logística: disponibilidad de recambios en el servicio de aire a presión.

## 1.1 Organización

El presente trabajo se encuentra estructurado del siguiente modo:

- Se comenzará con una breve reseña de la historia y los métodos de la propulsión marina más habituales actualmente, incluyendo sus elementos más importantes.
- Se continuará haciendo una breve presentación de tipos y sistemas de propulsión empleados en los patrulleros de la Armada española, así como sus principales funciones como unidades.
- Tras ello, se presentará la disposición y las características del sistema de propulsión y sistemas auxiliares instalados en el patrullero P-28 “Tabarca”, ahondando en el funcionamiento de algunos de ellos.
- En la siguiente parte, se propondrán mejoras en base a carencias de los sistemas y servicios del buque.
- Para finalizar, se expondrán conclusiones extraídas de este estudio y posibles líneas futuras de actuación.

## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Evolución de la propulsión naval

El ser humano históricamente se ha asentado en zonas cercanas a ríos o mares, debido a la gran cantidad de recursos y posibilidades de estas zonas. En cuanto se comenzó a comerciar, surgió la necesidad de comunicarse entre los diferentes asentamientos, y rápidamente surgió el espíritu marino, sin haber consenso respecto a la fecha ni lugar de origen exacto de botadura de la primera embarcación.<sup>1</sup>

#### 2.1.1 *Los inicios de la propulsión naval*

Como se ha mentado en el apartado anterior, no hay consenso acerca la antigüedad ni localización de la primera embarcación. Las diferentes evidencias llevan a concluir que podría haber sido un descubrimiento simultáneo, habiendo diferentes hallazgos en los que se puede observar cómo las embarcaciones estaban hechas de modo que las propias personas, utilizando sus extremidades, impulsasen estas, posiblemente evolucionando después a utilizar tablas u otras herramientas. Esto sería el origen del remo.

Pero algo más se tardó en comenzar a aprovechar la fuerza del viento para navegar, y de ello se encuentra evidencia de la civilización egipcia, que data del siglo XV a.C. en el templo de Karnak, en Luxor, Egipto.

Este tipo de propulsión se mantendría como predominante a lo largo de siglos de historia [1], pasando por diferentes civilizaciones, como los romanos, vikingos, y el imperio español, llevando consigo el enorme reto del descubrimiento de América.

---

<sup>1</sup> “Es un misterio cómo y cuándo fue botada la primera embarcación, ni si lo fue desde la orilla de un río, un lago o una playa marina. Muchos estudiosos creen que embarcaciones de tipos diferentes aparecieron en todas las partes del mundo, sin relación entre sí, pero en forma más o menos simultánea. Pudiendo abarcar, el concepto de simultaneidad, lapsos de varios siglos. En el Pacífico sur, en las costas de los países nórdicos, en el Mediterráneo y en las playas africanas; en todos los parajes donde el hombre ha vivido junto a aguas navegables, ha intentado siempre construir barcos.”



Figura 2-1 Nave vikinga [2]

El descubrimiento de nuevos continentes y por tanto el aumento de la distancia entre zonas pobladas, hizo que se buscara, de este modo, una forma de propulsar los buques que no fuese tan dependiente de las condiciones meteorológicas, y que además permitiese alcanzar mayores velocidades. Junto con la llegada de la máquina de vapor en la 1ª Revolución Industrial (1789), los científicos e inventores de la época comenzaron a darle forma a la adaptación marina de esta máquina, que tantos avances había traído consigo a la industria.

### 2.1.2 La propulsión de vapor

El comienzo de la propulsión mediante la máquina de vapor fue complicado, ya que tuvo que sobreponerse a la vela, que todavía generaba un gran beneficio económico. Con mucho esfuerzo y a lo largo de los años, se fue desarrollando en diferentes buques combinado con la propulsión a vela, comenzando primero con propulsión a partir de rueda de paleta, y más adelante implementando la hélice.

Fue en Gran Bretaña, en 1843 con el “Great Eastern”, diseñado por Brunel, con el que consiguieron aunar la propulsión con velas, y una máquina de vapor que movería una rueda de paletas y una hélice en popa<sup>2</sup> [3]. De esta forma se creaba el primer buque transatlántico de transporte de pasajeros. Pero la máquina de vapor no permitía un aumento significativo del tamaño de los buques, ya que, para hacerla funcionar, hacía falta que transportase grandes cantidades de carbón. Por ello los científicos siguieron buscando mejores y más eficientes formas de solucionar la mecanización de la propulsión naval.

---

<sup>2</sup> Dícese de la parte posterior de una embarcación.

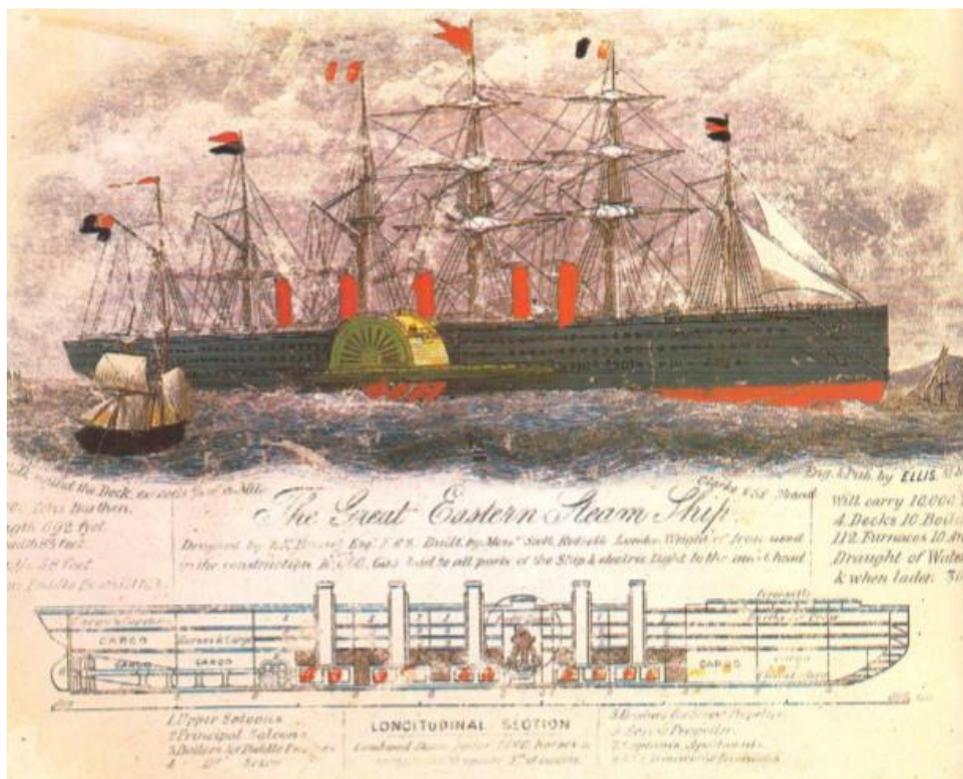


Figura 2-2 El Great Eastern [4]

### 2.1.3 El motor alternativo de combustión interna

Desde mediados del siglo XIX, se empezaron investigaciones para lograr obtener un método de obtención de energía mecánica a partir de la explosión de gases en un entorno controlado. De esta forma, Rudolf Diésel, basándose en los estudios de Nickolaus Otto, construye el primer motor de autoencendido en 1897, el cual constaba de un cilindro, y era autoencendido. Este fue de los primeros motores de cuatro tiempos desarrollados.

Este invento no fue ignorado por la industria naval, de modo que en 1910 el buque cisterna “Vulkanus”, fue el primero en llevar uno instalado y continuar navegando con él. Cabe reseñar que, en 1931, cuando el buque fue desguazado, este motor continuaba funcionando, pero con un deterioro más que visible. De esta forma se puede ver cómo en versiones tan primitivas del motor diésel marino, ya presentaba una fiabilidad excelente. A lo largo de este mismo siglo se incorporarían mejoras en el motor, llegando a un alto nivel de complejidad que presentan hoy en día.

### 2.1.4 La turbina de gas

Este sistema de propulsión comenzó con el mundo de la aviación, de modo que, a pesar de haber sido desarrollada para aviones comerciales, en 1967 fue instalada una turbina de gas en el Adm. Wm W Callaghan, la cual fue instalada únicamente en uno de sus ejes. A pesar de la novedad de la implementación en el mundo marino, en 1977 la marina noerteamericana contaba con más de 150 buques que la integraban en su propulsión [5], demostrando una gran deferencia por este sistema.

### 2.1.5 La electrificación de la propulsión

A pesar de tratarse de una de las últimas tendencias en el ámbito del transporte, ya sea terrestre, naval o aeronaval, el concepto tiene más de un siglo de antigüedad.

Se trataba de aprovechar la energía eléctrica producida por un generador, que permitiese controlar motores eléctricos que pudiesen variar su velocidad. Pero la realidad ha sido que el coste, el tamaño y la fiabilidad, han seguido suponiendo un gran reto para el desarrollo de los motores eléctricos marinos. O lo fue hasta la aparición de los azipod<sup>3</sup> y de las plantas eléctricas diésel. Este nuevo sistema ha encontrado su lugar en aquellos buques con necesidades de maniobrabilidad especiales, y cometidos específicos, y el uso de motores eléctricos en lugar de los alternativos de combustión ha supuesto un gran cambio, en cuanto a mejora en capacidades del buque.

### 2.1.6 La propulsión nuclear

Desarrollada desde mediados del siglo XIX, únicamente ha encontrado su lugar en buques militares, tales como submarinos o portaaviones, y rompehielos, a pesar de haber sido probada en buques civiles estadounidenses (N. S. Savannah), y alemanes (N. S. Otto Hahn).

### 2.1.7 Últimas tendencias

Con la llegada de nuevos avances y tecnologías, se han encontrado diferentes soluciones que aumentan la eficiencia de la propulsión naval, pero que todavía se encuentran en fase de desarrollo. Entre otras, encontramos el hydrofoil, la supercavitación [6], el propulsor magneto hidrodinámico, o el uso de la energía eólica. Por ejemplo, con la incorporación de un rotor Flettner, se ha logrado un ahorro de hasta un 30% del combustible en un buque mercante [7].

Como la sociedad cada vez se encuentra más concienciada con el cambio climático, esta tendencia se ve reflejada también en el mundo naval. El control de emisiones cada vez está más regulado, con una normativa que va endureciéndose con el paso de los años, de modo que los fabricantes e investigadores han buscado también adaptarse a esto. A día de hoy se encuentra en desarrollo otras tecnologías como la pila de combustible, pero hasta que no sea viable económicamente no se llevará un desarrollo completo del potencial de estas [8]. También se encuentra en ello el biodiesel, y la energía solar aprovechada en ambiente marino.

## 2.2 Métodos de propulsión marina actuales

Como se ha podido inferir del apartado previo, la variedad es una de las cualidades en cuanto a sistemas de propulsión navales. Pero estos se pueden configurar de diferentes maneras, obteniendo beneficios, por un lado, y hándicaps en cuanto a maniobrabilidad, economía, eficiencia o ventaja táctica, en el caso de los buques militares. En concreto, estas combinaciones se adoptan en los buques militares, ya que estos cuentan con una serie de necesidades:

- Necesidad de disponer 2 velocidades, una de crucero y alta velocidad, por su aplicación en las situaciones a las que se ven sometidos.
- Necesidad de redundancia en la propulsión, así como la diversificación de sistemas, para en el caso de perder uno, contar con el otro.

Por esta variedad, en el presente apartado se explicarán de forma breve las principales combinaciones posibles, con sus ventajas e inconvenientes y funcionamiento general.

---

<sup>3</sup> Método de propulsión que se compone de una “cápsula” (la traducción literal del inglés es *vain*) sumergida en el agua. Esta contiene un motor eléctrico y su correspondiente eje y hélice, de modo que puede rotar, eliminando la necesidad de timón para cambiar el rumbo deseado, transfiriendo el empuje directamente según el ángulo formado entre el eje del POD y la proa del buque, maniobrando de esta manera.

### 2.2.1 Combinado diésel y diésel

Se trata de la configuración más sencilla, que aporta a cada eje un par de motores diésel marinos. Estos no van permanentemente acoplados, ya que cuentan con un embrague que permite llevar uno únicamente propulsando al eje, o los dos simultáneamente.

Este sistema cuenta con la principal ventaja del factor económico, tanto en la facilidad de las reparaciones y mantenimientos como en la formación del personal para su correcta utilización. Pero como aspecto negativo cuenta con que no pueden alcanzarse grandes velocidades, así como una la huella acústica, que no lo hace viable para buques dedicados a la guerra antisubmarina, por ejemplo.

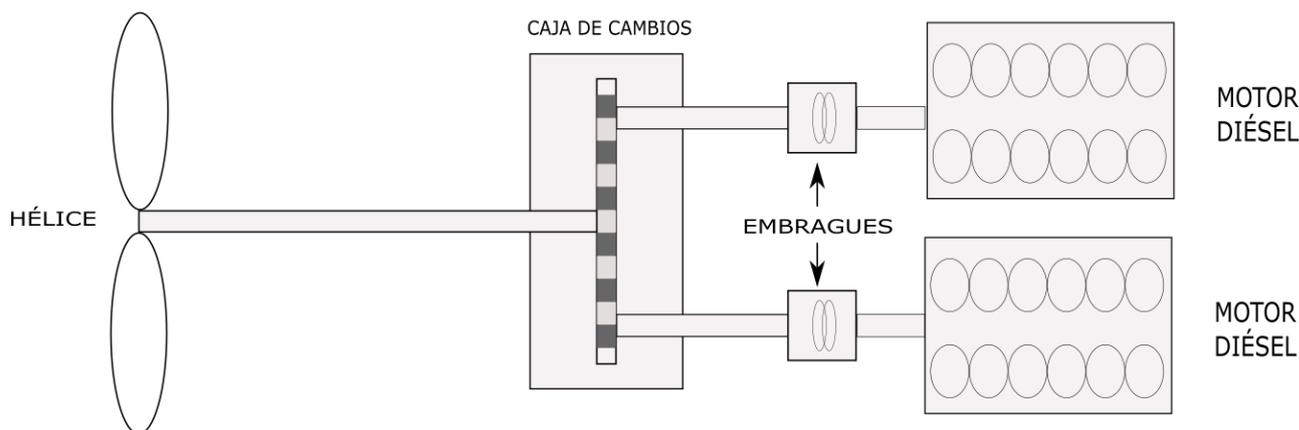


Figura 2-3 Sistema CODAD (Combined Diesel and Diesel). Elaboración propia

### 2.2.2 Combinado diésel y gas

Este sistema tiene mayor complejidad, ya que requiere de un gran número de embragues y de reductoras. Dentro de las configuraciones posibles, la más compleja lleva asociado un motor diésel marino a cada eje, que puede llegar a trabajar de forma conjunta con una turbina de gas. Aquí es donde se encuentra a dificultad, ya que debe llevar un sistema de reducción que logre sincronizar las revoluciones del motor diésel con las de la turbina para un eje común de salida.

También es posible combinar un motor diésel con una turbina por cada eje, de modo que puedan trabajar de forma conjunta. Este último es similar la configuración de potencia de diésel o gas (CODOG), sólo que aumentando el número de reducciones y embragues.

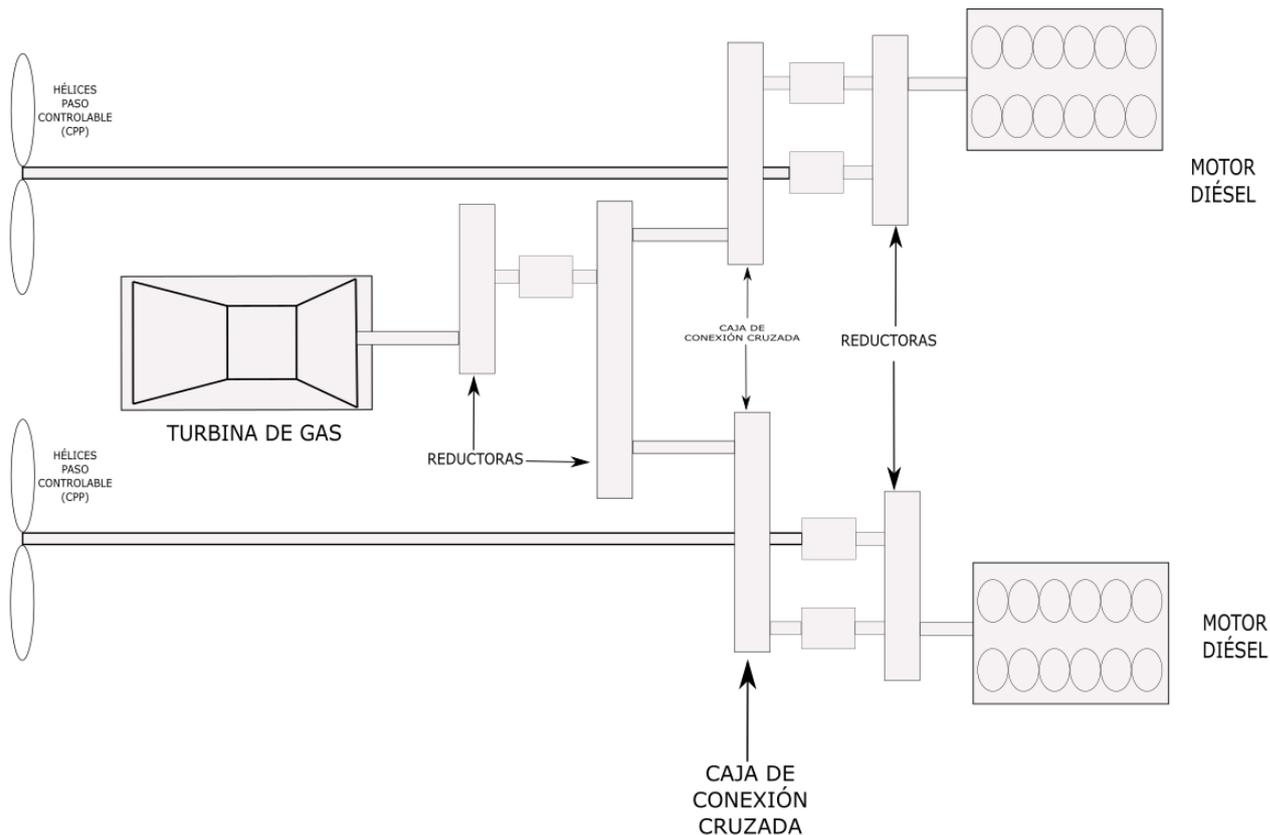


Figura 2-4 Sistema CODAG (Combined Diesel and Gas). Elaboración propia

### 2.2.3 Combinado diésel o gas

En las fragatas F-100 se encuentra esta configuración, que permite la adaptación a la situación táctica, logrando mediante los motores diésel marinos las bajas velocidades, y cuando se pasa a funcionar en modo turbina, se consiguen altas velocidades. De esta manera, se consigue una mejor economía, ya que, en un bajo porcentaje de horas de servicio, el buque va a verse en la necesidad del uso de las altas velocidades.

Se puede observar en la Figura 2-5, la sencillez del sistema, en comparación con la combinación de diésel y gas. Al no poder acoplarse los dos sistemas, se infrutiliza la capacidad de los sistemas que, de emplear ambos al mismo tiempo, conseguirían una mayor potencia y velocidad, pero también cajas de cambio más complejas y pesadas.

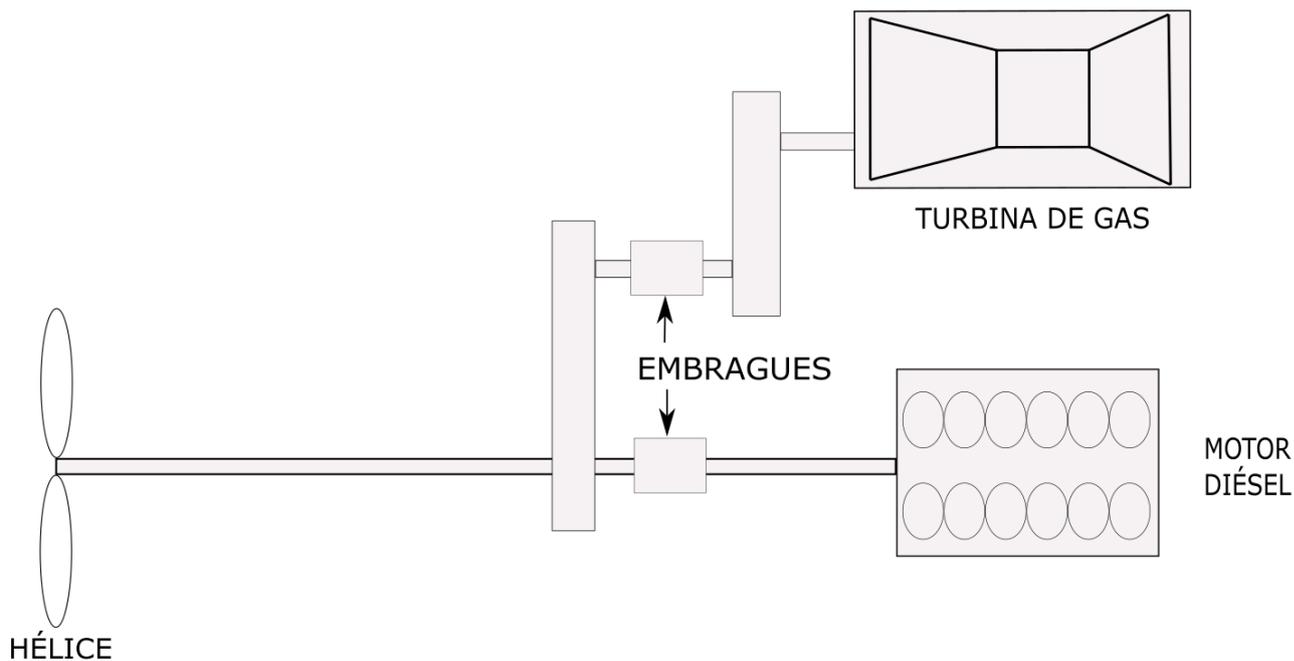


Figura 2-5 Sistema CODOG (Combined Diesel or Gas). Elaboración propia

### 2.2.4 Combinado gas y gas

Este sistema se encuentra en las fragatas clase “Santa María”, siendo estas la versión nacional basada en las fragatas norteamericanas clase “Oliver Hazard Perry”.

Cabe destacar que el sistema ha sido y es el predilecto por la US Navy, encontrándose en una gran cantidad de sus buques. Sus principales ventajas son la baja firma acústica, junto con las prestaciones en términos de velocidades alcanzables, siendo superiores al del resto de configuraciones de potencia.

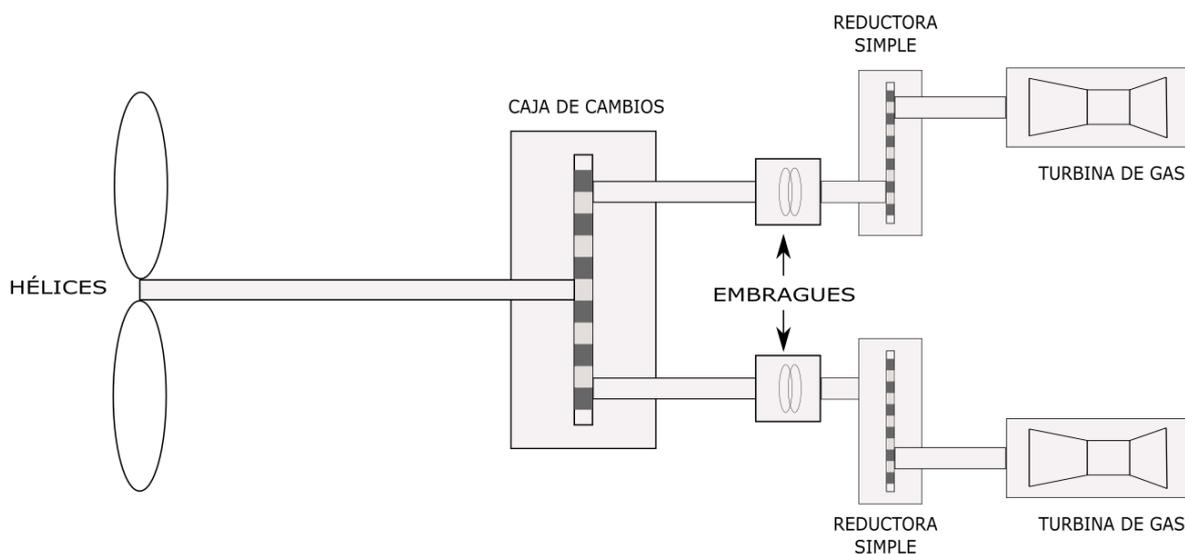


Figura 2-6 Sistema COGAG (Combined Gas and Gas). Elaboración propia

### 2.2.5 Combinado gas o gas

En la presente configuración se utilizan al igual que en la previa dos turbinas por cada eje, pero con la peculiaridad de ser diferentes. Una de ellas se empleará en velocidades crucero (de baja potencia), y cuando se deseen obtener altas velocidades se desacoplará esta, permitiendo que entre en juego la propulsión por la turbina de alta potencia.

De nuevo se consiguen mejores prestaciones en términos de velocidad y baja firma acústica, pero a su vez al igual que en la combinación de diésel o gas, no se explota el potencial al completo de las turbinas disponibles mediante su combinación.

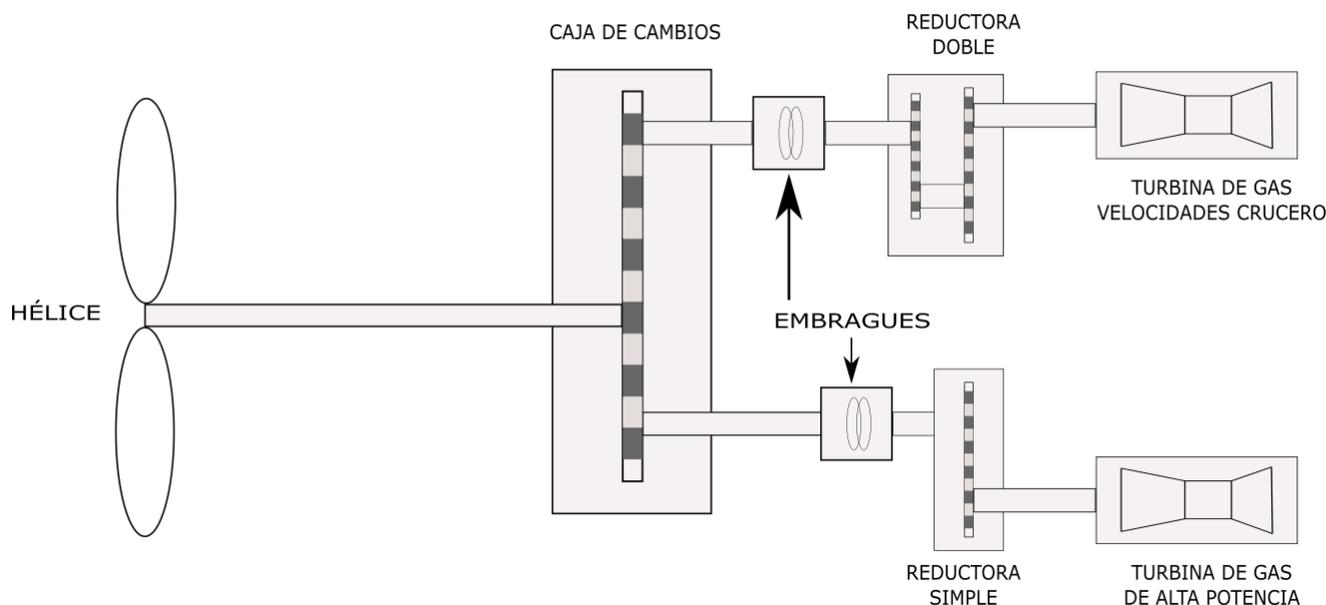


Figura 2-7 Sistema COGOG (Combined Gas or Gas). Elaboración propia

### 2.2.6 Combinado diésel-eléctrico y gas

Se trata de un esquema similar a la combinación de diésel y gas, con la peculiaridad de llevar en lugar de motores diésel acoplados a los ejes, diésel generadores que dan potencia a motores eléctricos. Estos sí que van acoplados directamente al eje, teniendo menor número de reductoras.

Al igual que en el sistema CODAG, la turbina cuenta con diferentes etapas de reducción que permiten el giro a las velocidades requeridas por el eje. La firma acústica de este sistema de nuevo es menor, ya que el llevar los generadores diésel separados permite un mayor aislamiento, que sumado a la menor rumorosidad de la turbina, y el silencio de los motores eléctricos, permiten un bajo nivel de ruido.

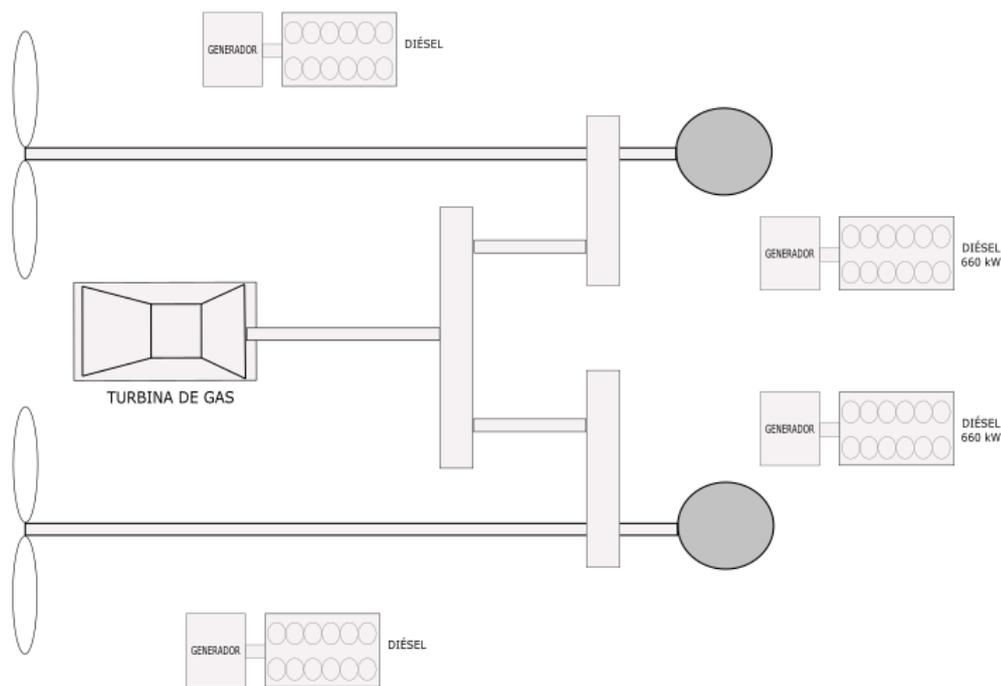


Figura 2-8 Sistema CODLAG (Combined Diesel-Electric and Gas). Elaboración propia

### 2.2.7 Combinado diesel o eléctrico

Este sistema es el que se utiliza en los BAM de la Armada española, y consigue una gran economía de medios. La propulsión puede producirse con los motores diésel directamente en el eje, o con los motores eléctricos, que consiguen energía de los diésel generadores. Las principales ventajas son que el uso de motores diésel, con la potencia que tienen disponible, cubren todo el rango de velocidades que puede exigir un patrullero de altura. Además, el uso de motores eléctricos aporta redundancia al sistema en caso de fallo de los diésel. Estos motores eléctricos, dadas las condiciones de sonoridad de trabajo, que son muy pequeñas, aportan una gran ventaja en guerra antisubmarina.

#### Arrangement and purpose of propulsion system elements

1. Synchronous AC generator
2. Generator variable-speed diesel engine
3. Reverse-reduction gear
4. Propulsion motor / shaft generator
5. Electromagnetic coupling
6. Main engine
7. Propeller
8. Shaft

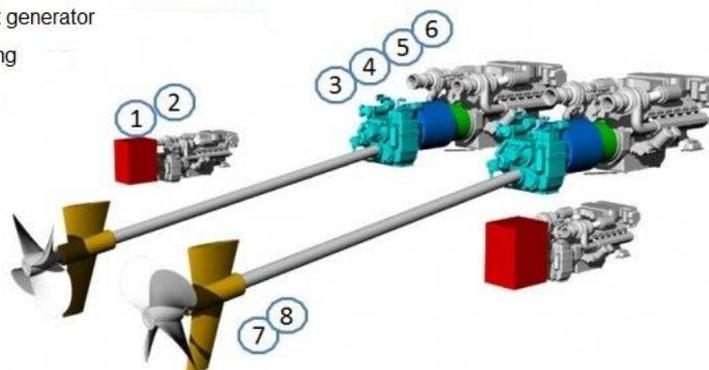


Figura 2-9 Sistema CODOE (Combined Diesel or Electric) [9]

## 2.3 Elementos propulsores navales

### 2.3.1 La turbina de gas marina

Se trata de una máquina rotativa que convierte la energía térmica en trabajo mecánico, constituida fundamentalmente por un compresor, un dispositivo térmico en el que se oxida el combustible para calentar el fluido motor y una turbina [10].

- El compresor (*compressor*): se encarga de aspirar aire de la atmósfera y de aumentar su presión. Hay de diferentes tipos, ya que según su flujo puede ser un compresor axial o radial, siendo los de flujo axial los más extendidos en las turbinas de gas actuales, dado su alto rendimiento y las despreciables pérdidas.
- Cámara de combustión (*burner*): en ella se quema la mezcla de aire con combustible. Se trata del componente con mayor rendimiento. Debe formar escasos depósitos de carbón, ser ligera y soportar la mezcla de aire frío de aspiración con los gases de la combustión, por esta serie de razones es la parte más compleja de desarrollar. Los principales tipos son la tubular, la anular y la tubular-anular, variando el sistema de inyección en la cámara en cada clase.
- Turbinas de alta y baja presión (*turbine*): en ellas los gases de escape se expanden, disminuyendo su presión, se encuentran sometidas a grandes esfuerzos. La turbina de alta presión se destina a mover el compresor y sus accesorios, mientras que la de baja es la que realiza el trabajo útil. Pueden ser centrípetas o de flujo axial.
- Sección de accesorios (*accessory section*): mediante una transmisión por engranajes se conectan otros sistemas auxiliares de la turbina, como serían el mecanismo de arranque, sistemas de control, sistema de aceleración, bomba de combustible, y la bomba de aceite. Cuenta con una relación de reducción alta.

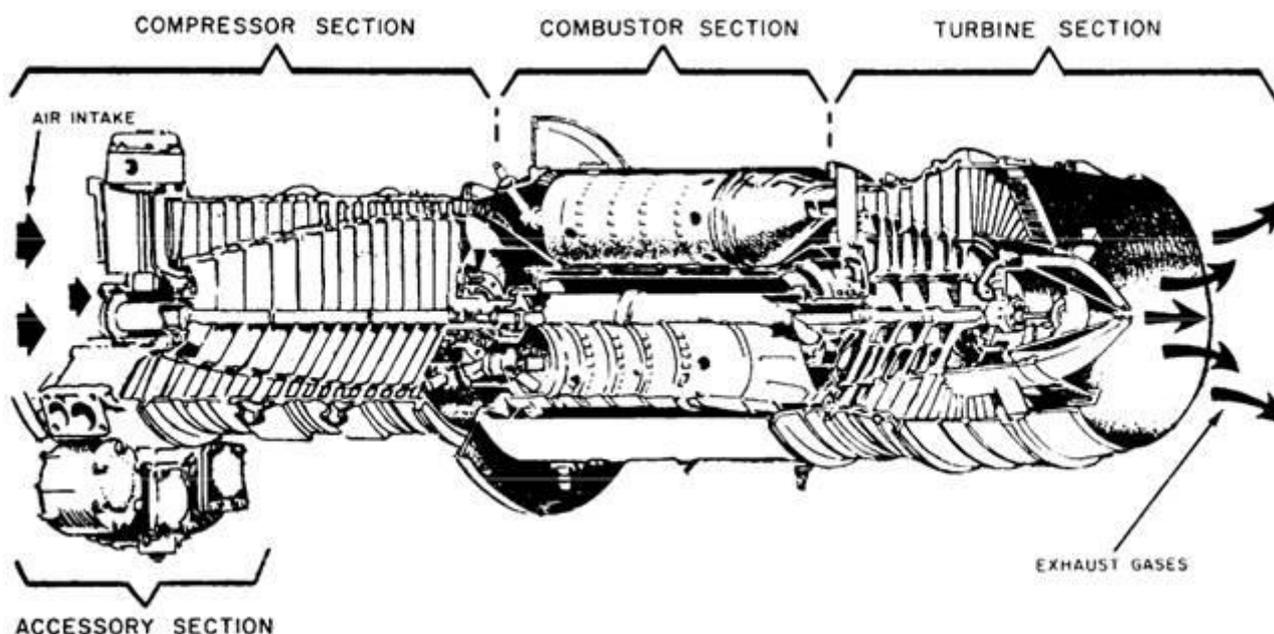


Figura 2-10 Esquema de una turbina de gas [11]

Las turbinas generan unas velocidades de giro muy altas, por lo que para el empuje de una hélice se tendrá que optar por diferentes soluciones para aprovechar esta potencia generada. Por ello la transmisión de potencia supone un importante punto a tener en cuenta a la hora de optar por la turbina

de gas marina en un buque. Esta puede ser por mecanismos de engranajes reductores de velocidad, que permiten la inversión de la marcha; por bombas, eliminando la hélice del sistema de propulsión y asociando una bomba a la turbina; o conectando el eje de la turbina a un generador, el cual se encarga de hacer funcionar un motor eléctrico.

Las principales ventajas de las turbinas son la alta relación potencia-peso en comparación con otros motores, la suavidad de funcionamiento, la ausencia de vibraciones y de ruidos, que aporta ventaja en la guerra antisubmarina.

Pero también cuenta con las desventajas de tener elementos sometidos a grandes esfuerzos, tener sistemas de control muy complejos, necesitar un mantenimiento muy estricto, un control de las características del aire de admisión (salinidad, humedad), y de cámaras especiales a prueba de sonido.

### 2.3.2 *El motor eléctrico*

A la hora de diseñar un buque con otros sistemas de propulsión, el tamaño del eje varía según la disposición de diferentes compartimentos y otras necesidades del buque, pero el uso del motor eléctrico supone la eliminación de esta necesidad de ejes largos con reductoras. Hay dos posibles configuraciones con el motor eléctrico:

- Propulsión dentro del casco: al igual que en los motores diésel, el movimiento de rotación de la hélice es transmitido por un eje que se extiende desde la hélice hasta el motor, que está conectado directamente a este. Es el método más común en los buques con configuraciones con motor eléctrico, especialmente en los buques militares [12].
- Propulsión azipodal o en barquilla: este tipo no permite el acoplamiento de un motor diésel o una turbina de gas al eje, ya que el motor eléctrico se encuentra fuera del casco. Esta configuración ofrece unas características muy buenas en cuanto a maniobrabilidad, reducción de vibraciones, tiempo de reacción y consumos de combustible. Además, elimina la necesidad de uso de diferentes sistemas asociados a los ejes, como la caja reductora, bocinas o timones [1]. Será profundizado en el apartado 2.3.3.

Los motores eléctricos son máquinas rotatorias que producen energía a partir de la interacción magnética entre las partes rotatoria y la fija. Constan de las siguientes partes:

1. Estator: se trata de la parte fija. Los estatores normales tienen una serie de cables de cobre para cada fase, distribuidos a lo largo de la superficie interna de este.
2. Rotor: pueden ser diferentes según el tipo de motor, es la parte móvil que gira dentro del estator, produciendo así la variación en el campo magnético.

Los motores eléctricos de corriente alterna pueden ser de inducción o síncronos. Los de inducción son utilizados en la industria y en las casas dado a su bajo precio y durabilidad. La durabilidad de estos viene dada por la simplicidad de estos, haciéndolos muy atractivos para aplicaciones en la propulsión marina. Los motores síncronos son utilizados extensamente en buques comerciales, auxiliares y cruceros.

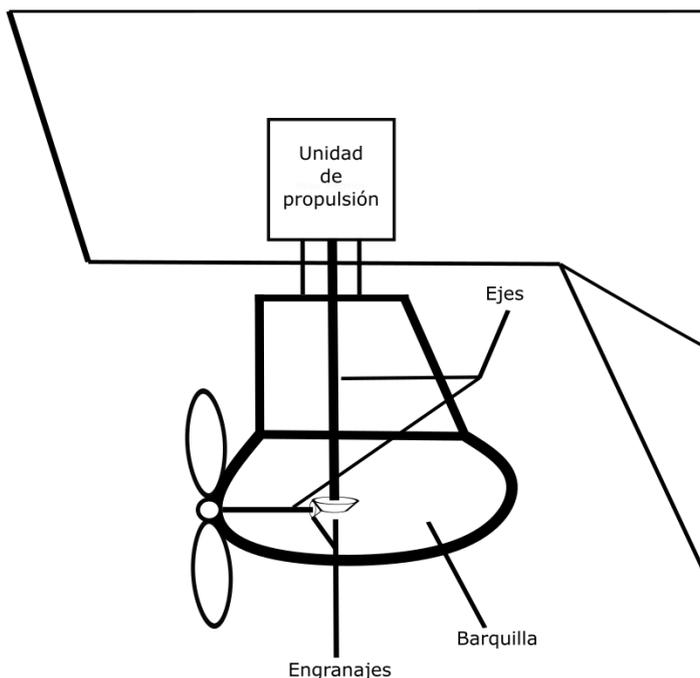
### 2.3.3 *Propulsión azimutal*

Se trata de un sistema de propulsión cuya principal característica es la situación de las hélices en una góndola o pod. Esta góndola puede girar libremente alrededor del eje vertical de modo que se elimina la necesidad de timones para el gobierno del buque.

Dentro de la propulsión azimutal se encuentran, según el tipo de transmisión:

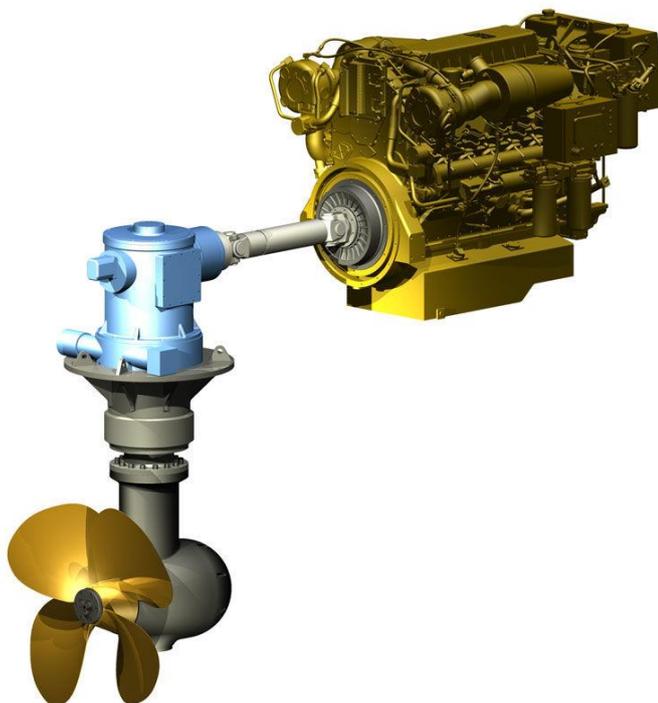
- De transmisión mecánica: un motor rotativo se encuentra en el interior del buque va unido mediante una línea de ejes y engranajes a la cápsula, donde se ubica la hélice. Hay varios

tipos según la disposición de los ejes de transmisión, puede ser L-drive, contando con la disposición mostrada en la Figura 2-11.



**Figura 2-11 Configuración L-Drive. Elaboración propia**

Como se puede apreciar en la Figura 2-12 la configuración Z-drive permite ubicar el sistema propulsor a mayor distancia del eje vertical del pod, mediante un eje horizontal que lo conecte con un engranaje cónico.



**Figura 2-12 Configuración Z-drive [13]**

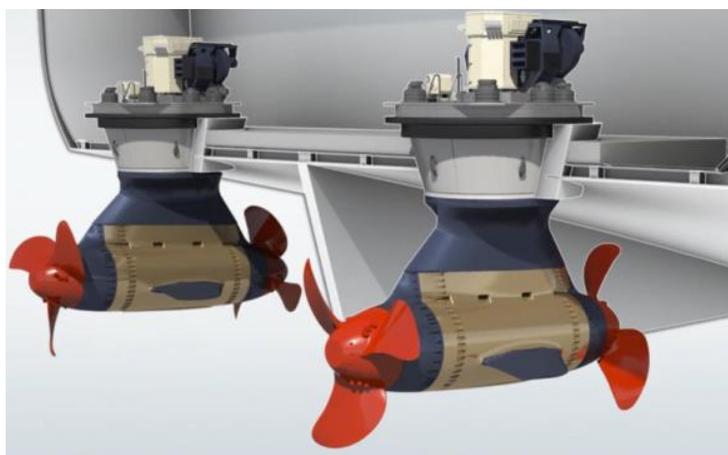
- De transmisión eléctrica: se trata de una variante de la propulsión eléctrica que contiene en el interior del pod una unidad de propulsión eléctrica, que consiste en un motor eléctrico de velocidad variable, que acciona una hélice de paso fijo con un eje interior.

Dentro de estos, las diferencias se encuentran en función del fabricante, englobando dentro ABB, Rolls Royce y otras marcas los azipod, que son los más sencillos de todos, mostrados en la Figura 2-13. Dentro de estos fabricantes, ABB desarrolló el azipod con hélices contra rotativas, que consiste en añadir una segunda hélice al eje de transmisión del pod, con el objetivo de eliminar el efecto generado por el empuje de la hélice con el giro de esta en un solo sentido [14].



**Figura 2-13 Azipod ABB [15]**

Además, se encuentra el fabricado por Siemens-Schottel (SSP), que cuenta con dos hélices en el eje del pod, una ubicada a proa del motor eléctrico y otra a popa de este, siendo esta su principal diferencia respecto al resto. Esta duplicidad de hélices permite repartir los esfuerzos a los que se ven sometidas las hélices, así como mejorar el rendimiento general de la propulsión, otorgando unos consumos más bajos, respecto a los obtenidos en los azipod. Además cuenta con unas aletas laterales, diseñadas con el objeto de canalizar el flujo obtenido por la hélice de proa hacia la de popa con mayor eficiencia.



**Figura 2-14 Propulsión SSP [16]**

### 2.3.4 El motor diésel marino

Dentro de los motores de combustión, según su clasificación, el motor diésel marino es un motor:

- Alternativo: dado que el fluido desarrolla un trabajo sobre la superficie móvil que se desplaza en movimientos rectilíneos.
- De combustión interna, puesto que la transformación de energía térmica en mecánica se produce en el mismo volumen de control.
- De combustión discontinua, pues esta ocurre de forma intermitente.
- De encendido por compresión, ya que la mezcla de combustible con aire de alta presión hace que se produzca la autoinflamación.
- De ciclo diésel, puesto que el ciclo teórico se realiza a presión constante, se ahondará más en el ciclo en el próximo apartado.
- De 4 tiempos, ya que se necesitan 4 carreras del pistón para completar un ciclo.
- De refrigeración indirecta, siendo la cesión de calor del motor a un agente intermedio refrigerante.

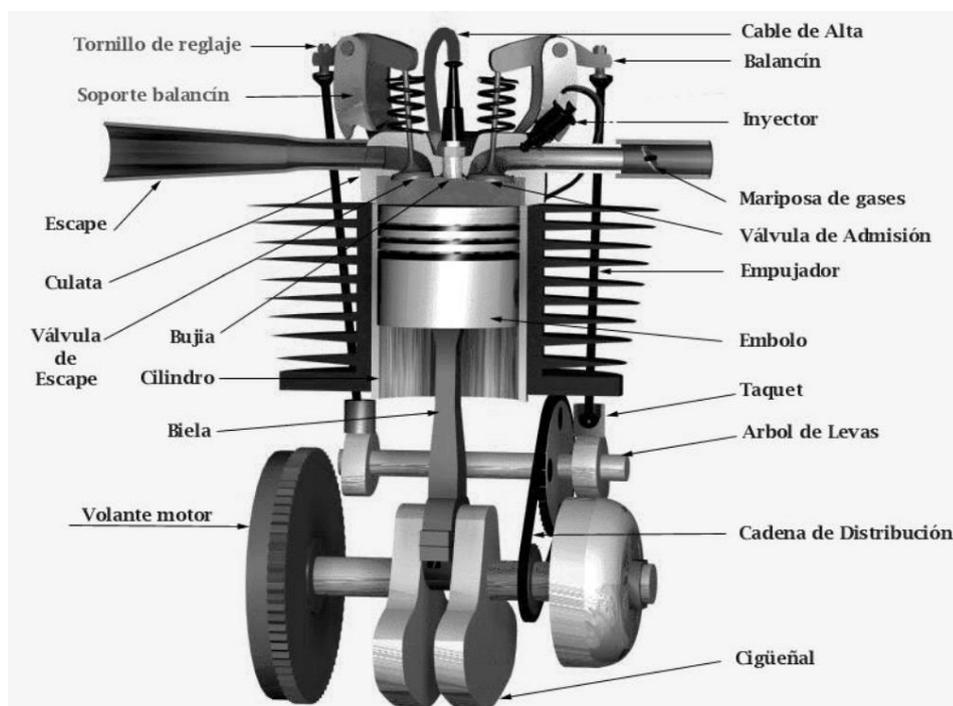


Figura 2-15 Esquema de un cilindro en un motor de gasolina de 4 tiempos [17]

Para contextualizar, cabe primero nombrar los elementos básicos del bloque de un motor diésel de 4 tiempos, y las funciones que desempeñan:

- Un cilindro, en donde se produce la combustión, y por cuyo interior se desplaza un émbolo o pistón.
- El émbolo o pistón, que constituye la parte inferior del cilindro, y aísla con su parte superior el interior del cilindro.
- Una biela, que enlaza el pistón con otro transmisor de movimiento, el cigüeñal.
- La parte superior del cilindro se denomina culata, que es donde se encuentran las admisiones y escape del aire, combustible y productos de combustión.
- El cigüeñal va unido al volante motor, y de él sale la cadena o correa de distribución.
- Con la cadena de distribución se pasa el movimiento del cigüeñal al árbol de levas, que se encarga de la apertura y cierre de la admisión y el escape.
- Esta apertura y cierre se produce mediante válvulas que reciben el movimiento del balancín.

- El balancín puede recibir el movimiento del árbol de levas directamente, en caso de encontrarse situado junto a él. Si están separados, el árbol de levas puede transmitir el movimiento mediante el taquet y el empujador al balancín.

Los motores de 4 tiempos, trabajan mediante el calentamiento del aire mediante la compresión, con el objetivo de quemar un combustible líquido o gaseoso en el interior de un cilindro. Esta combustión provoca un rápido incremento de la presión y de la temperatura, que se traduce en el desplazamiento del pistón.

El ciclo teórico está formado por una secuencia de 4 tiempos, que corresponden cada uno con una carrera<sup>4</sup> del émbolo en el cilindro (ya sea de subida o de bajada):

1. Primer tiempo o admisión/aspiración: se produce la entrada de aire en el cilindro, con la válvula de admisión completamente abierta, penetrando así el aire en el cilindro. Tratándose del ciclo teórico, la presión del aire es atmosférica. En la FIGURA 2-8, en el gráfico se corresponde con el recorrido AB.
2. Segundo tiempo o compresión: con el cierre de la válvula de aspiración, el aire empieza a ser comprimido, aumentando de esta forma la presión y la temperatura. Se trata de un proceso adiabático. Su representación gráfica por lo tanto corresponde con la curva BC.
3. Tercer tiempo o combustión-expansión: cuando el aire alcanza su máxima presión, se inyecta de forma gradual el combustible, que en la representación corresponde con la línea CD. Estos gases productos de la combustión producen una expansión adiabática, que se representa con la curva DE.
4. Cuarto tiempo o escape: con la apertura de la válvula de escape, la presión de los gases desciende rápidamente hasta equilibrarse con la presión atmosférica, volviendo al punto del inicio al finalizar este tiempo.

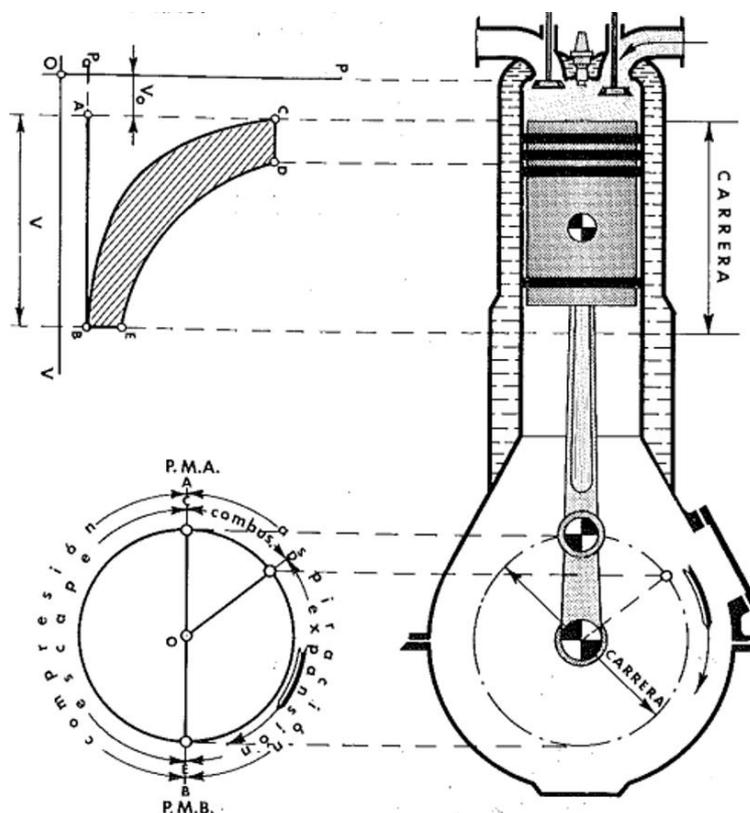


Figura 2-16 Recorrido del cilindro en un motor de 4 tiempos gasolina [18]

<sup>4</sup> Se entiende por carrera el desplazamiento del pistón entre los extremos de su rango de movimiento posible.

El movimiento del pistón, cuenta con diferentes posiciones a lo largo de su recorrido, entre los cuales se pueden destacar el punto muerto superior (PMS), que se produce cuando el pistón llega a la posición superior del recorrido en el cilindro. Por lo tanto, cuando el pistón llegue a la posición inferior en su recorrido en el cilindro se llamará punto muerto inferior (PMI).

Esto se hace suponiendo que las válvulas se abren instantáneamente con máxima apertura, que la inyección del combustible junto con la explosión es inmediata, y que las presiones de inicio y fin son atmosféricas. Pero en la realidad no es posible, por lo que el ciclo práctico del motor diésel viene dado por una serie de modificaciones con el objetivo de hacerlo más eficiente.

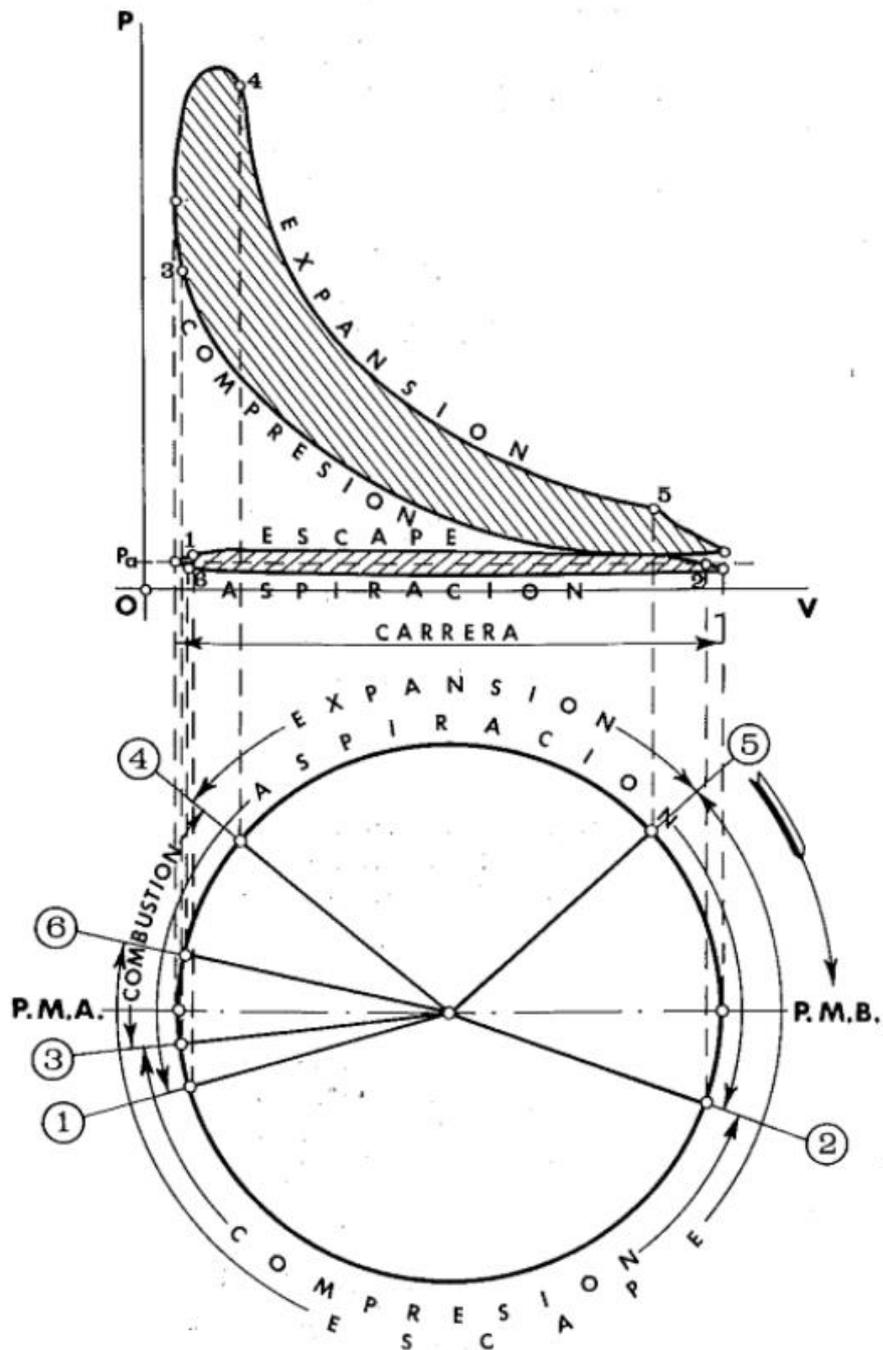


Figura 2-17 Diagrama práctico de trabajo [18]

En el caso práctico, se pueden observar los siguientes puntos:

1. Apertura de la válvula de aspiración: se produce 15 grados previamente a la llegada del cilindro al PMS.
2. El cierre de la válvula de aspiración se produce unos 20 grados después del PMI.
3. La inyección de combustible comienza unos 7° antes del PMS.
4. Esta inyección se prolonga hasta unos 40° después del PMS.
5. Tras ello, 2° más adelante del fin de la inyección, comienza la apertura de la válvula de escape, iniciándose así la salida de los gases del cilindro.
6. El escape de gases finaliza unos 12° después del PMS. Se puede observar entonces que en el ciclo real diésel se produce entrada de aire y salida al mismo tiempo, siendo este período de tiempo denominado el cruce de válvulas.

### 2.3.5 Transmisión de potencia

En un buque, la transmisión de potencia del motor se efectúa con una serie de sistemas de elementos mecánicos conectados entre sí, desde el propio generador de potencia hasta el elemento de impulsión. Con propulsión convencional, la transmisión de potencia se realiza con los siguientes elementos:

- Reductor.
- Eje propulsor.
- Cojinetes.
- Chumacera.
- Bocina.
- Arbotante.
- Hélice.

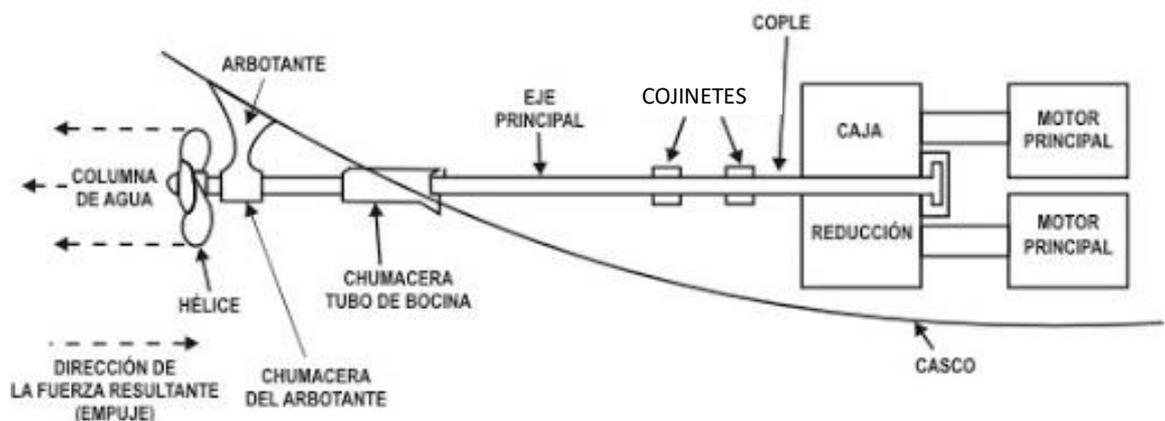


Figura 2-18 Esquema general de la transmisión de potencia en un buque [19]

#### 2.3.5.1 Reductor

Con el objetivo de evitar la cavitación, las hélices no giran a la misma velocidad que el motor. De ello surge la necesidad de contar con una serie de engranajes que disminuyan las revoluciones de salida del motor a las de trabajo de la hélice. Para ello se utiliza un engranaje reductor, ubicado a la salida de potencia de un motor o turbina.



Figura 2-19 Reductor [20]

#### 2.3.5.2 Eje propulsor

Transmite la potencia generada por los motores rotativos a la hélice, así como el empuje obtenido por la hélice al buque. Suelen llevar el centro vaciado para tener mayor resistencia a la torsión. Según la situación y función puede ser:

1. Eje de cola: se encuentra en la parte exterior del buque, y a él se fija la hélice.
2. Eje de bocina: es la sección que atraviesa el casco por la bocina.
3. Eje de transmisión: está formado parte por la sección englobada desde el engranaje reductor e incluye todas aquellas que se encuentren en el interior del buque.
4. Eje de empuje: es el que comprende la sección que se encuentra en la chumacera de empuje.

#### 2.3.5.3 Cojinetes

Son apoyos que previenen la deformación por el propio peso del eje, evitando oscilaciones con la rotación, que se ven traducidas en un cimbreo o vibración de la hélice, el cual produce cavitación (7).



**Figura 2-20 Cojinete de apoyo [21]**

#### 2.3.5.4 Chumacera

Transmite a la estructura del buque el empuje que recibe el eje de la hélice al impulsar el agua. Se trata, por tanto, de un elemento que está sometido a grandes esfuerzos. Suele ir refrigerado y lubricado.



**Figura 2-21 Chumacera de empuje [22]**

### 2.3.5.5 Bocina

Es un dispositivo que lleva dos cojinetes, uno a cada extremo, y que aísla el interior del buque del exterior en el paso del eje. La zona interior cuenta con un sistema de empaquetado de modo que restringe la entrada de agua al interior permitiendo en libre giro del eje.



Figura 2-22 Bocina [23]

### 2.3.5.6 Arbotante

Se trata de una sujeción vertical del eje de cola, que parte del casco del buque y que cuenta con un cojinete de apoyo en su interior o de una bocina. Estos van refrigerados por agua del mar, y un buque puede contar con varios.



Figura 2-23 Arbotante, visible en color azul en la parte superior, abrazando al eje por la parte inferior [24]

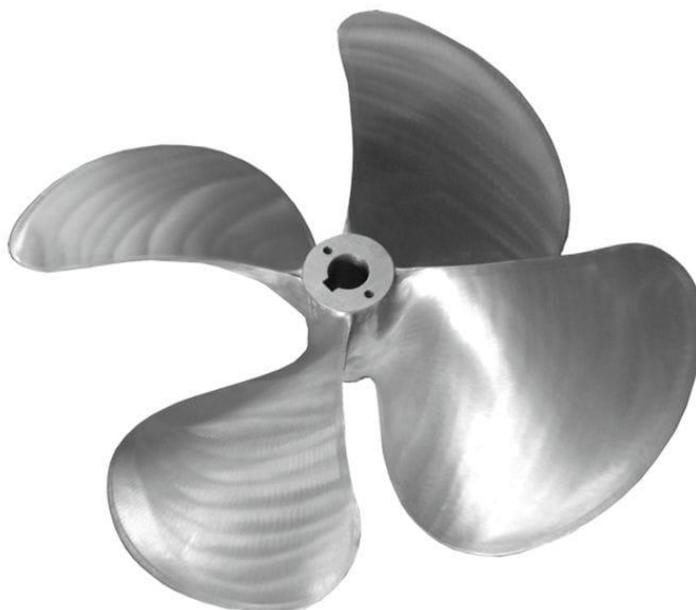
### 2.3.5.7 Hélice

De acuerdo con la RAE, una hélice es “un conjunto de aletas que gira alrededor de un eje y empujan el fluido ambiente produciendo en él una fuerza de reacción” [25]. Esta fuerza es la que produce el empuje que permite el desplazamiento de un buque, siendo transmitido al eje y a una chumacera<sup>5</sup> de empuje, que es el elemento que lo transmite por último a la estructura del barco.

Este elemento de la propulsión atiende a numerosos factores a la hora de ser diseñado [26], como son la potencia del propulsor, el régimen de revoluciones del eje, la profundidad en la que se ubicará, coeficientes de forma del buque, resistencia total del buque, coeficientes propulsivos... pudiendo inferir entonces que se trata de un elemento de gran complejidad de diseño.

Las hélices se pueden clasificar atendiendo a diferentes factores, pero dado el interés del presente trabajo, según su sistema de propulsión, pueden ser:

- Paso<sup>6</sup> fijo: son las más sencillas, y las más empleadas para propulsar sistemas de poca potencia, como en las embarcaciones de recreo, pero también se pueden encontrar en la propulsión azimutal.



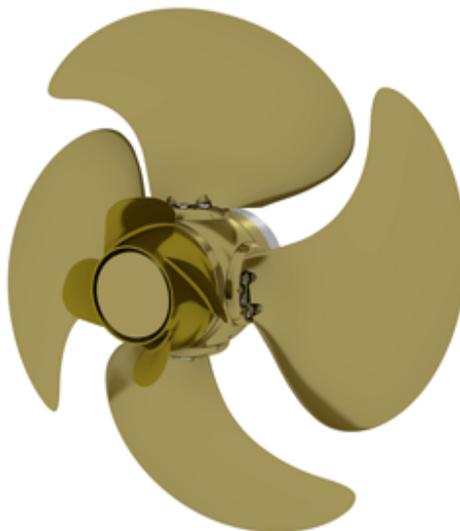
**Figura 2-24 Hélice de paso fijo [27]**

---

<sup>5</sup> De acuerdo con la RAE, es un “rebajo semicircular practicado en la falca de los botes, generalmente forrado de hierro o bronce, que sirve para que en él juegue el remo”. Aplicado a sistemas de propulsión, es un elemento que sostiene el eje, y que impide el movimiento de este en su sección más próxima al motor. Puede ser de apoyo o de empuje.

<sup>6</sup> Distancia teórica que avanzaría la hélice al dar una vuelta completa si estuviera inserta en un medio sólido. Está estrechamente relacionado con el par de torsión de las palas de la hélice.

- Paso variable: el avance de la hélice en el recorrido de su diámetro varía desde el núcleo hasta el extremo de la pala. Son de diseño más complejo, y gracias a esto se minimizan los efectos de la cavitación<sup>7</sup> en el extremo de las palas.



**Figura 2-25 Hélice de paso variable [28]**

- Paso controlable: cuenta con un sistema hidráulico con el que las palas pueden girar alrededor de su eje para cambiar el ángulo de ataque al agua. Se compone de un circuito hidráulico que, como norma general, va por el interior del eje desde el buque hasta el núcleo de la hélice. Con ello se puede cambiar la fuerza de impulsión de la hélice a unas mismas revoluciones de eje, consiguiendo de este modo mantener constante la velocidad de este.



**Figura 2-26 Hélice con paso controlable [29]**

- Hélice con tobera: se trata de un elemento situado alrededor de la hélice, cuyo objetivo es el direccionamiento del agua hacia el propulsor. Este puede ser a proa o a popa de las palas, y

---

<sup>7</sup> Formación de burbujas de vapor o de gas en el seno de un líquido, causada por las variaciones que este experimenta en su presión. Estas burbujas implosionan en la hélice, produciendo con ello una estela de gas y arranque de metal de la superficie.

su uso implica ahorros considerables de combustible. Está limitado a embarcaciones de baja velocidad, que no superen los 14 nudos [30].



Figura 2-27 Hélice con tobera [31]

## 2.4 Propulsión en los patrulleros en la Armada española

De acuerdo con la definición de la Real Academia de la Lengua española, un patrullero es un “buque de guerra ligero, dotado con armamento de superficie, destinado a la misión de vigilancia”.

Dentro de los cometidos de estos buques se encuentran, entre otros:

- Presencia naval.
- Vigilancia marítima.
- Control de actividades y de tráfico marítimo.
- Protección del tráfico mercante.
- Apoyo a otras unidades.
- Control y neutralización de operaciones terroristas.
- Operaciones contra el tráfico de personas.
- Operaciones de respuesta de crisis, tanto humanitarias como de rescate.
- Operaciones de inteligencia.
- Operaciones de interdicción marítima (MIO).
- Ejercicio de la soberanía en la Zona Económica Exclusiva.

### 2.4.1 Clase *Meteoro*

Esta serie de buques corresponde con un total de 5 OPV (Offshore Patrol Vessel) o patrulleros de altura, que cuentan con un sistema CODOE. El primero fue botado en julio del 2011, y el último en las mismas fechas del año 2018. Son buques con un desplazamiento de 2670 toneladas, una eslora de 93.9 metros y una manga de 14.2 metros [32].



Figura 2-28 OPV P-41 "Meteoro", que da el nombre a su clase [32]

Su propulsión consta de 2 cámaras de máquinas independientes, cada una con un motor diésel MTU 16V 1163 y un motor eléctrico SIEMENS acoplado a un engranaje reductor que conecta el sistema a cada eje. Con cada eje, siendo 2 el total, va pareja una hélice de paso controlable. Además cuenta con una hélice empujadora de proa HMC.

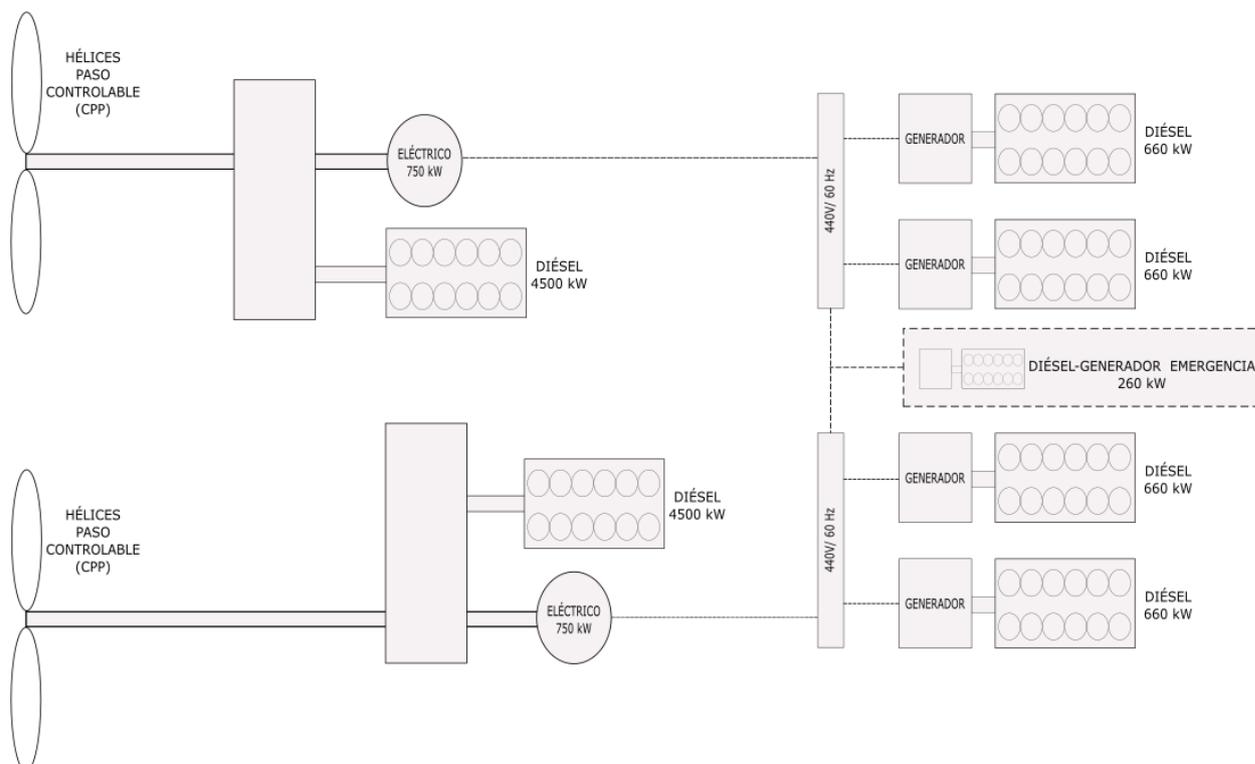


Figura 2-29 Esquema de la planta de propulsión-generación de los OPV clase Meteoro. Elaboración propia

Al tratarse de un sistema CODOE, la planta eléctrica adquiere una gran importancia. Por ello, estos buques cuentan con un total de 4 generadores diésel MTU 12V 2000 y uno de emergencia MTU S60.

Esta serie de buques tienen asociadas misiones de control marítimo haciendo frente a amenazas asimétricas o convencionales de baja intensidad. Esto se añade a tareas de presencia y vigilancia marítima.

### 2.4.2 Clase Descubierta

El primer buque de esta clase fue entregado a la Armada en abril de 1980, y el último en marzo de 1979, componiendo un total de 6. En un principio fueron corbetas, dadas sus capacidades de combate, participando en operaciones como el bloqueo contra Irak en 1991 o en la operación “Romeo Sierra” durante la crisis del islote Perejil. En los años 2004 y 2005 fueron reconvertidas en patrulleros de altura. Como patrulleros, han participado en misiones de lucha contra la piratería (EUNAVFOR Atalanta), y en escoltas y vigilancia de las actividades pesqueras y comerciales en el Golfo de Guinea y de Somalia [33].



Figura 2-30 P-76 "Infanta Elena" de la clase Descubierta [34]

Esta serie de buques cuentan con una eslora de 88.8 metros y una manga de 10.4 metros, desplazando 1510 toneladas. La planta propulsora viene configurada con un par de ejes, cada uno asociado a una pareja de motores diésel MTU con sus cajas reductoras. Además las hélices son de paso controlable, consiguiendo un gran rango de velocidades de trabajo.

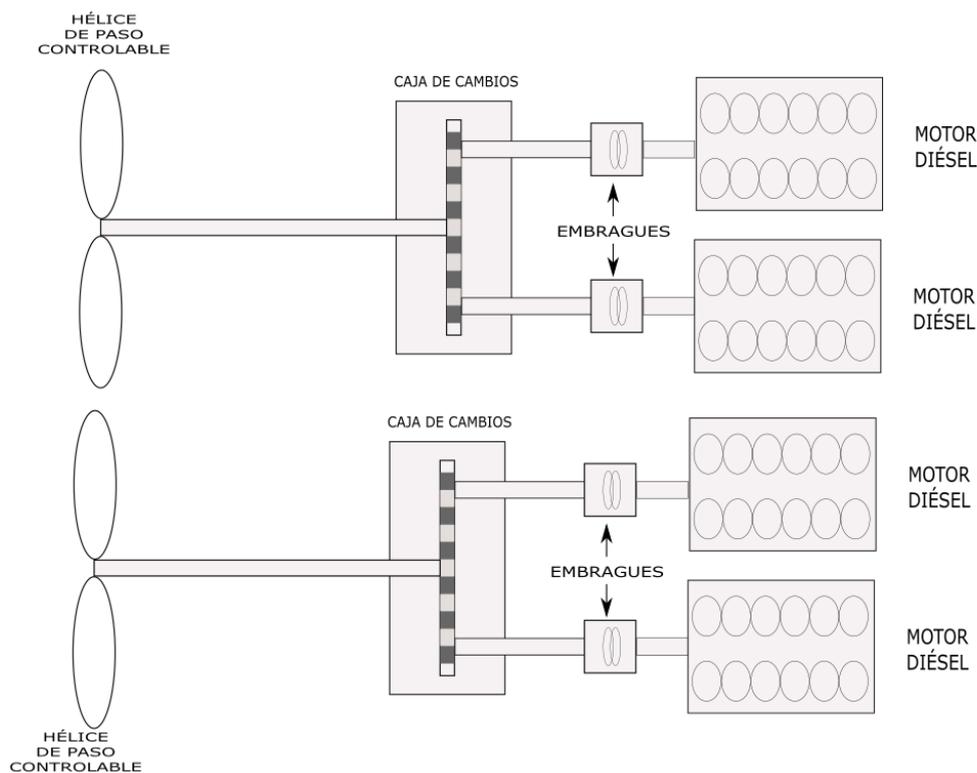


Figura 2-31 Esquema de la planta de propulsión de los patrulleros clase Descubierta. Elaboración propia

### 2.4.3 Clase Serviola

Estos son una serie de 4 buques entregados a la Armada a lo largo del año 1992 y sus principales misiones son el ejercicio de soberanía y protección de los intereses nacionales en la Zona Económica Exclusiva<sup>8</sup>. Son buques con un desplazamiento de 1200 toneladas, una eslora y una manga de 70 y 10 metros, respectivamente. Cuenta con 2 plantas de propulsión, cada una con 1 motor diésel Bazán MTU 16v 956, asociados cada uno a un eje con hélice de paso variable, y 2 aletas estabilizadoras. Su planta eléctrica cuenta con 3 generadores diésel de 195 KW [35].

<sup>8</sup> La ZEE se corresponde con el área “que se extiende desde el límite exterior del mar territorial español hasta una distancia de doscientas millas náuticas, contadas a partir de las líneas de base desde las que se mide la anchura de aquél, el Estado español tiene derechos soberanos a los efectos de la exploración y explotación de los recursos naturales del lecho y del subsuelo marinos y de las aguas suprayacentes” [66].



**Figura 2-32 Patrullero Vigía de la Clase Serviola [35]**

#### *2.4.4 Clase Toralla*

Se trata de una serie de 2 buques entregados a la Armada en el año 1989, y sus principales funciones han sido las de vigilancia de pesca, y llevar a cabo operaciones de vigilancia en aguas de soberanía nacional, además de cooperar con otros buques de la Armada y unidades de las Fuerzas Armadas. También efectúa diferentes colaboraciones con organizaciones sociales o entidades municipales en el apoyo de eventos de diferente índole, llevando a cabo así un acercamiento de las Fuerzas Armadas a la población.



**Figura 2-33 P-81 "Toralla" [36]**

Son buques con una eslora de 28.5 metros, una manga de 6.64 y para su propulsión cuentan con 2 motores MTU 8V de 2100 CV, cada uno acoplado a un solo eje, por lo tanto no se trata de ninguna

combinación de sistemas de propulsión. Para el sistema de generación cuenta con dos generadores diésel SOLE de 63 KW [37].

#### 2.4.5 Clase Chilreu

En un ámbito de colaboración interministerial, como resultado de un acuerdo entre el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y el Ministerio de Defensa, se acondicionaron una serie de buques inicialmente pensados como pesqueros para su uso por la Armada. El primero que dio clase a su serie de buques fue entregado en 1991, siendo el último entregado en el 2004. Esta clase de buques tiene su labor más enfocada a la vigilancia de la actividad pesquera, realizando tareas de apoyo, control e inspección coordinado con personal de otros Cuerpos y Fuerzas de Seguridad y organismos del Estado, como los inspectores de pesca, personal de la Guardia Civil o Policía Nacional.



Figura 2-34 P-64 "Alborán" de la clase Chilreu [36]

Estos buques tienen una eslora de 66 metros y una manga de 10.5 metros, desplazando un total de 1962 Toneladas. Dadas a las necesidades operativas, cuentan con un sistema de propulsión relativamente sencillo que consta de un motor propulsor MAK 6M 25, que impulsa a un eje con su hélice de paso controlable, y una hélice empujadora de proa con un motor diésel de 325 KW. Además, lleva un motor eléctrico de 336 KW que va acoplado al eje, pudiendo de esta forma aprovechar la energía del giro de este para la generación de electricidad en el buque. Todos los buques de esta clase cuentan con el mismo sistema de generación, que está compuesto por 2 generadores diésel de 313 KW y uno de emergencia de 95 KW [38].

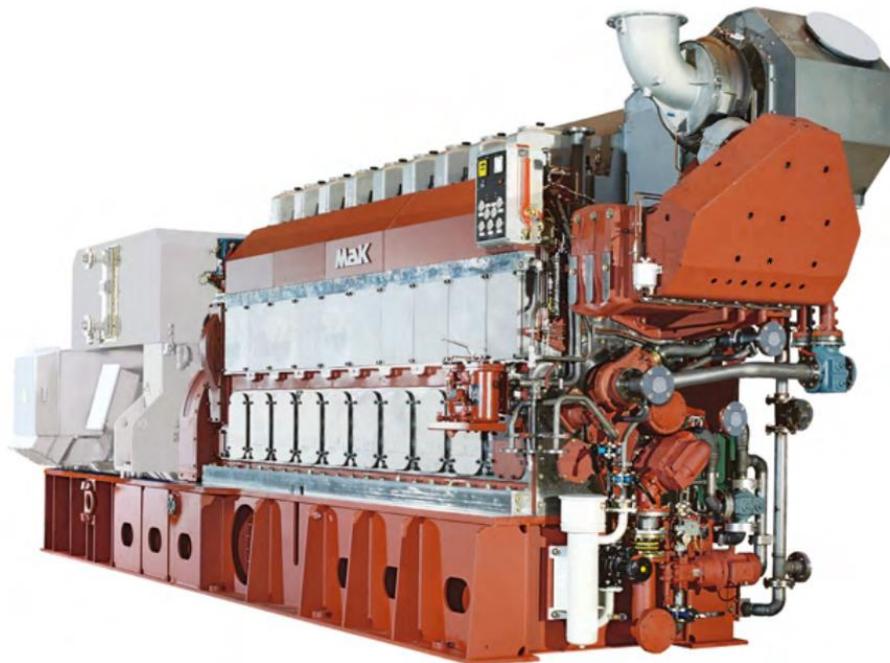


Figura 2-35 Motor MAK 6M 25 de los patrulleros clase Chilreu [39]

#### *2.4.6 Patrulleros de vigilancia costera*

Es una serie de buques compuesta por el P-101 y el P-114, entregados a la Armada en los años 1978 y 1979, respectivamente. Sus principales cometidos son la vigilancia litoral y fronteras marítimas, como en Ceuta o Portugal, el reconocimiento de embarcaciones, y la colaboración con organismos civiles en eventos SOLAS. Además el P-101 participó activamente en la crisis del islote Perejil [40].

Son buques con una eslora de 15.75 metros, un calado de 1.4 metros y con un desplazamiento total de 20.85 Toneladas. Su planta de propulsión cuenta con 2 motores BAUDOIN-INTERDIESEL DNP 8M, de 350 CV, cada uno asociado a un eje.



Figura 2-36 Patrullero de vigilancia costera P-101 [41]

### 2.4.7 Patrullero de vigilancia interior

Es un buque construido con el fin de sustituir al que llevaba su mismo nombre que fue entregado a la Armada en 1961, siendo el único patrullero fluvial operativo. Se trata del buque más antiguo de la Armada, después del B/E Juan Sebastián de Elcano. Su misión es el control de las actividades de pesca, caza y deportivas en el Miño, así como la vigilancia y presencia de las aguas de soberanía nacional de este río, en colaboración con otros organismos e instituciones del Estado. Cuenta con una eslora y una manga de 17.85 metros, respectivamente, y un desplazamiento de 28 toneladas. Su planta de propulsión está compuesta por 2 motores diésel PEGASO-GUASCOR de 550 CV, y su generación eléctrica viene dada por un diésel VETUS-MITSUBISHI de 6KW.



Figura 2-37 Patrullero P-201 “Cabo Fradera” [42]

### 2.4.8 Clase Anaga

Es una serie de 10 buques que fueron entregados en la década de los 80, que han sido nombrados tras diferentes islotes repartidos por la costa española. Estos buques fueron concebidos para la vigilancia marítima, pero ha estado involucrado en misiones de rescate y remolque de buques en peligro de naufragio. Además colabora con organismos civiles e instituciones del Estado en operaciones contra el narcotráfico, contrabando, inmigración ilegal y terrorismo, así como de vigilancia de pesca y salvamento marítimo. A pesar de sus dimensiones, estos buques pueden patrullar hasta 200 millas náuticas de costa en cualquier condición meteorológica [43].



Figura 2-38 P-26 “Medas” abarloado al P-22 “Tagomago” en el puerto de Málaga en mayo de 2013 [44]

Estos patrulleros miden 44.26 metros de eslora, y 6.6 metros de manga, desplazando 320 toneladas. En un principio fueron pensados de mayor porte, pero las limitaciones económicas hicieron que se redujese considerablemente su tamaño, y que se eliminase uno de los dos motores de propulsión que iba a llevar. Con esto se consiguió un buque con hélice de paso variable pero no controlable, de modo que el cambio de régimen de la propulsión de *avante*<sup>9</sup> a *ciar*<sup>10</sup>, suponía mucho tiempo de reacción del buque, siendo vital en diferentes maniobras, como la entrada y salida de puerto. Por ello se le instaló un sistema de control de paso de la hélice, que constaba de un sistema hidráulico que iba por fuera del eje, siendo la opción más económica por aquel entonces. Pero este sistema tuvo diferentes problemas, como la necesidad de varada para cualquier reparación por avería. Su motor principal es el diésel BAZÁN MTU 16V 956 TB91 de 4500 CV que impulsa a una hélice de paso controlable pero no reversible. Su generación eléctrica viene de 2 motores diésel CHRISLER-BARREIROS tipo BS-36 ME de 112 KW.

---

<sup>9</sup> Orden de máquinas que produce movimiento del buque de forma que avanza en dirección popa-proa.

<sup>10</sup> Orden de máquinas cuyo movimiento resultante del buque es a popa, o en el sentido inverso del avance normal de este.



### 3 CASO DE ESTUDIO: P28 TABARCA

El conocimiento con cierta profundidad de los servicios principales del buque, constituye la base para una correcta elaboración de aquellas propuestas que mejoren su operatividad o subsanen problemas detectados.

En el presente apartado se pretende describir aquellos componentes del servicio de energía y propulsión del buque objeto de estudio, haciendo especial énfasis en el funcionamiento básico de cada uno de ellos en las condiciones actuales.

Finalmente, se propondrán una serie de actuaciones, que hagan énfasis en aquellos aspectos de mayor interés para el funcionamiento más adecuado de la plataforma estudiada.

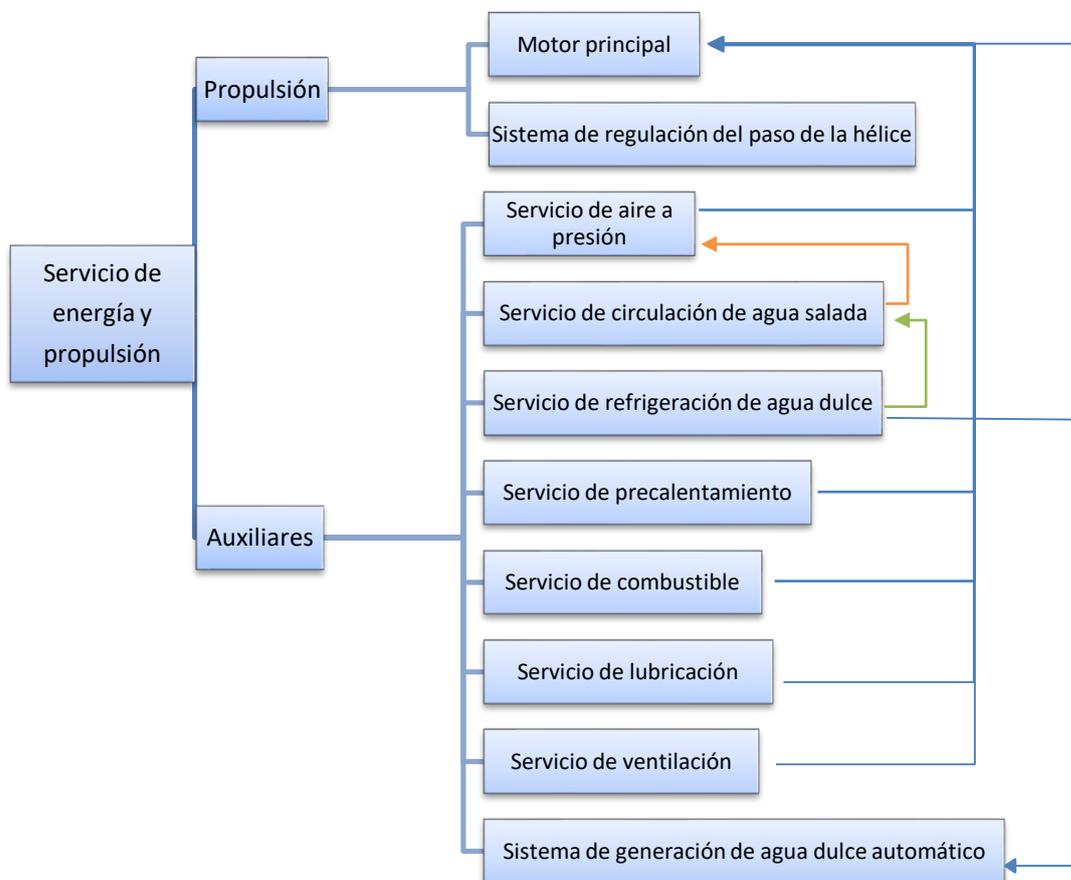


Figura 3-1 Esquema de los sistemas y servicios principales del P28 Tabarca. Elaboración propia

### 3.1 Servicio de propulsión

El patrullero Tabarca cuenta con una configuración sencilla para la propulsión (común a toda la clase Anaga de la que forma parte) que consta de un motor principal diésel, embrague, reductora, eje y hélice, de acuerdo al esquema básico de la Figura 3-2.

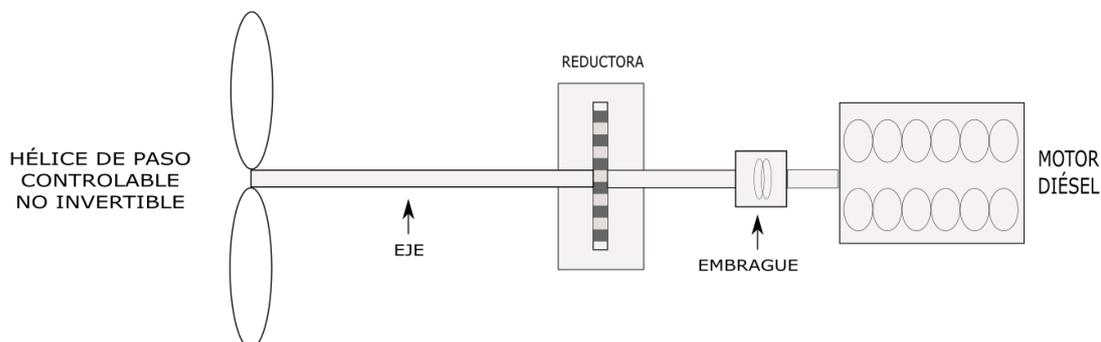


Figura 3-2 Esquema de la propulsión del P28 Tabarca. Elaboración propia

#### 3.1.1 Motor Diésel MTU 16V 956 TB 91

Se trata de un motor de cuatro tiempos de simple efecto, con inyección directa, con sobrealimentación por turbocompresor movido por los gases de escape. Cuenta con 16 cilindros en V a 50°, que trabajan con una relación de compresión de 13 y una cilindrada total de 152.8 litros. La refrigeración es por agua. Su sentido de giro visto sobre el lado de salida de la fuerza principal es levógiro, y desarrolla una potencia máxima de 4500 CV a 1575 r.p.m.

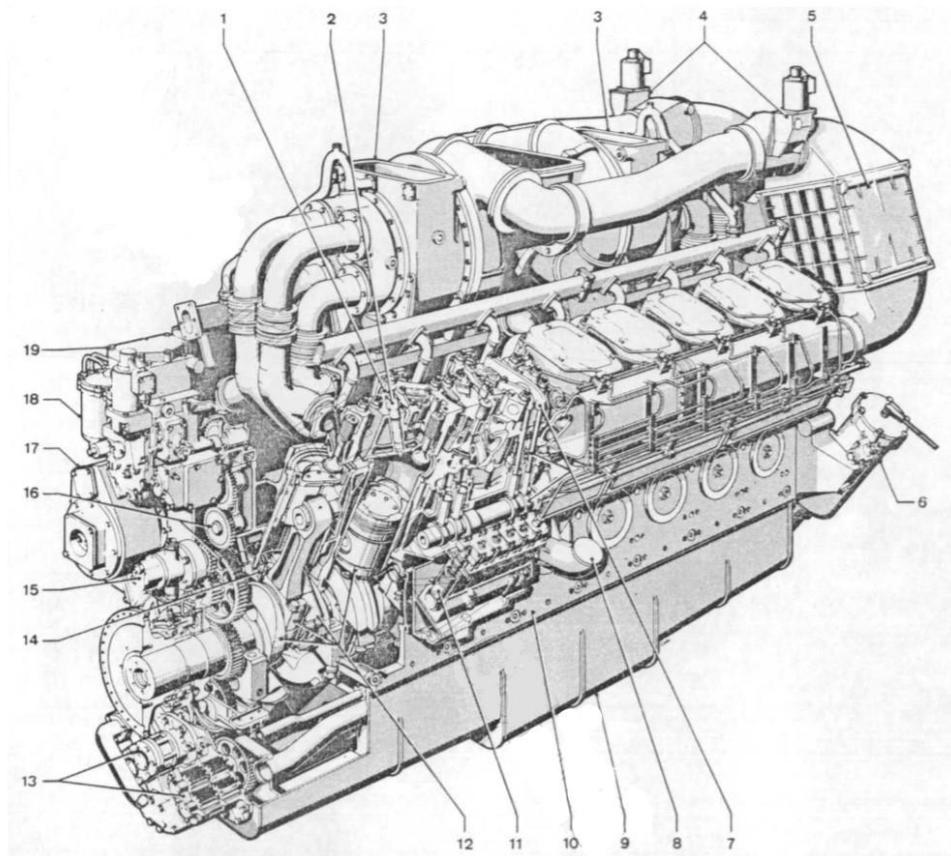


Figura 3-3 Vista general del motor [45]

Número	Elemento
1	Culata
2	Tobera de inyección de combustible
3	Turbosobrealimentador por gases de escape
4	Chapaleta de cierre rápido
5	Refrigerador del aire de sobrealimentación
6	Filtro de rendijas de aceite motor
7	Distribución del motor
8	Codo de llenado de aceite
9	Cárter de aceite
10	Bloque motor
11	Bomba de inyección de combustible
12	Mecanismo
13	Bomba de aceite
14	Tobera de inyección de aceite refrigerante de los pistones

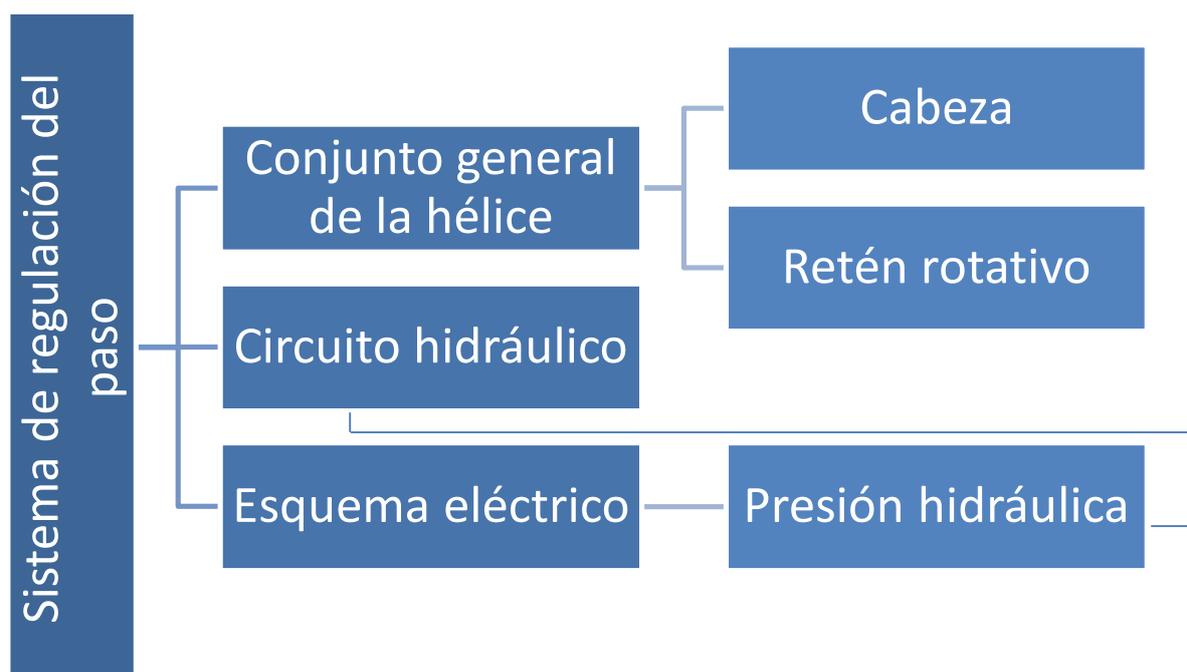
15	Bomba transportadora de combustible
16	Tren de engranajes
17	Bomba de agua cruda
18	Filtro doble de combustible
19	Regulador del motor

**Tabla 3-1 Elementos de la vista general del motor**

Por encontrarse extensamente desarrollado en el Trabajo de Fin de Grado *Análisis del sistema de propulsión del Patrullero “Tabarca”. Mantenimiento y mejoras del sistema*, no se profundizará más en este componente del servicio de la propulsión.

### 3.1.2 Sistema de regulación de paso de la hélice [46]

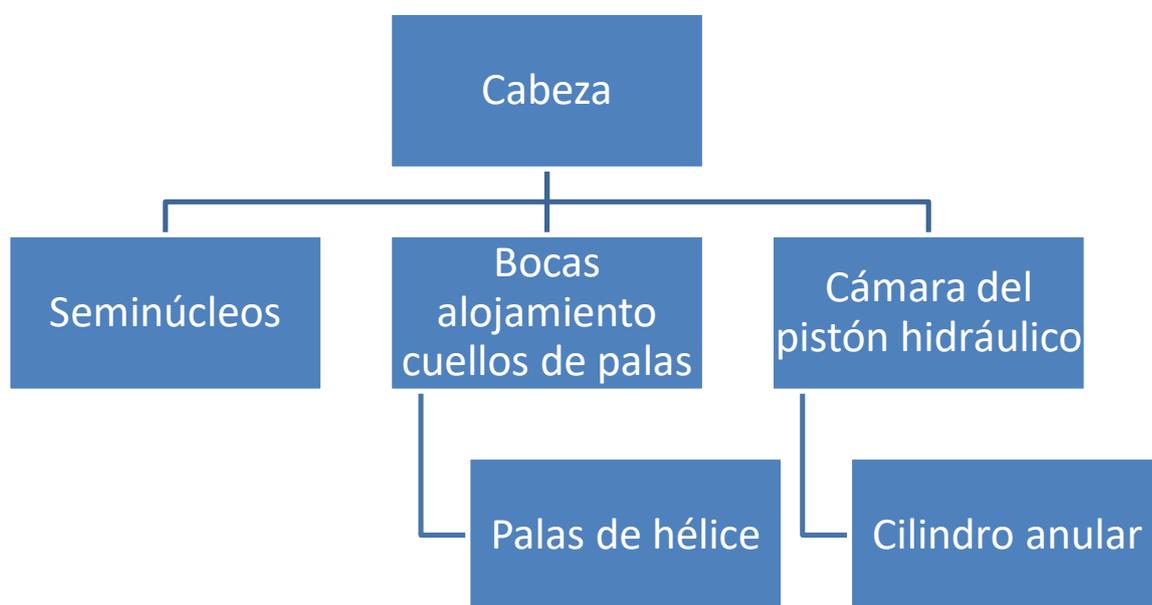
La hélice consiste de 4 palas cuya relación de superficie de palas es de 0.7256, la de diámetro núcleo y diámetro pala de 0.325, los grados de máximo avante de 23°7' y los de mínimo de 2°30'. La instalación general la componen los siguientes conjuntos:



**Figura 3-4 Esquema del sistema de regulación del paso de la hélice. Elaboración propia**

1. Conjunto general de la hélice, compuesto por dos subconjuntos, el de la cabeza y el del retén rotativo.
  - a. La cabeza está formada por dos seminúcleos fundidos en bronce al manganeso entre sí mediante tornillos, con 4 bocas para el alojamiento de los cuellos de las palas. Las palas están fundidas en bronce al aluminio, formando una sola pieza entre pala y cuello de pala. La cámara del pistón hidráulico está formada por los dos seminúcleos y la tapa de distribución. El cilindro anular se desplaza sobre un seminúcleo, portando los tetones y dados que atacan excéntricamente sobre la ranura guía mecanizada en la base de la pala, convirtiendo el movimiento axial del cilindro, en rotativo de la pala.

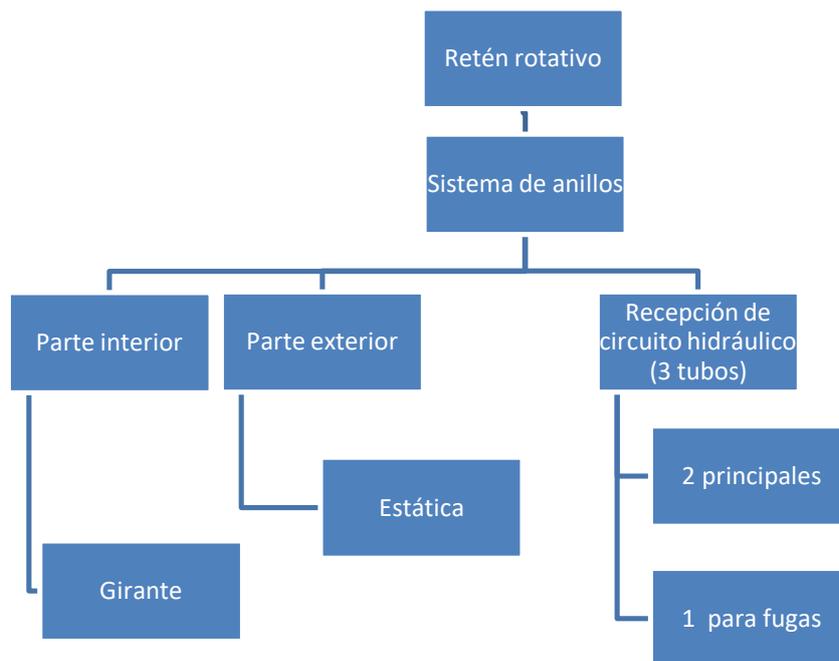
Cuando a través del circuito hidráulico se bombea aceite a la cámara de popa, el cilindro anular se desplaza hacia proa haciendo girar la pala, aumentando el paso, y bombeando en la de proa, por lo tanto, disminuye el paso. Interiormente el núcleo está totalmente bañado en aceite a presión de gravedad, engrasando los cuellos de las palas y todos los elementos montados en el interior del capuchón, siendo este aceite el mismo que el del circuito hidráulico que se recibe a través del retén rotativo. La válvula antirretorno doblemente pilotada es la encargada de bloquear las dos cámaras del pistón hidráulico, una vez seleccionado el paso. El conjunto medidor electrónico se desplaza solidario al pistón anular por medio del eje de transmisión, el movimiento lineal se traduce en rotativo por la cremallera y el piñón solidario al potenciómetro, que da una señal eléctrica en cada posición de recorrido. La hélice completa se monta en el eje de cola mediante cono y chaveta, como si se tratase de una hélice de paso fijo. La estanqueidad de la hélice con el eje de cola se realiza mediante juntas tóricas alojadas en el anillo, y entre los dos seminúcleos mediante una capa de loctite 510.



**Figura 3-5 Elementos de la cabeza. Elaboración propia**

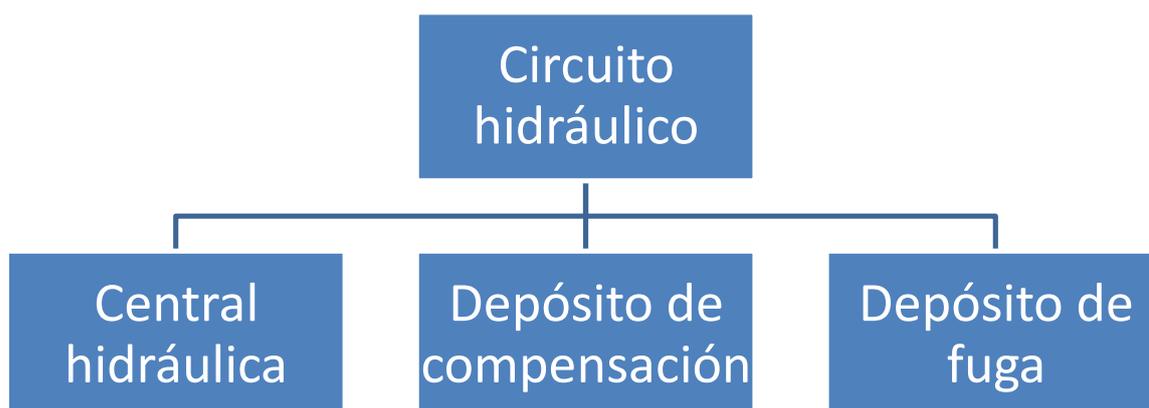
- b. El retén rotativo está compuesto de una parte interior girante atornillada directamente al núcleo de la hélice, y otra parte exterior estática y flotante. El antigiro es realizado por medio del bulón y de la brida fija al arbotante del buque. La parte exterior tiene la función de recibir de 3 tubos, dos de ellos del circuito principal de presión de aceite y uno tercero que se utiliza para el retorno del aceite que se fuga entre el casquillo antifricción y el casquillo inoxidable., la cual está provista para que engrase el interior de la cabeza de la hélice y las partes girantes del retén.

Las conducciones de aceite tanto de presión como de engrase se comunican al núcleo de la hélice por medio de los taladros realizados en el casquillo inoxidable. El retén rotativo lleva un doble cierre de estanqueidad entre la parte fija y la girante realizada por dos juntas, una por cada costado. Una de ellas es para impedir que el agua pueda penetrar en el interior del retén y la otra para que el aceite no pueda perderse. En el interior del retén rotativo está instalado un sistema de anillos. El anillo que es solidario al casquillo inoxidable recibe por medio de los conductores la señal eléctrica del potenciómetro montado en el interior del núcleo. Esta señal se transmite al anillo solidario a la parte estática, a través de las escobillas, y de este anillo al interior del barco por los conductores que se introducen por el interior del tubo de engrase.



**Figura 3-6 Elementos retén rotativo. Elaboración propia**

2. Circuito hidráulico: compuesto por una central hidráulica, el depósito de compensación y el depósito de fuga. El depósito de compensación consigue que el aceite del circuito esté por encima de la línea de flotación, para que en el supuesto que la central se quedase sin corriente eléctrica y no bombee aceite, se consiga el suministro por gravedad al retén rotativo para su engrase.



**Figura 3-7 Elementos circuito hidráulico. Elaboración propia**

El circuito funciona del siguiente modo: desde el panel de mando en el puente, se pone en funcionamiento el grupo motobomba principal, alcanzando automáticamente una presión en el circuito de alta presión de 12 kg/cm<sup>2</sup>. Esta presión permite dar un engrane constante al retén rotativo y al interior de la cabeza de la hélice. Las fugas retornan al depósito de compensación y

son redirigidas a la central hidráulica. En el caso de falta de presión en el circuito, un presostato activa una alarma acústica y óptica en el panel de mandos. En esta situación, el retén rotativo sigue recibiendo engrase por gravedad. La variación del paso se consigue mediante el accionado manual con el telégrafo de velocidades en el puente, que excita eléctricamente los solenoides de la electroválvula, pasando todo el caudal de aceite por una de las dos tuberías que atraviesan el retén rotativo hasta la cámara del cilindro hidráulico. Automáticamente el aceite de la cámara contraria retorna por la otra conducción haciendo el recorrido inverso hasta la central hidráulica. Una vez situada la hélice en el paso seleccionado, se deja de actuar sobre el manipulador, quedando las cámaras del cilindro bloqueadas mediante la válvula antirretorno doblemente pilotada, que no permite ninguna fuga de aceite, dejando así el paso fijo hasta su próxima selección.

3. Esquema eléctrico: cuenta con un pulsador se conecta todo el circuito eléctrico, y con otros dos se ponen en marcha los grupos motobombas principal y auxiliar. El circuito eléctrico de puesta en marcha de las motobombas no permite el accionamiento simultáneo de los dos grupos con el fin de evitar posibles averías. En el caso de conectar un grupo motobomba encontrándose en funcionamiento el otro, se desconectan ambos, siendo necesaria la desconexión inmediata de uno de ellos para que el otro funcione. Además, cuenta con un circuito electrónico medidor de ángulo.

### 3.1.3 Acoplamiento elástico

La unión motor propulsor con el reductor se hace mediante un acoplamiento elástico HOLSET DCB 637.5. Este se basa en el trabajo a compresión de una serie de bloques de goma, que están montados en la cavidad formada entre las paletas que transmiten la fuerza del motor al reductor.

### 3.1.4 Reductor

Cuenta con el reductor BAZAN-RENK, tipo SWUV-63, con chumacera de empuje incorporada y embrague multidisco, y accionamiento hidráulico para la maniobra de avance o ciar.

Una válvula hidroneumática montada en la parte superior del reductor y comandada por el servicio de aire a presión, da paso al aceite de embrague a una presión de 19 bares, tanto para avance como ciar.

Las características principales son:

- Velocidad de entrada al reductor: 1515 r.p.m.
- Potencia: 2941.2 KW.
- Presión del aceite lubricante: 3 bares.
- Capacidad de aceite: 320 litros.
- Refrigerador de aceite propio.
- Elementos de vigilancia y control: manómetro, termómetro, alarmas de presión y de temperatura y parada automática por falta de presión.

### 3.1.5 Eje

La línea de ejes está compuesta por un eje dividido en dos mitades, el cual va apoyado en un arbotante, un cojinete de bocina y una chumacera de empuje. Esta línea lleva dos prensas, una en la bocina y otra en un mamparo estanco.

Además cuenta con dos tipos de acoplamientos, uno a proa, de plato, con ajuste cónico de chaveta y tuerca de seguridad, que acopla el eje al reductor mediante tornillería y tuercas. El otro acoplamiento

une las dos mitades del eje, siendo hidráulico. Consiste en un manguito interior con superficie exterior cónica, un manguito exterior con agujero cónico para adaptarse al manguito interior, y una tuerca roscada al manguito interior, que fija el acoplamiento, una vez es llevado a su posición de apriete hidráulicamente.

El arbotante previamente mencionado es donde apoya el eje por fuera del casco, y es de acero moldeado clase A, con un cojinete de neopreno refrigerado por agua del mar.

La chumacera de empuje es de tipo de rodamientos con rodillos FAG TU 3948 151960, montada en una caja de fundición, con aceite en la zona baja de la chumacera para su lubricación.

### 3.2 Servicios auxiliares

El buque cuenta con una serie de equipos y sistemas que suplen diferentes necesidades de la propulsión principal, que a su vez son utilizados de en otras funciones secundarias del buque. Pero su nombre no debe engañar ya que, la mayoría de estos cumplen funciones vitales para el correcto funcionamiento de la propulsión del buque, y su fallo implicaría la negación de la capacidad de navegación del buque. En el presente apartado se desarrollarán algunos de los principales servicios auxiliares, que serán:

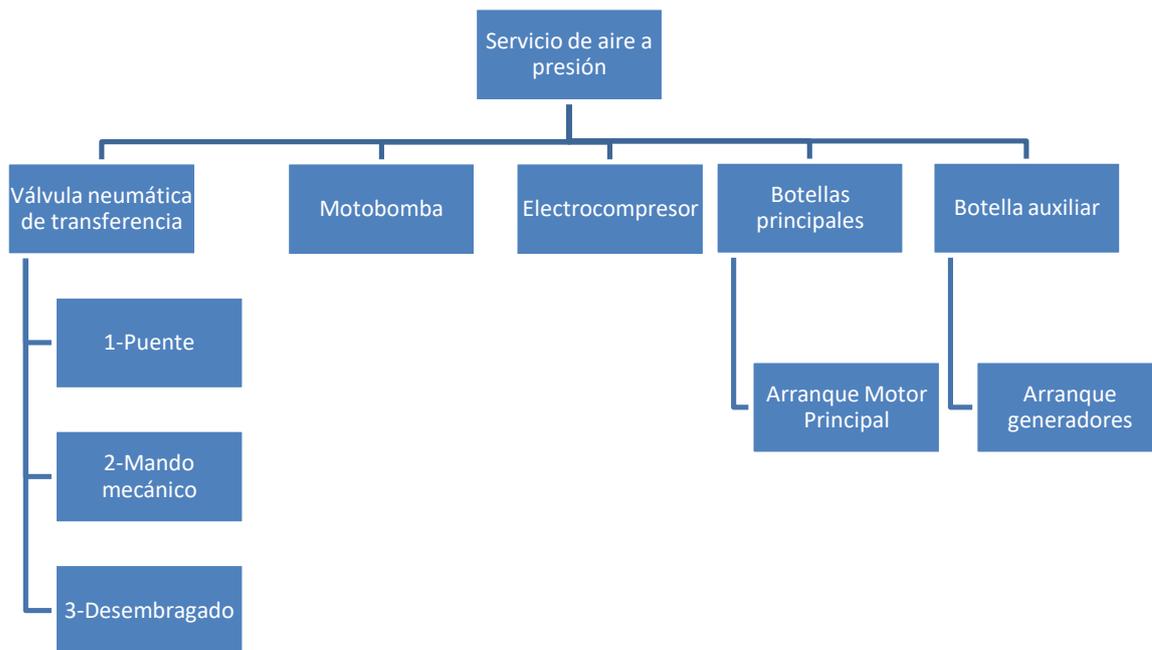
- Servicio de energía eléctrica.
- Servicio de aire a presión.
- Servicio de agua salada.
- Servicio de refrigeración de agua dulce.
- Servicio de precalentamiento.
- Servicio de combustible.
- Servicio de lubricación.
- Servicio de ventilación.
- Servicio de energía eléctrica.
- Servicio de generación de agua dulce automático.

#### 3.2.1 Servicio de energía eléctrica

También se puede referir a él como el grupo electrógeno, consta de dos motores diésel BARREIROS de 190 CV a 1500 r.p.m., contando cada uno con un alternador INDAR, de 140 KVA, 112 KW, trifásico, de 380/220 V y 50 Hz. No se entrará en mayor detalle dada la interferencia que ello supondría con otro Trabajo de Fin de Grado, el cual ha sido desarrollado simultáneamente a este.

#### 3.2.2 Servicio de aire de arranque y baja presión [46]

El objeto de este servicio es el suministro de aire comprimido a las botellas de aire principales y la auxiliar. El aire a presión contenido en ellas se utiliza para el arranque del motor principal, de los generadores, para el soplado de tomas de mar, el control neumático y otros servicios y sirenas.



**Figura 3-8 Esquema del servicio de aire a presión. Elaboración propia**

Este sistema está compuesto, de acuerdo con la Figura 3-8, por: un electrocompresor, un motocompresor, dos botellas de aire comprimido principales y una auxiliar con menor presión.

El electrocompresor es de dos etapas, de simple efecto, refrigerado por aire, cuyas culatas y tubo colector son refrigerados por agua salada, mediante una bomba acoplada que es accionada por correa. Sus características técnicas son las siguientes:

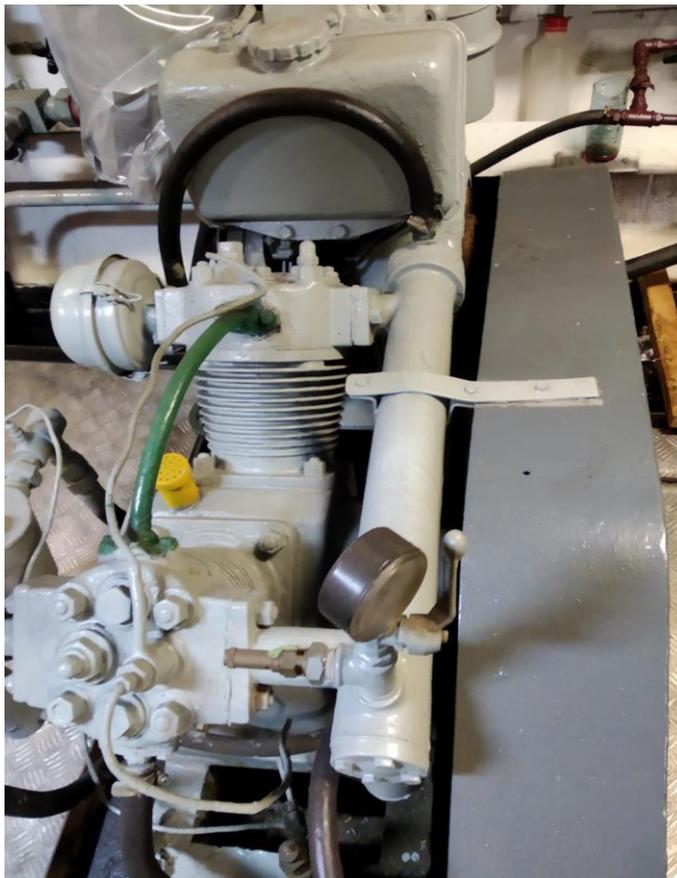
- ❖ Constructor: ARIES INDUSTRIAL Y NAVAL.
- ❖ Marca: A B C.
- ❖ Tipo: VA-70.
- ❖ Capacidad: 30 m<sup>3</sup>/h.
- ❖ Presión de descarga: 40 kgs/cm<sup>2</sup>.
- ❖ Velocidad 850 r.p.m.
- ❖ Acoplado a motor eléctrico de 1500 r.p.m. por correa.



❖ **Figura 3-9 Electrocompresor ARIES INDUSTRIAL Y NAVAL. Elaboración propia**

El motocompresor cuenta con las mismas características que el anterior, y sus principales diferencias son:

- ❖ Fabricante: DITTER.
- ❖ Tipo LK SUPER diésel.
- ❖ Motor de 4 tiempos.
- ❖ Monocilíndrico.
- ❖ Refrigeración por aire.



**Figura 3-10 Motocompresor. Elaboración propia**

Los dos compresores descargan a una línea común, de la cual parten dos ramales, siendo el primero el que llena las botellas principales, y el segundo está destinado a la botella auxiliar. Estas botellas son las principales y la auxiliar, de 180 y 100 litros, respectivamente. Las principales tienen el aire a 40 kgs/cm<sup>2</sup>, mientras que en la auxiliar se encuentra a 30 kgs/cm<sup>2</sup>.



**Figura 3-11 Una de las botellas principales del servicio de aire de arranque. Elaboración propia**

El arranque del motor principal se efectúa con aire a 40 kgs/cm<sup>2</sup>, siendo la presión mínima de arranque de 25 kgs/cm<sup>2</sup> con el motor precalentado.

El funcionamiento del arranque del motor principal es el siguiente:

1. Al abrir la válvula de paso del aire de arranque, el aire a presión llega a una válvula electromagnética de 3 vías.
2. Cuando se pulsa el botón de arranque, se abre la válvula previamente mentada, llegando la presión al distribuidor de aire, que reparte el aire entre las válvulas de arranque.
3. El aire de mando va abriendo las válvulas de arranque según la distribución del motor, entrando de este modo el aire de arranque en los cilindros.
4. De este modo se consigue el giro del motor, de modo que, una vez alcanza las 500 r.p.m., se interrumpe el proceso con el cierre de la válvula electromagnética de 3 vías, purgando el circuito, desconectándose también la bomba de prelubricación.

El arranque de los auxiliares viene dado por un sistema de arranque neumático de turbina “GALI”, que hace girar un piñón que ataca a una rueda dentada montada en el cigüeñal del motor. En este caso se efectúa con aire de 30 kgs/cm<sup>2</sup> que procede de la botella auxiliar.

El telégrafo de velocidades también hace uso de este servicio, partiendo el aire de las botellas principales, pasando por una reductora y disminuyendo su presión de 40 a 7 kgs/cm<sup>2</sup>. Se pueden encontrar dos telégrafos a bordo, uno en el puente y otro en la cámara de máquinas, siendo el último mecánico y no neumático. Cuando se establece el control en puente, no funciona el controlador mecánico y viceversa, mediante una válvula neumática de transferencia, que tiene 3 posiciones:

- Posición 1: control en puente.

Con esta selección, el aire comprimido llega al puente de gobierno. El cilindro neumático de embrague del reductor tiene 3 conexiones para la toma de aire comprimido, siendo la “y” para embragar avante, y la “x” para ciar. La toma “p1” hace que el embrague sea controlado y paulatino, y en la operación de calentamiento bloquea el embrague del motor. El telégrafo de velocidades de puente consiste en una palanca que, al girar en una dirección u otra, embraga avante, ciar, o regula las r.p.m. mediante el movimiento de una leva, que acciona un distribuidor y la válvula de regulación fina.

Con la palanca en posición “0” y hasta la posición “I”, la leva actúa sobre el distribuidor, y deja pasar el aire hacia la zona de avante del distribuidor del reductor, embragándose “AVANTE”. Desde la zona “I” a la “II”, se modula la presión del aire que va al regulador mediante la válvula de regulación fina, que también es accionada por la leva de la palanca. Esta válvula va dando paso al aire progresivamente hasta el regulador, el cual a más presión, más r.p.m., además la línea de aire lleva un sistema de retardo, que impide que cualquier intento brusco de cambio de “AVANTE” a pocas r.p.m. a toda máquina. Esto produciría en caso de suceder un choque violento de aire sobre el regulador. Esta serie de operaciones es similar al mover el telégrafo por las posiciones “III” y “IV”, embragándose en su caso “CIAR”.

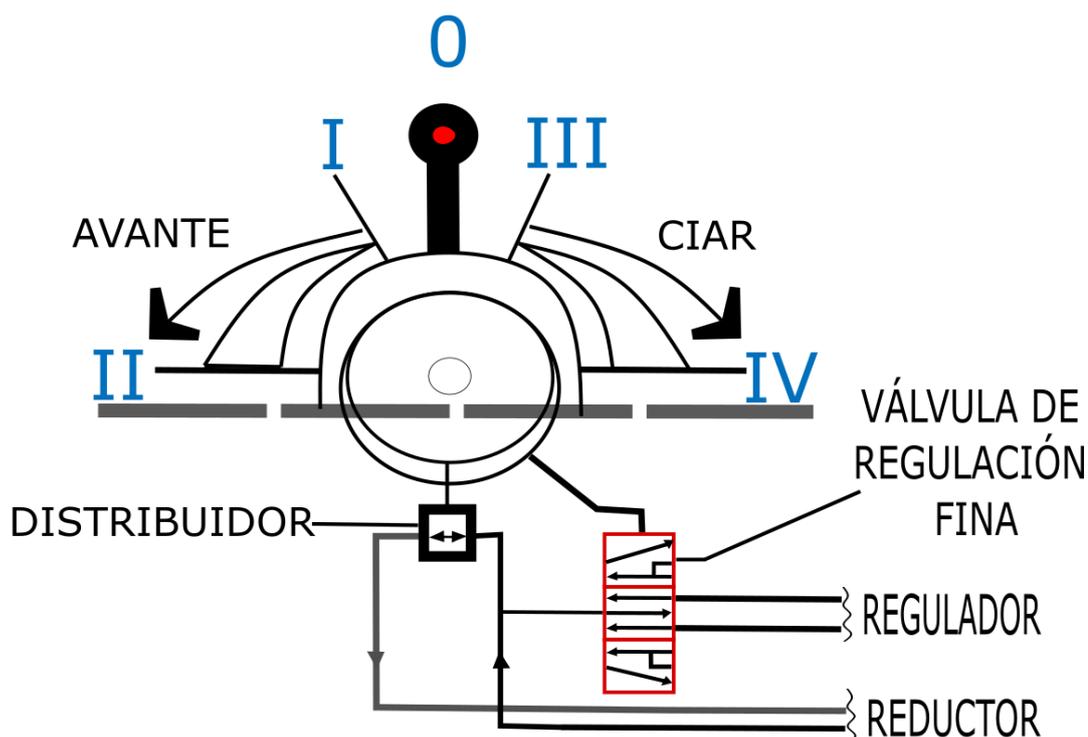


Figura 3-12 Esquema del telégrafo de velocidades en puente. Elaboración propia

- Posición 2: control en el mando mecánico.

Este consta de un volante y una palanca de fijación del volante, cuyo objeto es evitar su movimiento en caso de producirse un bandazo. Además lleva un volante pequeño para la regulación fina de las revoluciones. Con la palanca de selección en esta posición, se acciona una válvula que purga el circuito de aire del puente, impidiendo el mando desde el telégrafo de velocidades, y deja pasar el aire hasta las válvulas neumáticas del regulador, quedando listo para enviar aire hasta el cilindro hidroneumático del reductor. Estas válvulas neumáticas del regulador son accionadas mediante una leva, que es igualmente accionado por el volante de forma mecánica. Con el giro del volante a derechas desde “0”, se embraga “AVANTE”, y a izquierdas, por lo tanto, “CIAR”.

- Posición 3: desembragado y mínimas revoluciones.

Se trata de la que se usará para el calentamiento del motor, que corta el aire del mando neumático, pudiéndose calentar el motor al girar el volante, con un telégrafo, pudiendo aumentar o disminuir las revoluciones. Una vez se encuentra el motor en condiciones de servicio, puede permanecer al ralentí en este estado.

### 3.2.3 Servicio de circulación de agua salada principal y auxiliar

Su función es la refrigeración de los siguientes sistemas:

- Enfriador del aire de sobrealimentación, enfriadores del circuito de agua dulce y aceite del motor principal.
- Aceite de lubricación del reductor.
- Tubo de bocina.
- Agua dulce de refrigeración y aceite de motores auxiliares.
- Compresores de aire.
- Evaporador de agua dulce.

Este servicio lleva instaladas dos tomas de mar independientes, una a cada banda del buque (babor y estribor). Estas van unidas por medio de un colector en la aspiración, el cual tiene una serie de injertos, desde los cuales parten las aspiraciones de cada sistema que hace uso de este servicio.

El sistema general de enfriamiento consiste o bien en la circulación del agua por el interior del cuerpo a enfriar, o en el paso del agua salada por un intercambiador de calor, por el que circula el fluido a enfriar, tal como el agua dulce o aceite, reduciendo de esta forma su temperatura.

La bomba va acoplada al motor, aspira del colector y se ramifica dentro del motor en dos líneas, una de ellas refrigera al aire de sobrealimentación y el enfriador de agua dulce, descargando al mar, y la otra refrigera el enfriador de aceite del motor, con un intercambiador de calor, descargando al mar. Además cuenta con una ramificación en la descarga de la bomba que lubrica la bocina, que es refrigerada por otro intercambiador. La bomba es movida por el cigüeñal mediante ruedas de engranes, y es centrífuga de un solo rodete, y la presión de trabajo es de 1.6 kg/cm<sup>2</sup>.

Los diésel generadores llevan cada uno una bomba acoplada al motor movida mediante una correa de transmisión, que aspiran del colector principal y descargan en el enfriador de agua dulce, aceite, y refrigeran el aire de sobrealimentación, así como el colector de los gases de escape.

Cada compresor de aire lleva también una bomba instalada y movida por una correa de transmisión, y aspiran del mismo colector.

El evaporador es abastecido por una bomba que aspira del colector principal, y cuenta con dos descargas, una a través de los eyectores para la extracción de aire y salmuera, y otra para abastecimiento del propio evaporador.

#### *3.2.4 Servicio de refrigeración de agua dulce*

Dada a las características corrosivas del agua salada, los motores se enfrían con agua dulce, regulando la temperatura tanto del motor principal como de los auxiliares. Para ello, cada motor lleva un circuito cerrado de agua dulce independiente, contando cada uno con un tanque de expansión<sup>11</sup>, una bomba acoplada al motor y un enfriador.

---

<sup>11</sup> También referido como tanque de compensación, se utilizan en circuitos hidráulicos de fluidos para cumplir varias funciones, como el mantenimiento de la presión de trabajo constante en el circuito, evitando de esta forma la entrada de aire en el sistema, y aceptar los cambios en el fluido como la variación de densidad que va pareja a un cambio de temperatura a misma presión [68].



**Figura 3-13 Bomba del servicio de agua dulce. Elaboración propia**

El enfriador es de corriente cruzada, y el agua circula por el interior de los tubos, mientras que la salada lo hace por el exterior. Se trata de un INTERGASA tipo SGT-48-4-4.

La parte del servicio encargada del motor principal está compuesta por una bomba centrífuga acoplada al motor mediante engranaje, que aspira de los colectores de salida del agua dulce de refrigeración de los cilindros, las culatas y cajas de entrada y salida de escapes de las turbosoplantes, descargando al motor previo paso por el evaporador y el enfriador de agua dulce, que mediante un regulador de temperatura, mantiene el motor a la temperatura adecuada, enviando agua al enfriador o a el motor, según esta.



**Figura 3-14** Enfriador del servicio de refrigeración de agua dulce. Elaboración propia

La refrigeración de los auxiliares viene dada por un circuito impulsado por una bomba que aspira de un tanque de compensación, que mantiene el circuito siempre lleno. La temperatura viene controlada por un termostato, y el agua es descargada a través del refrigerador de agua dulce y de aceite. El agua dulce tiene tomas en cada circuito de modo que cuando se baja el nivel, se rellena o bien de una toma de tierra, o del circuito de agua potable a bordo, el cual a día de hoy no se rellena automáticamente dada la inoperatividad del sistema de potabilización de agua de mar.

### *3.2.5 Servicio de precalentamiento [46]*

Para evitar la formación de residuos de combustible y de aceite<sup>12</sup> en las cámaras de combustión, así como evitar el desgaste anormal que supone la variación de temperatura brusca por arranque en frío, se cuenta con un calentador eléctrico de agua y una bomba de 4 m<sup>3</sup>/h, que hace circular el agua caliente a través de los circuitos de agua dulce del motor. De este modo se produce el trabajo del motor en el rango óptimo de temperaturas.

---

<sup>12</sup>La combustión del diésel depende de la temperatura de compresión, tal y como fue explicado en el apartado 2.3.4, y en el encendido, la temperatura en el cilindro es inferior a la de trabajo. Esta temperatura más baja es debida a diversos factores, principalmente la temperatura ambiente, resultando en una combustión incompleta en el arranque. Esta combustión incompleta produce residuos que permanecen en el cilindro, los cuales producen desgaste interno del cilindro [69].



**Figura 3-15 Bomba del servicio de precalentamiento. Elaboración propia**

Antes de arrancar el motor se pone en funcionamiento el servicio de precalentamiento, hasta que la temperatura de este alcanza los 40°C, procediendo entonces al arranque del motor. Entonces, la bomba aspira del circuito de entrada de agua dulce del motor, y descarga a la salida de este, pasando antes por el calentador.

### *3.2.6 Servicio de combustible [46]*

Las principales funciones son:

1. Alimentar el motor principal y los auxiliares.
2. Relleno y trasiego<sup>13</sup> de los tanques de combustible.
3. Purificación y clarificación del combustible.

El motor principal lleva una bomba de alimentación movida por el cigüeñal, que aspira de los tanques de servicio diario<sup>14</sup>, y descarga a los dos bloques de inyección. El combustible, antes de llegar a esta bomba de alimentación, pasa por un filtro autolimpiable<sup>15</sup>. En la descarga de la bomba de alimentación a los bloques de inyección también cuenta con un filtro doble.

---

<sup>13</sup>*Trasiego* se define como el movimiento de un fluido de un depósito a otro.

<sup>14</sup> En lenguaje náutico, hace referencia a los tanques con los que se provee directamente a la maquinaria que requiera del combustible.

<sup>15</sup> Este filtro se limpia sin necesidad de parar el servicio, ya que con abrir una válvula de purga se descarga a un tanque, limpiándose de esta manera.



**Figura 3-16 Filtro doble de combustible. Elaboración propia**

La alimentación de combustible de los motores auxiliares viene también de los tanques de servicio diario, y cada motor lleva acoplada una bomba de alimentación, la cual aspira desde esta línea y descarga a un filtro doble, y desde este a la bomba de inyección.

Para el trasiego de combustible se usan dos bombas de engranes, o un bombillo, en caso de avería en las bombas, o falta de energía eléctrica. De estas bombas de engranes, una se usa para trasiegos, y la otra para suministrar servicio diario. La principal diferencia entre estas bombas es el caudal, siendo mayor el de la bomba de trasiegos.



**Figura 3-17 Bomba de combustible de uso diario. Elaboración propia**

También cuenta con una separadora centrífuga puede aspirar de cualquier tanque almacén, y descargar en cualquier tanque almacén o de uso diario. Esta está preparada para la purificación/clarificación del combustible.

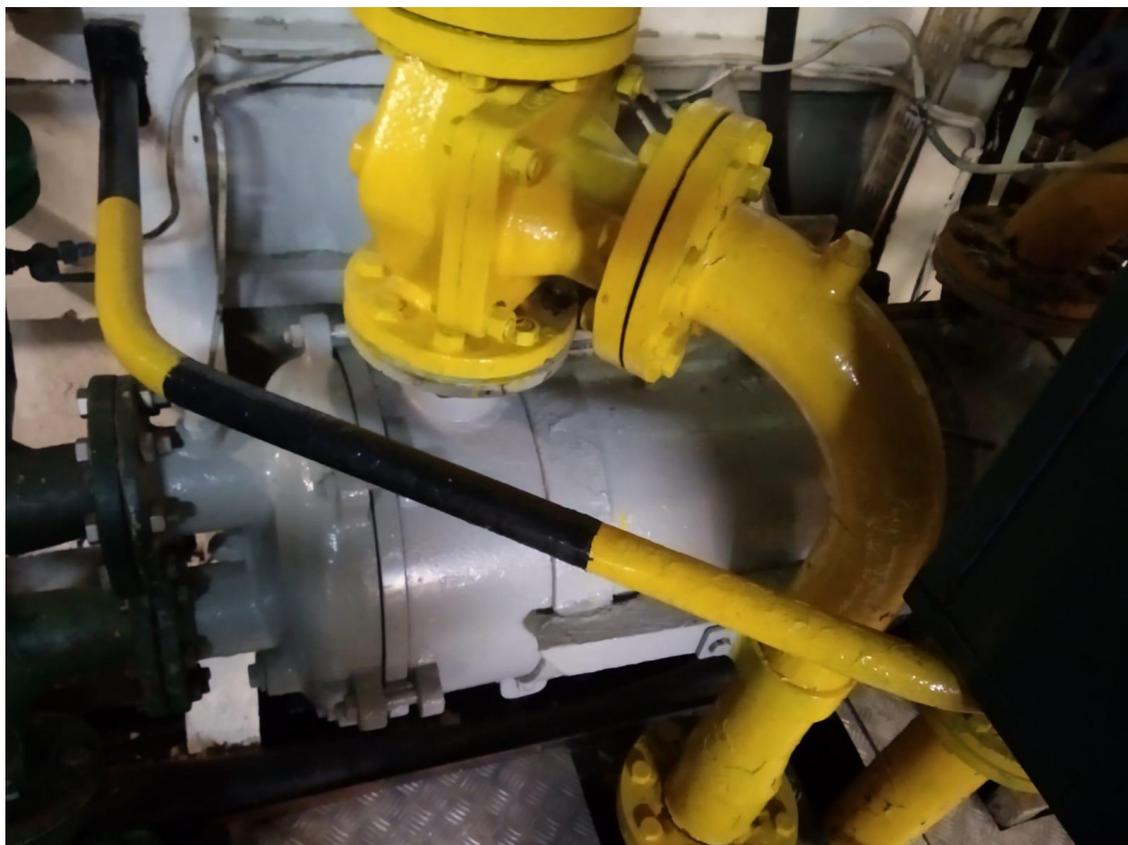
### 3.2.7 Servicio de lubricación [46]

Los principales cometidos de este servicio son: lubricar y refrigerar con aceite el motor principal, el reductor asociado al eje, y el motor del grupo electrógeno; y el relleno de los cárteres de los motores y del reductor, permitiendo a su vez el trasiego desde estos a los tanques de aceite usado.

Una electrobomba de prelubricación se encarga de la lubricación previa del motor, aspirando aceite del cárter, y llevándolo al circuito de aceite del mecanismo. Su principal cometido es producir una presión antes del arrancado del motor. Tras finalizar el arranque, esta bomba se desconecta y entran en funcionamiento las 4 bombas de aceite acopladas que lleva el motor. El motor principal cuenta con dos circuitos de este servicio, uno de lubricación del mecanismo de accionamiento, y otro de refrigeración de pistones. Para controlar la temperatura del aceite el sistema cuenta con una válvula termostática que deja pasar el enfriador cuando es superada la permitida de trabajo.

La lubricación del reductor es completamente autónoma, llevando una bomba de lubricación incorporada, que aspira del cárter del reductor y lo descarga a un enfriador a través de un filtro. Además cuenta con una bomba de reserva para casos de avería y prelubricación.

El grupo electrógeno también cuenta con un sistema autónomo, con una bomba que aspira del cárter y descarga a todos los puntos de engrase del motor, pasando previamente por un enfriador, que es de agua dulce.

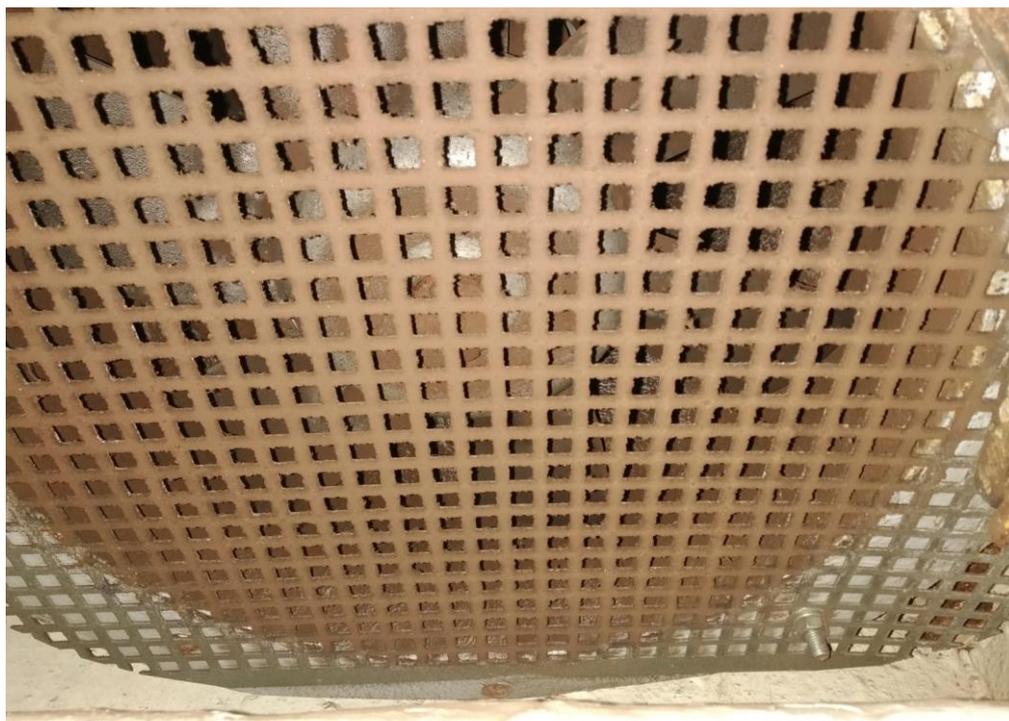


**Figura 3-18** Enfriador del aceite de lubricación. Elaboración propia

### 3.2.8 Servicio de ventilación [46]

Las cámaras donde se encuentra ubicada la mayoría de la maquinaria pesada del buque, sufren un aumento de temperatura consecuente al trabajo de los equipos y sistemas, así como posibles fugas de gases que, en caso de acumularse, convierten la atmósfera interna en irrespirable. Es por ello que las cámaras de máquinas tienen la necesidad de un sistema de ventilación que permita el refresco del aire interno.

Para ello cuenta con dos ventiladores en la cámara de máquinas principal, y dos en la de auxiliares los cuales realizan esta función, mediante un conducto directo de aspiración exterior que va a cada turbosoplante principal. Los de la cámara principal, tienen una capacidad de 12000 m<sup>3</sup>/h cada uno, y los de la cámara de auxiliares, de 2000 m<sup>3</sup>/h.



**Figura 3-19** Uno de los ventiladores pertenecientes al servicio de ventilación. *Elaboración propia*

### 3.2.9 Servicio de agua dulce (potabilizadora) VULPAC [47]

La función de este servicio es obtener agua dulce a partir del agua del mar mediante su evaporación y la posterior condensación del vapor obtenido. La aportación del calor necesario para la evaporación se realiza a través del agua de refrigeración del motor a su salida, con la temperatura ganada en el intercambio de calor, o mediante vapor procedente de una caldera auxiliar. Para que esta evaporación se alcance a una temperatura de aproximadamente 45° C, es necesario provocar un vacío del orden del 90% en el interior del generador. Ello se consigue mediante la extracción de aire realizada por un eyector.

El vapor producido en el cuerpo inferior del generador pasa a través del separador de gotas a la sección condensadora constituida por un serpentín refrigerado por agua salada. El agua condensada recogida en la caja receptora es aspirada por la bomba de agua dulce e impulsada al circuito de utilización.

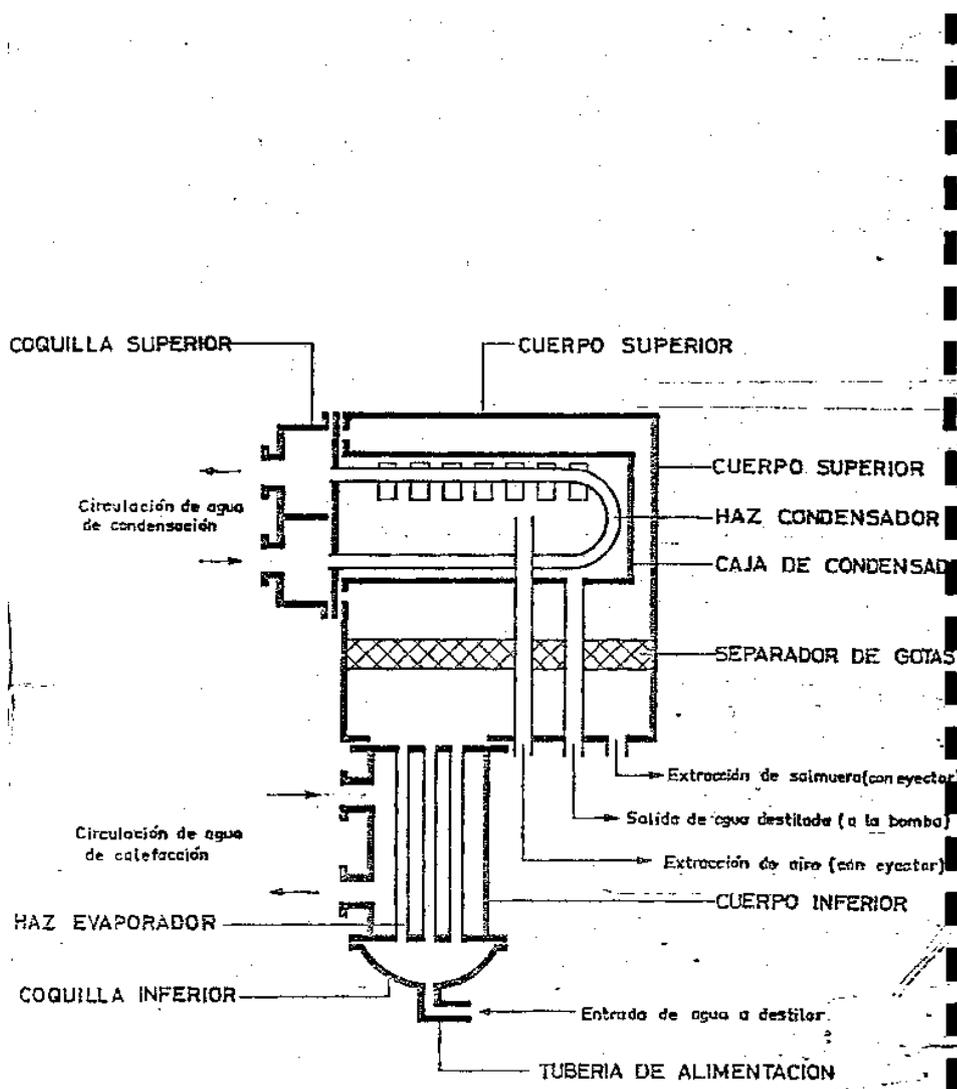


Figura 3-20 Principio de funcionamiento de potabilización [47]

El salinómetro instalado en la tubería de salida de agua destilada controla la salinidad del agua producida, actuando sobre una electroválvula para desviar el agua generada a la sentina si su salinidad es superior a 4 ppm<sup>16</sup> accionando en ese caso una alarma óptica y acústica.

La concentración en el agua salada de alimentación de la sección evaporadora se controla mediante el adecuado equilibrio entre el caudal de alimentación y la extracción de salmuera provocada por el eyector. Esta regulación se realiza durante la puesta en marcha inicial del generador sin que sea necesario volver a actuar sobre ella posteriormente.

<sup>16</sup> Partes por millón

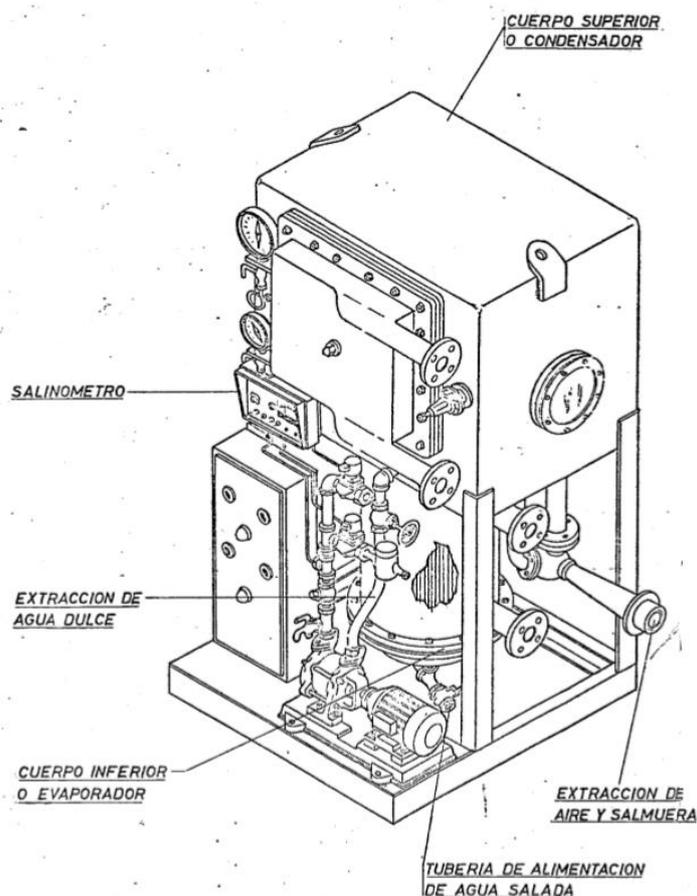


Figura 3-21 Generador VULPAC [47]

El funcionamiento del generador "VULPAC" es totalmente automático, y presentan la siguiente disposición:

1. Cuerpo inferior, en cuyo interior va colocado un haz de tubos rectos de latón-aluminio estirados sin soldadura a través de los cuales circula el agua de refrigeración del motor y cuya superficie de transmisión asegura la aportación de las calorías necesarias para la evaporación del agua salada.
2. Cuerpo superior, en cuyo interior van alojados:
  - a. Serpentín de tubos de latón-aluminio, cuya superficie de transmisión asegura la condensación del vapor de agua producido.
  - b. -Separador deshumidificador de malla de acero inoxidable para la separación de las pequeñas gotas arrastradas por el vapor de agua.
  - c. Caja receptora del agua condensada, en acero inoxidable.
3. Alimentación de agua salada:
  - a. Sistema automático de regulación del caudal (filtro, diafragma y válvula reguladora).
4. Sistema de vacío y de extracción de salmuera.
5. Sistema de extracción de agua dulce:
  - a. Bomba de agua dulce en fundición y bronce (eje en acero inoxidable).
  - b. Salinómetro con electrodos y alarma acústica y luminosa.
  - c. Válvulas solenoide para agua destilada y desvío de agua contaminada a sentina.
6. Válvulas y accesorios:
  - a. Válvulas varias de cierre, retención y toma de muestras.
  - b. Manómetro en impulsión de la bomba de extracción de agua destilada.
  - c. Contador del agua destilada producida.

- d. Termómetros para lectura de temperaturas de entrada y salida de agua de refrigeración y condensación.
  - e. Manómetro analógico.
  - f. Válvula de seguridad.
7. Panel eléctrico:
- a. Interruptor general.
  - b. Arrancador de la bomba de extracción de agua destilada.
  - c. Arrancador de la bomba de extracción de condensado (calentamiento por vapor).
  - d. Arrancador de la bomba de eyectores.

### 3.3 Propuestas de mejora

En el presente apartado se describen una serie de líneas de actuación que de cara a la mejora de la eficiencia y operatividad del conjunto de sistemas que intervienen en los servicios de propulsión y auxiliares descritos anteriormente.

Nos referiremos inicialmente a algunas medidas ya efectuadas (que mencionaremos brevemente), centrándonos en aquellas propuestas que respondan a las demandas actuales de la unidad y que han sido remitidas directamente desde la misma, entre ellas:

- Mejora en la maniobra, sobre todo en el tiempo de respuesta de la inversión del sentido de la marcha.
- Actuaciones para la mejora de la disponibilidad de agua dulce (planta potabilizadora fuera de servicio).
- Actuaciones en la cadena logística de suministro (dada la antigüedad de la plataforma, actualmente algunos equipos, como el servicio de aire a presión no disponen de repuestos).

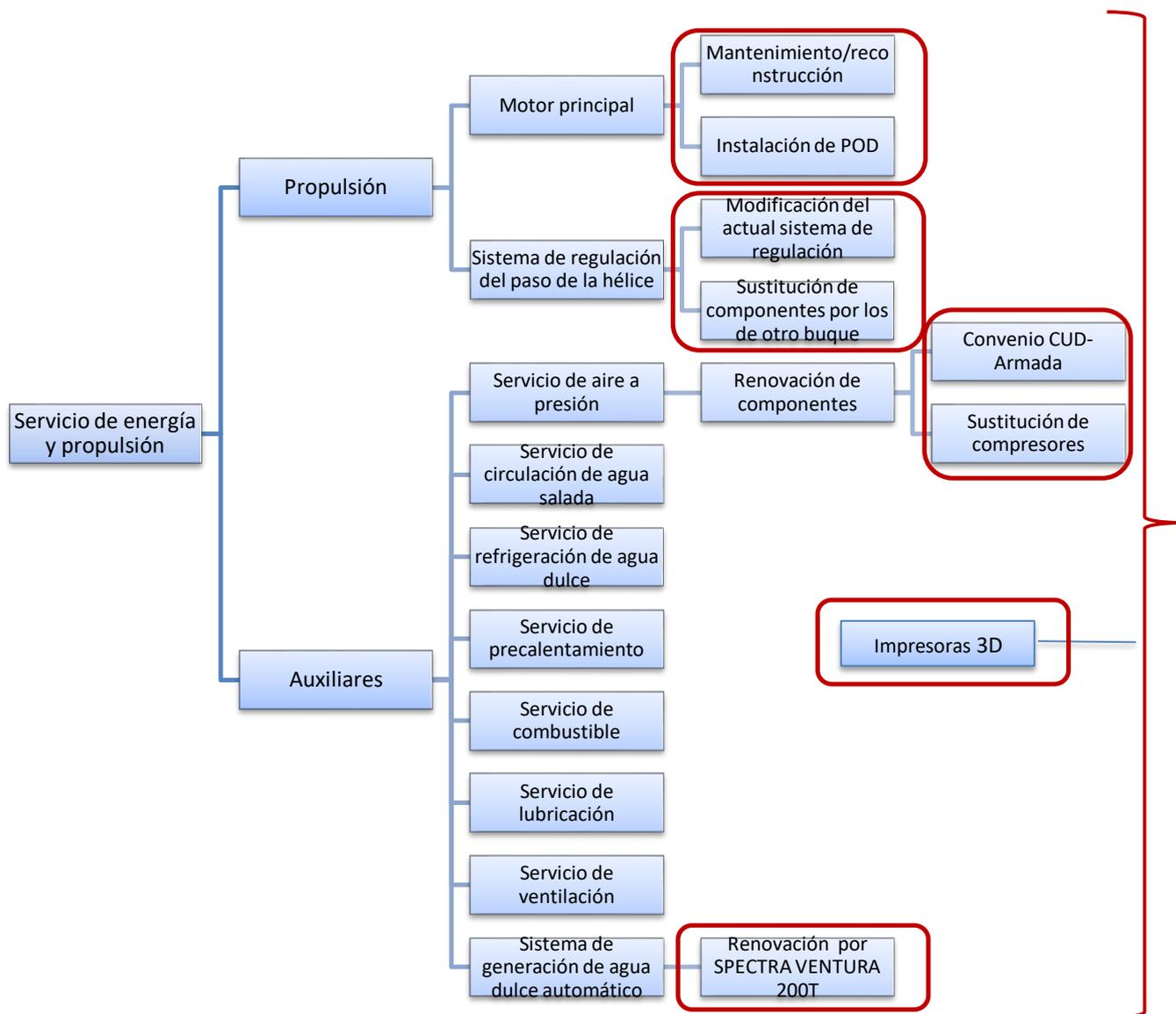


Figura 3-22 Propuestas de mejora en el ámbito del patrullero. Elaboración propia

### 3.3.1 Mantenimiento/reconstrucción del motor

En los años 2017-2018 se efectuó un mantenimiento exhaustivo del motor diésel de propulsión, llevándose a cabo una reconstrucción/sustitución de algunos de los elementos de desgaste más habituales que lo integran. Este mantenimiento fue realizado por la empresa SERFRIME/NAVANTIA, con el motivo de cumplir más de 7000 horas de funcionamiento. El desmontaje comenzó en junio de 2017, y las sustituciones se efectuaron mediante piezas procedentes del patrullero “Vigía” (clase Serviola).

Se llevaron a cabo las siguientes actuaciones:

- Inspecciones diarias sobre el motor.
- Operaciones de mantenimiento de motores inactivos.
- Accionado de palanca del filtro de aceite.
- Desagüe del sistema de aire comprimido.
- Toma de muestras de combustible.
- Toma de 2 muestras de agua.
- Toma de 2 muestras de aceite.

- Control de ruidos en el turbosobrealimentador.´
- Verificación de las válvulas del sistema de admisión de aire.
- Sustitución del aceite motor.
- Engrase de los puntos de engrase.
- Control visual de la alimentación del aceite.
- Verificar holgura de las válvulas.
- Limpieza de las rejillas del filtro de aceite.
- Vaciado de los filtros de combustible.
- Limpieza del filtro previo de combustible.
- Verificado de la funcionalidad del tanque de compensación.´
- Limpieza del sistema de aire de arranque.
- Cambio de elementos filtrantes del filtro de derivación.
- Control del acoplamiento elástico.
- Registro del envío de modulares.
- Comprobación de equipos de vigilancia y alarma.
- Realización de acopio del material.
- Limpieza del desagüe de la tubería de alimentación.
- Sustitución de inyectores.
- Control de la configuración.
- Control del tren de engranaje.
- Comprobación del cigüeñal y biela.
- Sustitución de las tapas del cárter.
- Sustitución de culatas.
- Control del desgaste de taques de las válvulas.
- Sustitución de los turbosobrealimentadores.
- Sustitución de las tuberías de admisión.
- Sustitución de los tubos de escape del motor.
- Sustitución del enfriador de aire.
- Sustitución de la consola del enfriador de aire.
- Sustitución y ajuste de las bombas de inyección.
- Reacondicionamiento de la bomba de inyección.
- Limpieza del depósito diario de combustible.
- Sustitución de bomba de agua dulce.
- Sustitución de bomba de agua salada.
- Sustitución del enfriador de agua.
- Desmontaje del tanque de compensación de agua.
- Sustitución del aceite del refrigerador de agua.
- Reacondicionado del filtro centrífugo.
- Sustitución de válvulas de arranque.
- Control de la alineación del motor.
- Cambio de elementos en termostáticas.
- Sustitución de la bomba nodriza de combustible.
- Sustitución de las válvulas de cierre y solenoide.
- Sustitución de la tubería de inyección.
- Sustitución del filtro del aceite del motor.
- Reacondicionamiento del precalentador.
- Reacondicionamiento de tapas del cárter.
- Reacondicionamiento del distribuidor del aire de arranque.

- Reacondicionamiento de las válvulas reguladoras de presión.
- Desmontaje de la válvula reductora de presión del circuito de aceite.
- Medición de huelgos de los cojinetes del eje de levas.
- Revisión de las conexiones flexibles.
- Control visual de las camisas.
- Reacondicionamiento de la bandeja de aceite.
- Reacondicionamiento de la varilla de aceite.
- Reacondicionamiento y montaje de los conductos de alimentación.
- Sustitución de la válvula de combustible.
- Reacondicionamiento de las camisas del cilindro.
- Sustitución del cigüeñal.
- Reacondicionamiento de las tuberías de agua salada.
- Reacondicionamiento del bastidor.
- Reacondicionamiento de las tuberías de aire de arranque.
- Reacondicionamiento del filtro doble de combustible.
- Reacondicionamiento de las cajas de protección del combustible.
- Reacondicionamiento de las consolas de la bomba de inyección.
- Reacondicionamiento de la brida del cigüeñal.
- Reacondicionamiento del accionamiento de la bomba de inyección.
- Reacondicionamiento del varillaje.
- Limpieza de las tapas de las galerías del eje de levas.
- Reacondicionamiento del amortiguador de vibraciones.
- Sustitución de las bombas de aceite del motor.
- Desmontaje del accionamiento de la bomba de aceite del motor.
- Desmontaje del sistema de aspiración del bloque motor.
- Reacondicionamiento del montaje de conductos de aceite motor.
- Reacondicionamiento del accionamiento de la vigilancia de revoluciones.
- Sustitución de taqués de admisión y escape.
- Reacondicionamiento del accionamiento regulador del motor.
- Sustitución del eje de levas.
- Limpieza y pintado de los soportes de los tacos elásticos del motor.
- Reacondicionamiento de la tapa de cierre del acoplamiento.
- Sustitución de bielas.
- Reacondicionamiento de la refrigeración de los pistones.
- Reacondicionamiento del actuador.
- Comprobación de los espárragos de fijación.
- Limpieza del flujo de cataratas de los balancines.
- Sustitución de la bomba de engranajes de prelubricación.
- Reacondicionamiento de las tuberías de agua dulce.
- Sustitución de tornillería.
- Reacondicionamiento del filtro fino de aceite.
- Sustitución de los tacos de soporte elásticos del motor.
- Pintado del motor.

Las operaciones comenzaron en mayo del 2017, y en junio del mismo año se detecta un fallo en la alimentación de la tarjeta tacométrica. El día siguiente se prueba el motor con diferentes cambios de régimen, pudiendo observarse el mismo fallo que el día anterior, sin llegar a mantenerse de forma continua el funcionamiento de este. En el día 5 de julio se efectúa la primera prueba del motor en funcionamiento, durante un tiempo total de 3 horas, siguiendo la secuencia:

1. 700 r.p.m. desembragado.
2. 750 r.p.m. embragado.
3. Atrás a 1000 r.p.m.
4. Marcha en avante: 800 r.p.m./950 r.p.m./1000 r.p.m./1200 r.p.m./1400 r.p.m.

Pero se detecta de nuevo el mismo fallo en la tarjeta, efectuándose un mantenimiento correctivo a esta. Una vez realizado, se pone a funcionar el motor durante 70 horas sin ningún fallo. El funcionamiento del motor continúa sin novedad aumentando las horas, hasta que cuando lleva 535 se repara el relé de arranque, charnelas y válvulas de mando de aire para el regulador y el puente de mando, efectuándose la instalación del motor en la cámara de máquinas, en mayo del 2018. El 26 de junio del mismo año se realiza un cambio de aceite por contaminación de agua y gasoil en el cárter, y se meten en el tanque de almacén de aceite 1000 litros de SAE-40 (MIL-L-9000H).

### 3.3.2 Mejoras en el gobierno del buque

De acuerdo con las experiencias del personal a bordo en las navegaciones, el tiempo de reacción en el patrullero varía a la hora de ejecutar diferentes órdenes al propulsor, ya que se trata de un sistema neumático como se ha visto en los apartados previos. Esto supone un problema, dado que el tiempo de reacción del buque es vital que sea cuanto menor posible. Dadas las condiciones del propio buque, no muy maniobrable, al que además hay que sumarle el tiempo de reacción del propulsor a las órdenes. Esto sucede al no contar con una hélice de paso controlable invertible, ya que con la actual se puede regular el paso en una única dirección de avance, por lo tanto consiguiendo mayor ángulo de ataque en el movimiento de avante o en el ciar. De este modo hay que invertir el sentido de giro del eje para hacer lo mismo con la velocidad propulsada por el sistema de propulsión. El motor no se puede pasar de avante a atrás hasta que no se encuentra por debajo de las 30 r.p.m. Esto en las revoluciones del eje, que son 220 r.p.m. hace que se pueda alternar, entre las posiciones I, 0 y III en la Figura 3-12.

Con mediciones efectuadas por la dotación, se ha podido determinar que el tiempo desde que el motor cambia desde la orden de avante a la de atrás, tarda un mínimo de 10 segundos y un máximo de 15. Estos tiempos son muy altos tratándose de maniobras de entrada en puerto, teniendo en cuenta que se trata de un buque de dimensiones reducidas, y contar con una gran potencia en el motor propulsor para su desplazamiento.

La maniobra de un buque depende de numerosas variables, tal y como se puede observar en la Figura 3-23. Del esquema se puede inferir que dentro del sistema de propulsión, la velocidad de reacción de la maquinaria principal viene dada por el tipo de máquina rotativa, y la potencia. Dentro de los diferentes tipos de máquinas rotativas se encuentran los explicados en el apartado **¡Error! No se encuentra el rigen de la referencia.**, se encuentra la propulsión azimutal, que hace uso de un motor eléctrico. La adopción de esta configuración es muy interesante ya que este sistema no tiene pérdidas por la reducción del giro del eje, al ser este propulsado directamente por el motor, y transmitir el giro a la hélice.

Además, la maniobra también viene influida por la capacidad de acción de la hélice sobre el agua. Esta acción sobre el agua va a venir dada por la forma de la hélice (según el tipo), el número de ejes, puesto que mayor superficie de contacto con el agua implica mayor empuje, y el sistema de regulación del paso con el que cuente, en caso de tener. En el Tabarca se cuenta con un sistema de regulación que es una potencial fuente de mejora, por lo que aquí se encuentra otra línea de acción posible.

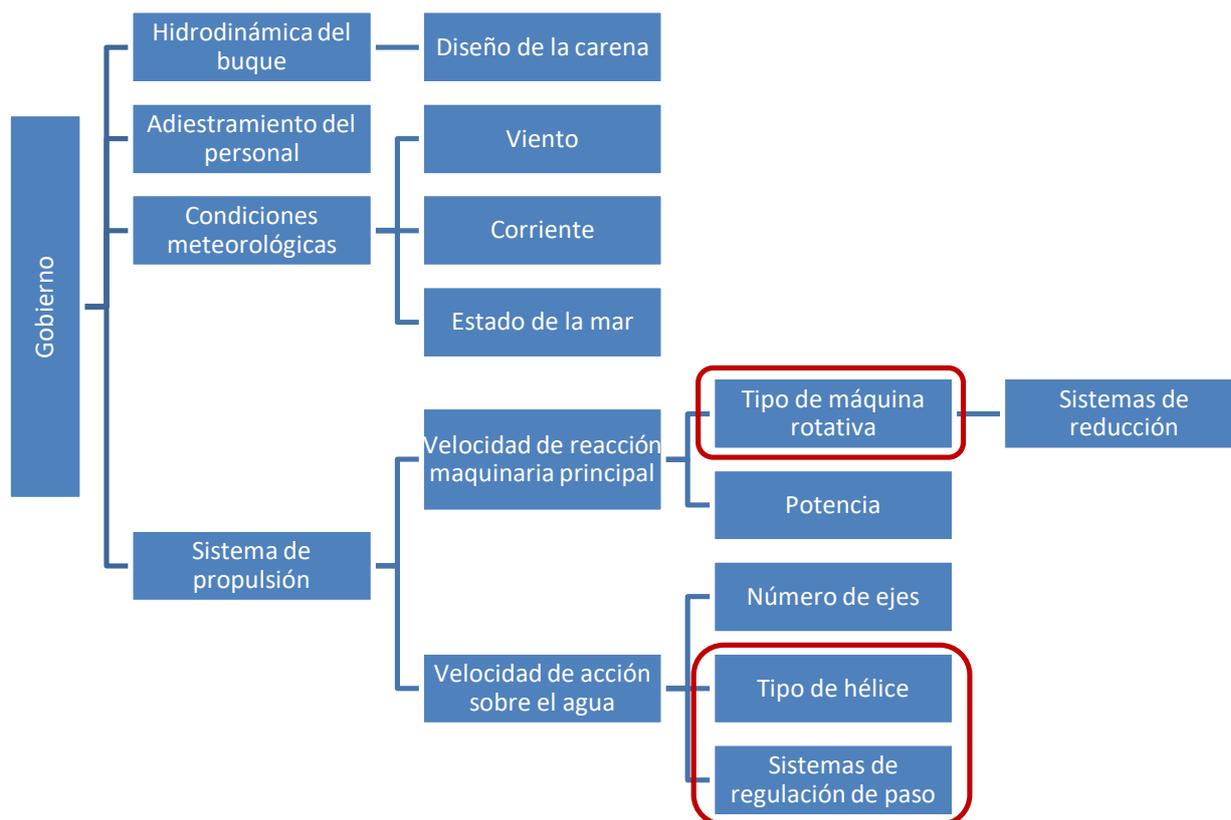
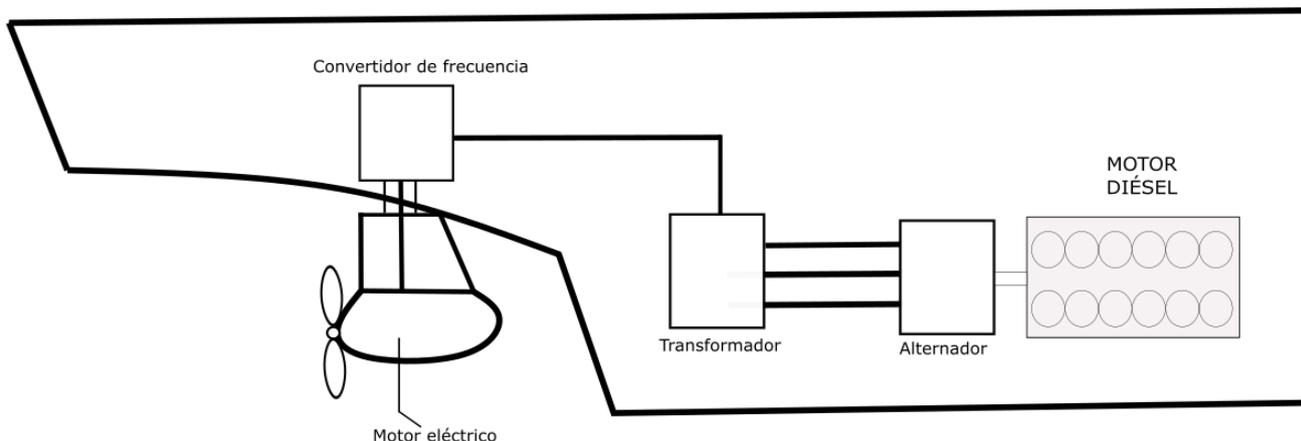


Figura 3-23 Factores que influyen en la maniobra. Elaboración propia a partir de [48]

### 3.3.2.1 Instalación de un POD como método principal de propulsión

En la actualidad la tendencia de la propulsión naval es la electrificación de esta, ya que la eficiencia de este tipo de propulsión es mayor que la de motores diésel convencionales, y se consigue un par constante desde las bajas a las altas revoluciones. Es por ello que otra posible mejora es el estudio básico de la instalación de un pod en el patrullero P28 Tabarca. Esto puede hacerse efectuando una modificación en el motor, pasando a ser utilizado como generador de energía eléctrica para el pod. Con la eliminación del eje de bocina y de transmisión (2.3.5.2), se logra espacio para instalar un alternador a la salida del motor de modo que el pod consiga la energía del motor principal, y efectuar la instalación a popa del buque.

La energía eléctrica que sale de un alternador por un motor rotativo es alterna, y puesto que el motor eléctrico del pod funciona con corriente continua, hará falta a su vez un transformador/rectificador a corriente continua tras el alternador. Como último elemento para conseguir la adaptación de la corriente eléctrica, será necesario un convertidor de frecuencia que adapte la obtenida previamente a la de trabajo de los componentes del pod es el que regula la velocidad de giro del motor eléctrico.



**Figura 3-24 Esquema básico de instalación de un pod en el Tabarca. Elaboración propia**

Para este tipo de estudio, hay múltiples factores a tener en cuenta [49], de los cuales se deben destacar:

1. La nueva hidrodinámica del casco al añadir un pod, ya que esta se vería modificada, variando de esta forma la maniobrabilidad del buque, teniendo en cuenta el calado, el asiento y la carena del buque.
2. La variación en la estabilidad del buque. La instalación de un alternador, junto con la eliminación del eje y la hélice del buque, van a producir un gran cambio en la distribución de pesos a bordo, lo cual puede afectar a las condiciones de navegación y a la seguridad del buque.
3. Los ángulos máximos de giro del pod, que afectarán a la velocidad de maniobra del buque.
4. La velocidad máxima que va a obtener y la autonomía. Dadas las necesidades de las misiones encomendadas a este buque, no tiene que ser superior a 12 nudos.
5. La resistencia estructural del buque al cambiar los esfuerzos efectuados de la hélice. El caso del buque no está diseñado para soportar esfuerzos en el eje vertical, por lo que se tendrán que efectuar los cálculos pertinentes a las nuevas solicitaciones que sufrirá el buque.
6. La potencia continua aportada por el motor a régimen constante (4000 CV).

Así mismo, cabe destacar que al ser un solo propulsor, se ve necesario que cuente con hélices contra rotativas, para compensar el empuje transversal producido por el giro de una sola hélice en un sentido [14]. En el propulsor inciden además de la fuerza de la masa de agua sobre las palas, como se puede apreciar en la Figura 3-25, el flujo de agua al pasar por la parte superior recorre a una misma velocidad una distancia mayor [50].

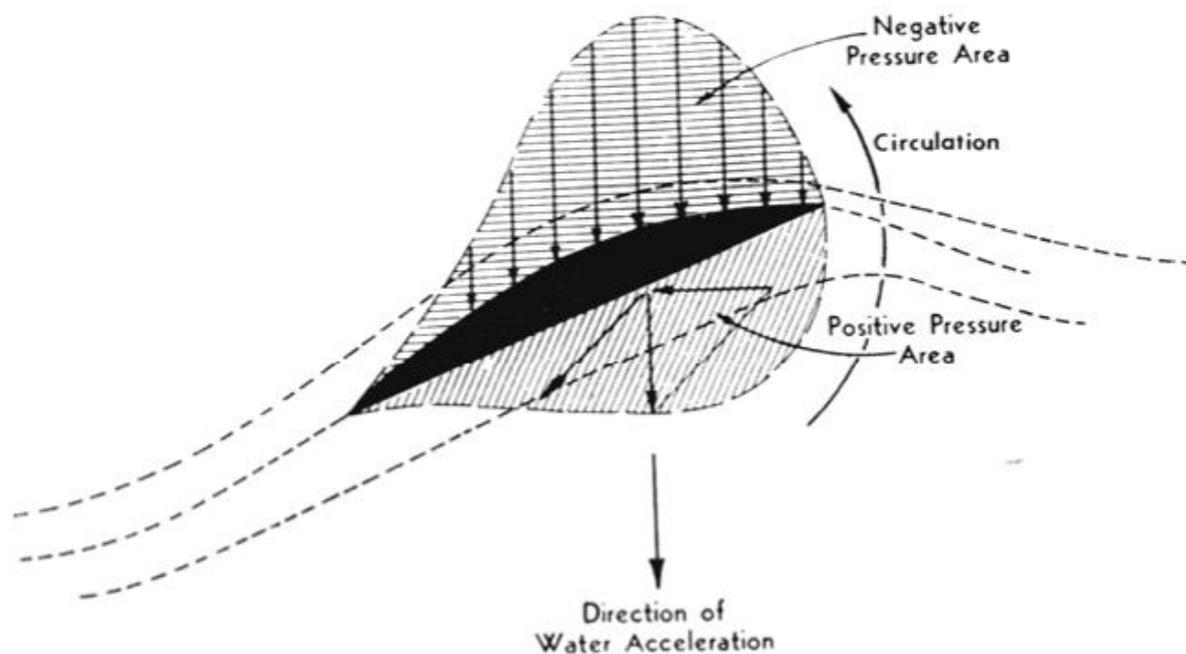


Figura 3-25 Empuje de una hélice con el paso de agua [14]

Esto de acuerdo con la ecuación de Bernoulli sobre el principio de conservación de energía hace que en la parte inferior se produzca una sobrepresión en la pala. Por ello esto se soluciona con una segunda hélice en eje del pod, quedando de modo similar al de la Figura 3-27, y compensando este empuje. Por tanto, el uso de hélices contra rotativas beneficia al buque en términos de maniobrabilidad, así como en unos esfuerzos menores a los que se ven sometidos el buque y el propulsor.

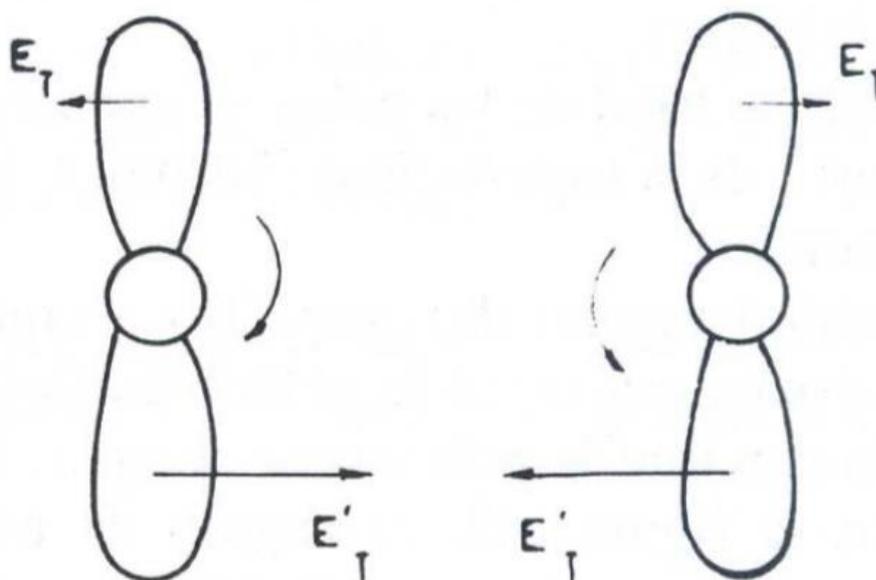


Figura 3-26 Empuje transversal de una hélice según el sentido de giro [51]

Una de las posibilidades que se encuentran en el mercado hoy en día es el modelo CONTAZ 15 de KONGSBERG, con las siguientes características básicas, cumpliendo de modo preliminar los requisitos de potencia y de hélice contra rotativa. Sus principales características son:

- Máxima potencia de entrada: 2200 KW.
- Peso en seco: 32 toneladas.
- Diámetro máximo de hélice: 3.2 metros.



**Figura 3-27 Pod con hélices contra rotativas [52]**

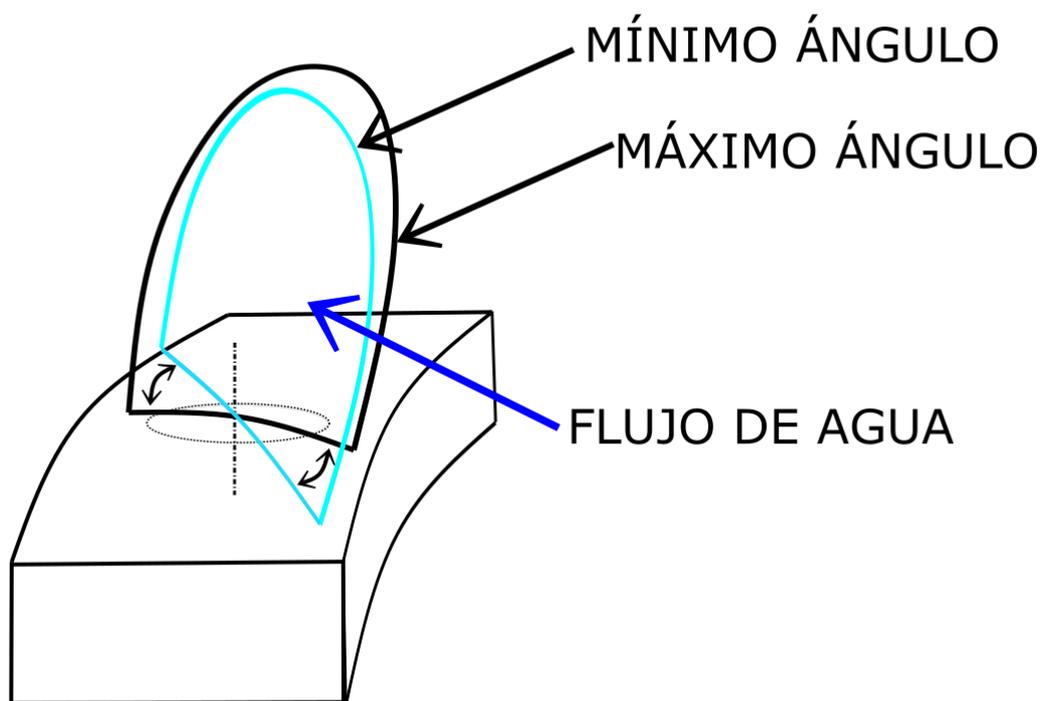
### 3.3.2.2 Cambio de la regulación del paso de la hélice

Con el objetivo de producir el mismo efecto en las maniobras de marcha atrás que adelante, se puede implementar dos soluciones, ambas partiendo de la base del sistema hidráulico y eléctrico con el que ya cuenta el buque para minimizar costes de la instalación:



**Figura 3-28 Elementos de potencial modificación en la regulación del paso. Elaboración propia**

1. El estudio de la modificación de la cabeza de la hélice actual y sus palas, ya que el sistema de giro de ángulo de la hélice, es el que impide el mayor giro de esta. Para ello el cilindro anular se desplaza axialmente en el recorrido de la cámara, que va llenándose o vaciándose de aceite, según el movimiento de la hélice.



**Figura 3-29 Esquema del recorrido de la pala de la hélice en la configuración actual. Elaboración propia**

Por lo tanto la limitación del giro de la hélice viene dado por la longitud de este recorrido que hace el cilindro. Una modificación en el tamaño de esta cámara, permitiría un mayor rango de movimiento, pero no conseguiría el mismo ángulo de ataque de la hélice para adelante o atrás. Por ello también habría que modificar la ubicación de las ranuras guías que están mecanizadas en la base de la pala, de modo que se conseguiría un mayor rango de giro de las hélices, modificando su posición inicial también. Pero de nuevo hay que efectuar los cálculos pertinentes para ver si se conseguiría el mismo ángulo de ataque máximo, y en caso de no conseguirlo, si se aproximase al actual se podrían conseguir unas velocidades máximas ligeramente inferiores a las actuales, si bien al tratarse de un patrullero de vigilancia costera, no tiene necesidad de grandes velocidades de maniobra. Debido al cambio en los ángulos de entrada del agua a las palas de la hélice, será necesario dimensionar unas nuevas para mejorar la eficiencia del conjunto. Dado que se trata de un estudio básico, no se profundiza más en la propuesta que se presenta.

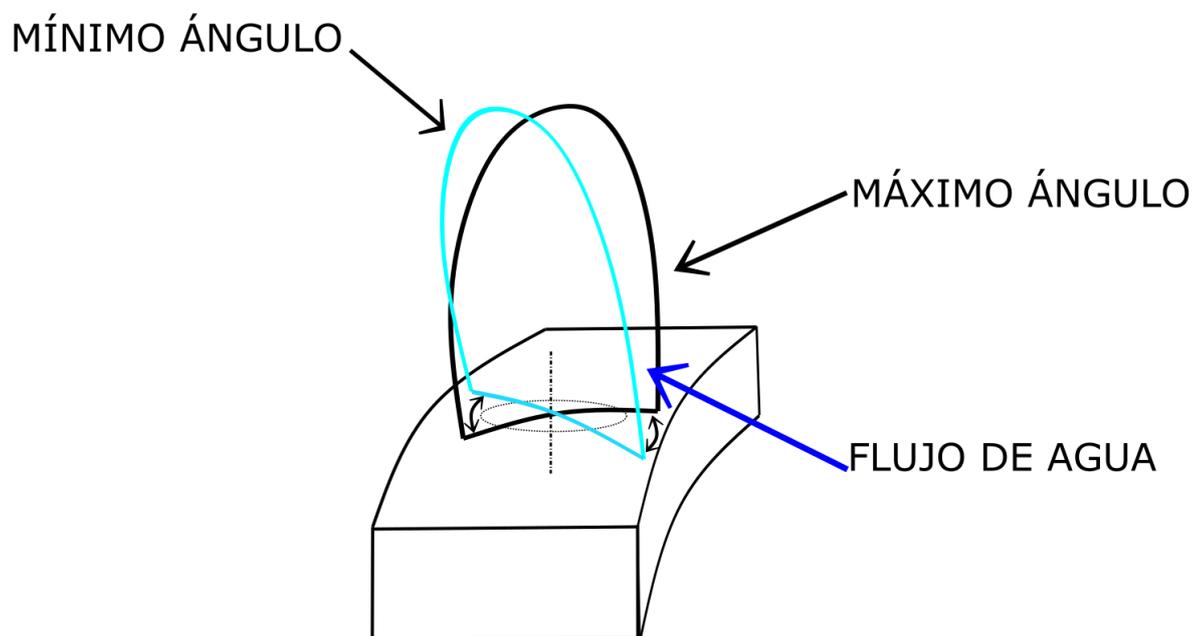


Figura 3-30 Esquema del recorrido de la hélice en la propuesta de estudio. Elaboración propia

2. El estudio para adoptar la configuración adoptada en los patrulleros de la Clase Chilreu, que cuentan con una hélice de paso controlable invertible. La solución sería la instalación completa de la hélice KaMeWa/BALIÑO tipo KS [53]. Esta cuenta con las palas empernadas al núcleo, y las partes interiores están protegidas por aceite que circula por gravedad, al igual que en la del patrullero Tabarca, pero circula a través de la bocina y penetra al núcleo por un orificio en la brida del eje de empuje. Esto se trata del mayor reto de implementación de esta solución, ya que el sistema hidráulico del Tabarca es externo al eje de propulsión, mientras que el de los patrulleros de Clase Chilreu va por su interior.



Por ello para permitir adaptar este sistema al patrullero Tabarca, aparecen cuatro retos:

- La adaptación de la entrada de aceite al núcleo nuevo, ya que en el de los buques de la Clase Anaga penetra a través de 3 tubos en el retén rotativo. 4
- El acoplamiento de la cabeza de la hélice KaMeWa/BALIÑO al eje del Tabarca.
- El diseño adaptado de las palas de las hélices para el Tabarca.
- La integración del esquema eléctrico actual en la cabeza de la hélice.

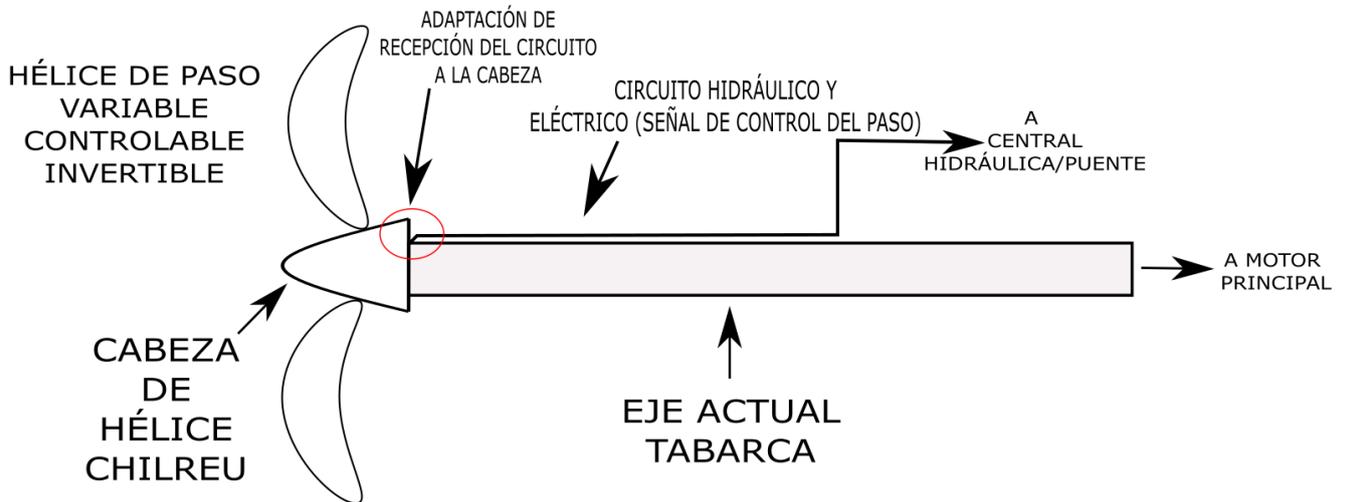


Figura 3-33 Esquema básico de la integración de la cabeza de hélice KaMeWa en eje del Tabarca. Elaboración propia

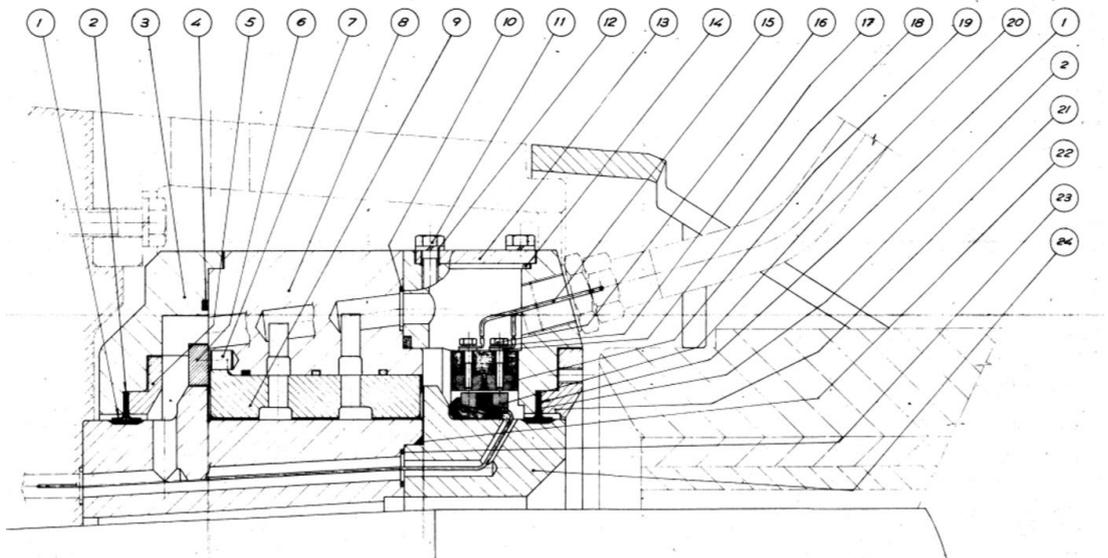


Figura 3-34 Plano de la recepción del circuito hidráulico en el retén rotativo [54]

Número	Elemento
1	Juntas de estanqueidad
2	Junta elastomeica
3, 5	Tapeta posterior

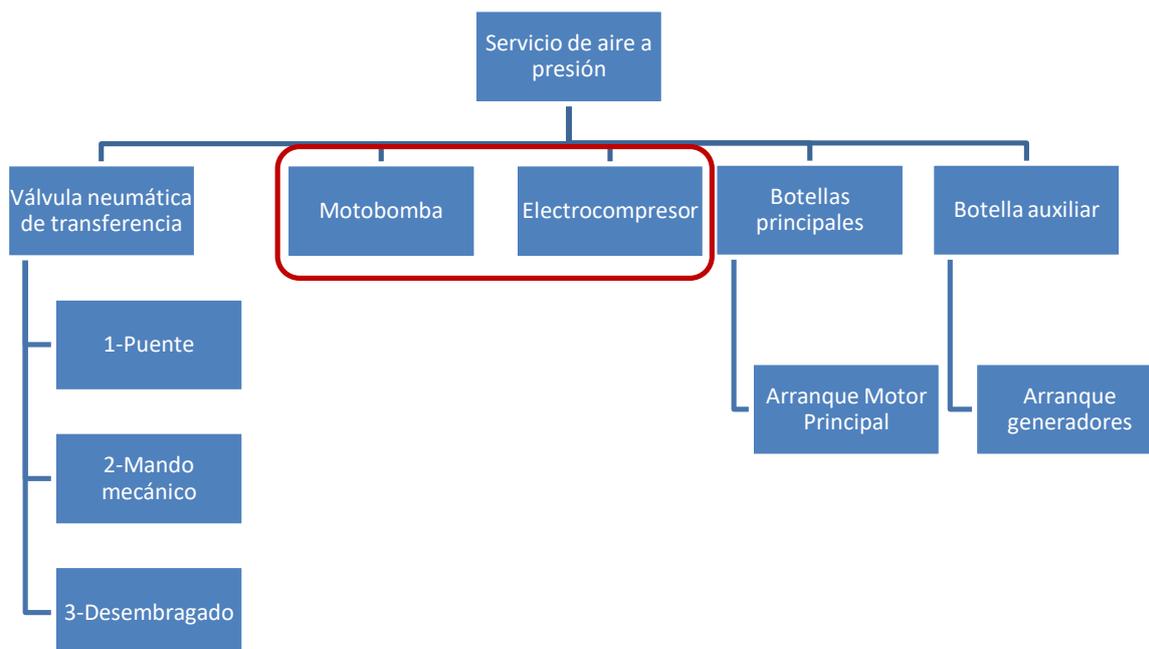
4, 10, 14, 22, 23	Junta tórica
6	Anilla de retención
7	Pasador cilíndrico
8	Cuerpo exterior
9	Casquillo de cierre
11	Tornillo hexagonal
12	Arandela Grower
13	Tapa de registro
15	Conductor eléctrico
16	Tornillo hexagonal
17	Arandela abanico
18	Arandela plana
19	Aro portaescobillas
20	Anillos de contacto
21	Tapeta anterior
24	Anillo interior

**Tabla 3-2 Elementos de la recepción del circuito hidráulico en el retén rotativo**

### *3.3.3 Renovación de componentes del circuito de aire a presión*

Tal y como se ha sido descrito en el punto 423.2.2, el sistema cuenta con una motobomba y un electrocompresor, los cuales han sido últimamente objeto de reparaciones debidas a la rotura de algunas piezas, como juntas tóricas o componentes internos.

Dada la edad de estos elementos, en el proceso de reparación ha sido complicado cuanto menos encontrar repuestos de estos componentes, debido a que ya no son producidos en el mercado actual. La realidad ha sido que, por ejemplo, una junta tórica tuvo que ser modelada e impresa por el Centro Universitario de la Defensa de Marín, en colaboración con el patrullero, haciendo uso de una de las impresoras 3D con las que cuentan instalaciones y esto supone que cualquier reparación de estos sistemas constituya un reto.



**Figura 3-35 Elementos del circuito de aire a presión. Elaboración propia**

### 3.3.3.1 Actuaciones que se plantean

1. La formalización de un acuerdo entre el Arsenal de Ferrol, del cual depende logísticamente el patrullero, con el Centro Universitario de la Defensa, con el objetivo de lograr un suministro mediante una cadena logística de las piezas, para cubrir las necesidades básicas de mantenimiento de estos sistemas. Si bien, con los recursos disponibles del CUD no podrían cubrirse todas ellas, ya que en un momento dado podría necesitarse de la impresión de una pieza que, tanto por dificultad de modelado, como de necesidad de material, no fuese posible imprimir.
2. La actualización de estos sistemas por unos más modernos, que cuenten con producción actual de repuestos, y que estén en la cadena logística de algún buque de la Armada. Para ello hace falta comprobar la compatibilidad de potencia del sistema, por lo que será necesario llevar a cabo un estudio básico con las alternativas para la sustitución de la motobomba y el electrocompresor. En caso de no haber compatibilidad se pueden incorporar modelos con producción actual. Pero dada la complejidad de dicho estudio deberá ser objeto de investigación en mayor profundidad en otro proyecto.

### 3.3.4 *Renovación del sistema de potabilización*

El sistema VULPAC fue dada de baja en el año 2007 debido a la falta de uso de esta, si bien su correcto funcionamiento permite un aumento de tiempo del buque en navegación. Dadas las características del buque, y las misiones y tareas asignadas a este, así como las operaciones que efectúa, el patrullero no opera nunca a grandes distancias de costa, por lo que se hace patente la falta de necesidad de planta osmotizadora para este buque, ya que el agua dulce potable a bordo, se lleva embotellada.

La renovación de la planta osmotizadora por lo tanto, aumentaría esta capacidad, pero al ser contactada la empresa “Factorías Vulcano”, fabricantes de origen de este sistema, no fue posible obtener un presupuesto aproximado del sistema y de su instalación, no disponían de personal adecuado para la elaboración de este, por encontrarse la empresa en fase de liquidación por cierre.

Pero los sistemas automáticos de potabilización de agua no son exclusivos de este patrullero, ya que un gran número de unidades cuenta con ellos, con la cadena logística de repuestos y recambios que ello conlleva. Por ello fue contactado el ramo de electricidad del Arsenal de Ferrol, donde se efectúan los mantenimientos del patrullero. Como resultado fue determinado que no se encuentran disponibles en

ningún Arsenal recambios ni repuestos que permitan la renovación del sistema automático de tratamiento de agua dulce.

Por ello la única opción es la instalación de un sistema nuevo, con las capacidades que permitía la previa, como mínimo, que es de 2500 m<sup>3</sup> de agua dulce por cada día en funcionamiento, que son 28.9 l/h.

### 3.3.4.1 Solución propuesta

Por lo tanto la solución a este problema consistiría en la instalación de la potabilizadora SPECTRA VENTURA 200T WATERMAKER, cuyas características principales son las siguientes:

- Capacidad: 31 l/h
- Requerimientos energéticos: 12 V (DC)/ 10 A; 4 W/l
- Peso: 27.7 kg
- Controles analógicos
- Diseño compacto



Figura 3-36 Elementos de la potabilizadora VENTURA WATERMAKER [55]

Tratándose de una potabilizadora comercial, actualmente en producción, se asegura un suministro adecuado de los componentes que sean necesarios, pudiendo alargar la vida útil en gran medida de esta. Ha sido seleccionada debido al escaso peso, dimensiones reducidas, requerimientos energéticos bajos, y la capacidad superior al sistema VULPAC.

Dadas las medidas y pesos del sistema, se puede instalar a bordo sin grandes complicaciones, siendo su ubicación más favorable, la cámara de máquinas, por la proximidad al resto de equipos y servicios principales, para que sea más fácil efectuarse los mantenimientos que requiera. Pero previa a la instalación conviene efectuar un cálculo de la variación de la distribución de pesos a bordo, ya que la retirada del sistema previo y la instalación del nuevo, supone una variación negativa de 972.3 kg, por lo que la estabilidad se ve afectada.

### *3.3.5 Instalación de impresoras 3D a bordo*

A la vista de las últimas innovaciones implementadas en los futuros buques de la Armada, como la F-110 [56], otra posible mejora es la instalación a bordo de una impresora 3D. Esto soliviantaría el problema actual de la dificultad existente a la hora de encontrar repuestos de diferentes equipos y sistemas que, dada su antigüedad, han sido descatalogados y no tienen repuestos o recambios en producción. Con una impresora 3D a bordo se puede conseguir un aumento de la operatividad del buque, evitando tener que entrar a puerto al romper alguna pieza que pueda ser fabricada mediante estas técnicas [57].

En la actualidad se puede encontrar la empresa francesa Lab-R.E.V. que en el 2015 efectuó una navegación de unas 6200 millas náuticas, produciendo los recambios que iban necesitando exclusivamente con técnicas de impresión 3D [58] a bordo. Además la US Navy la ha incorporado en alguna de sus unidades, como en el portaviones USS John C. Stennis o el USS Harry S. Truman.

Sin embargo, la impresión 3D en el entorno marítimo supone un gran reto a la hora de diseñar una máquina que sea capaz de llevar a cabo las impresiones teniendo en cuenta que la plataforma sobre la que se basa está en continuo movimiento, según el estado de la mar.

Además es necesario tener a personal formado con un grado de especialización alto en el conocimiento de impresión en 3D, ya que las piezas a bordo no cuentan con un archivo CAD que pueda servir de base para la impresión.

Es por ello que la propuesta de mejora consiste en el estudio de viabilidad de la instalación de una impresora 3D a bordo, en línea con la solución expuesta en el apartado 3.3.5, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- El diseño de una plataforma estable para una impresora 3D comercial.
- El plan de formación básica del personal necesaria para el diseño de piezas a bordo.
- La técnica de impresión 3D que se adapte mejor a los requerimientos de las piezas que se vayan a imprimir.
- El material suplementario a la impresora y software necesario para llevar a cabo el proceso desde el diseño hasta la impresión de la pieza.



## 4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 4.1 Conclusiones

En el presente trabajo se han ido desarrollando los diferentes servicios que posee el patrullero Tabarca, llegando a una serie de actuaciones que supondrían un valor añadido a las capacidades actuales del buque.

La realización de un mantenimiento de la profundidad expuesta en el apartado 3.3.1 ha implicado un gran esfuerzo económico para la Armada, dejando entrever el deseo del mantenimiento de esta unidad, a pesar de contar con muchas millas navegadas, más de las que se suelen efectuar a un buque militar, cuya vida suele encontrarse entre los 20 y 30 años. Es por ello que las mejoras propuestas cobran mayor sentido.

El estudio de la mejora del sistema de propulsión, tanto con POD como con la modificación del sistema de regulación de paso de la hélice, aportaría una gran maniobrabilidad al buque, sería de gran utilidad para la navegación, facilitando en gran medida las maniobras.

La planta osmotizadora lleva 13 años sin utilizarse, teniendo la necesidad de llevar el agua almacenada a bordo desde puerto. Esto supone una gran limitación para las navegaciones del buque, puesto que limita su radio de acción en gran medida. El no contar con un sistema de potabilización a bordo además supone un riesgo para la dotación en el caso de no poder acceder a un suministro de agua potable por métodos de aprovisionamiento de otras unidades o de tierra.

La cada vez más imperiosa necesidad de repuestos en sistemas obsoletos y fuera de producción, hace de la impresión 3D a bordo un valor añadido fundamental a las capacidades de este buque, por lo que se puede concluir que sí es viable continuar esta propuesta de mejora en los pertinentes estudios.

Como conclusión final, el Tabarca es un patrullero de casi 40 años, pero que al encontrarse en un ámbito de mejora continua como es el militar, es posible actualizar y mejorar las capacidades de este con implicaciones económicas asumibles.

### 4.2 Líneas futuras

En base a las propuestas de mejora, se plantean las siguientes:

- Estudio preliminar para la modificación del conjunto cabeza de la hélice.
- Estudio preliminar de la instalación de la cabeza de la hélice de patrulleros clase Chilreu en clase Anaga.
- Estudio de la instalación de la potabilizadora VENTURA WATERMAKER en el patrullero Tabarca.

- Sustitución de las bombas principales del circuito de aire a presión por modelos comerciales compatibles.
- Diseño de una plataforma estabilizadora de impresora 3D comercial.
- Estudio de viabilidad del uso de una impresora 3D comercial en buques de la Armada.



## 5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. L. Palancar, Sistemas de propulsión y de generación de energía.
- [2] [En línea]. Available: <http://nordicmuseum.blogspot.com/2014/03/viking-long-ships.html>. [Último acceso: 20 01 2020].
- [3] I. d. I. L. Martínez, Nuevo Sistema de Propulsión Naval, Bilbao: Universidad del País Vasco, 2011.
- [4] [En línea]. Available: <https://tenpound.com/bookmans-log/book/trade-card-advertising-i-k-brunel%C2%92s-steamship-great-eastern-6>. [Último acceso: 20 01 2020].
- [5] D. H. D. Maikalanga, Engineering triggers for the development of design and evolution of marine propulsion systems, Malmö, Suecia: World Maritime University, 1997.
- [6] I. S. d. T. Rodríguez, Estudio de nuevas aplicaciones de la supercavitación en el ámbito militar, Centro Universitario de la Defensa, 2017.
- [7] S. M. C. P. G. C. F. D. L. A. De Marco, «Concept of Marine Applications: A Systematic Study,» *International Journal of Rotating Machinery*, pp. 1-12, 2016.
- [8] W. W. R. W. Matthias Altman, «FCSHIPS: Environmental Impacts and Costs of Hydrogen, Natural Gas and Conventional Fuels for Fuel Cell Ships,» Yokohama, Japón, 2004.
- [9] [En línea]. Available: <http://mil.today/2017/Weapons81/>. [Último acceso: 20 01 2020].
- [10] A. y. M. A. Ministerio de Agricultura, *Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, 2002*, p. Artículo 2.
- [11] [En línea]. Available: <http://www.tpub.com/fireman/49.htm>. [Último acceso: 20 01 2020].
- [12] B. A. Bassham, An evaluation of electric motors for ship propulsion, Monterey, California, 2003.
- [13] [En línea]. Available: <https://www.nauticexpo.com/prod/best-propulsion-bv/product-28950-230009.html>. [Último acceso: 15 02 2020].
- [14] P. A. Techet, Massachusetts Institute of Technology, 2004. [En línea]. Available: [http://web.mit.edu/13.012/www/handouts/propellers\\_reading.pdf](http://web.mit.edu/13.012/www/handouts/propellers_reading.pdf). [Último acceso: 17 02 2020].
- [15] [En línea]. Available: <https://new.abb.com/news/detail/24847/abb-expands-azipodr-power-range-for-ferries-and-ropax-vessels>. [Último acceso: 15 02 2020].
- [16] [En línea]. Available: <https://proyectosnavales.com/2015/10/07/azipod-mermaidpod-esipod-y-otros-pods/>. [Último acceso: 15 02 2020].
- [17] [En línea]. Available: <https://edu.glogster.com/glog/motor-de-gasolina/1xu110uso0u>. [Último acceso: 20 01 2020].
- [18] D. C. Mesas, «Motores de combustión interna (Diesel, semidiesel y explosión),» p. 32.

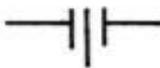
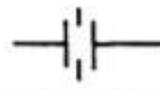
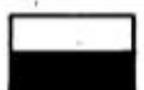
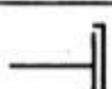
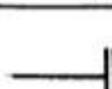
- [19 [En línea]. Available: [http://www.ricepropulsion.com/TNLS/propulsion\\_de\\_barcos.htm](http://www.ricepropulsion.com/TNLS/propulsion_de_barcos.htm).  
] [Último acceso: 23 02 2020].
- [20 [En línea]. Available:  
] [http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Motores\\_Helices/Inversora/Reductora\\_Motor.asp](http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Motores_Helices/Inversora/Reductora_Motor.asp).  
] [Último acceso: 05 02 2020].
- [21 [En línea]. Available: <https://elmaquinante.blogspot.com/2016/07/unidad-n-9-cojinetes-y-lubricacion.html>. [Último acceso: 30 01 2020].  
]
- [22 [En línea]. Available: [http://pasch.es/?page\\_id=3104](http://pasch.es/?page_id=3104). [Último acceso: 20 02 2020].  
]
- [23 [En línea]. Available: <https://www.tienda.baitra.com/es/cierres-de-bocina/4618-cierre-de-bocina-para-eje-de-50mm-y-exterior-76mm.html>. [Último acceso: 11 02 2020].  
]
- [24 [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/Arbotante>. [Último acceso: 05 02 2020].  
]
- [25 [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/?w=h%C3%A9lice>. [Último acceso: 26 01 2020].  
]
- [26 C. C. Bellver, Estudio y diseño de una hélice para el yate, Barcelona: Facultat de Nàutica de Barcelona, UPC, 2018.  
]
- [27 [En línea]. Available: <https://www.nauticexpo.es/prod/zf-marine/product-21490-253372.html>. [Último acceso: 26 01 2020].  
]
- [28 [En línea]. Available: <https://www.wartsila.com/dom/sala-de-prensa/news/02-12-2016-el-dispositivo-de-reduccion-de-consumo-wartsila-energoprofin-aumenta-la-eficiencia-de-helices-de-paso-fijo-y-de-paso-variable>. [Último acceso: 26 01 2020].  
]
- [29 [En línea]. Available:  
] <http://global.kawasaki.com/en/mobility/marine/machinery/propeller.html>. [Último acceso: 26  
] 01 2020].
- [30 R. H. Zurita, de *El sistema propulsivo del buque: las hélices marinas y el fenómeno de la cavitación* , UPC, 2013.  
]
- [31 [En línea]. Available: <https://www.nauticexpo.es/prod/veth-propulsion/product-31774-400171.html>. [Último acceso: 26 01 2020].  
]
- [32 [En línea]. Available:  
] <http://armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/08patrulleros--01patrulleros-bam-clase-meteoro-p-40>. [Último acceso: 31 01 2020].
- [33 [En línea]. Available:  
] <http://armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/08patrulleros--02patrulleros-clase-descubierta>. [Último acceso: 01 02 2020].
- [34 [En línea]. Available: <https://www.pinterest.es/pin/582371795547154816/?lp=true>.  
] [Último acceso: 24 01 2020].
- [35 [En línea]. Available:  
] <http://armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/08patrulleros--03patrulleros-clase-serviola>. [Último acceso: 02 02 2020].

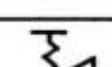
- [36 S. G. T. Ministerio de Defensa, Lista Oficial de Buques de la Armada, 2013.  
]
- [37 [En línea]. Available:  
] <http://armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/08patrulleros--05patrulleros-clase-toralla>. [Último acceso: 02 02 2020].
- [38 [En línea]. Available:  
] <http://armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/08patrulleros--06patrulleros-clase-chilreu>. [Último acceso: 2020 02 02].
- [39 J. Weibauer, Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG, Kiel, Germany, 2010.  
]
- [40 [En línea]. Available:  
] <http://armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/08patrulleros--07patrulleros-vigilancia-costera>. [Último acceso: 02 02 2020].
- [41 [En línea]. Available: <https://huelvabuenasnoticias.com/2018/10/04/el-patrullero-de-la-armada-p-101-recala-en-el-puerto-deportivo-de-isla-cristina/>. [Último acceso: 25 01 2020].
- [42 [En línea]. Available:  
] [http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenosnoticias/prefLang-es/00noticias--2018--04--NT-036-Entrega-Fradera-es?\\_selectedNodeID=3263098&\\_pageAction=selectItem](http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenosnoticias/prefLang-es/00noticias--2018--04--NT-036-Entrega-Fradera-es?_selectedNodeID=3263098&_pageAction=selectItem). [Último acceso: 25 01 2020].
- [43 [En línea]. Available:  
] <http://armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/08patrulleros--04patrulleros-clase-anaga--04patrullero-tabarca-p-28>. [Último acceso: 02 02 2020].
- [44 [En línea]. Available: <http://blogs.grupojoly.com/la-mar-de-historias/tag/clase-anaga/>.  
] [Último acceso: 25 01 2020].
- [45 M. Friefrihshafen, Motor 16 V 956 TB 91: Descripción e Instrucciones de Servicio.  
]
- [46 E. N. Bazán, Libro de información General: Servicios de la propulsión, San Fernando,  
] Cádiz.
- [47 F. Vulcano, Generadores de agua dulce "VULPAC".  
]
- [48 G. R. Fortea, Análisis de la maniobra de grandes cruceros en el Port de Barcelona,  
] Barcelona: UPC, 2016.
- [49 R. T. Fernández, Selección, dimensionamiento y estudio de adaptación de sistema POD  
] para la propulsión de las lanchas de instrucción, Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar, 2014-2015.
- [50 [En línea]. Available: <https://web.mit.edu/16.00/www/aec/flight.html>. [Último acceso: 27  
] 02 2020].
- [51 I. B. Escobar, de *Tratado de maniobra. Tomo I. Fundamentos*, 1995, p. 157.  
]

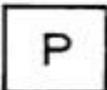
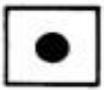
- [52 [En línea]. Available: <https://www.kongsberg.com/maritime/products/propulsors-and-propulsion-systems/thrusters/azimuth-thrusters/contaz-azimuthing-thruster/>. [Último acceso: 28 02 2020].
- [53 K. Group, Description and directions for the use of the KaMeWa propeller.
- [54 Helimatic, Hélices de paso variable tipo H. IV.
- [55 [En línea]. Available: <https://www.spectrawatermakers.com/downloads/all-downloads/fact-sheets/ventura-200t-specifications.pdf>. [Último acceso: 15 02 2020].
- [56 [En línea]. Available: [https://www.lavozdegalicia.es/noticia/ferrol/2019/06/03/navantia-da-f-110-capacidad-producir-propios-repuestos/0003\\_201906F3C1995.htm](https://www.lavozdegalicia.es/noticia/ferrol/2019/06/03/navantia-da-f-110-capacidad-producir-propios-repuestos/0003_201906F3C1995.htm). [Último acceso: 10 02 2020].
- [57 N. N. E. Kostidi, Exploring the Potential of 3D Printing of the Spare Parts Supply Chain in the Maritime Industry, Chios, Greece: University of the Aegan, 2017.
- [58 [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-maritime-applications230820174/>. [Último acceso: 11 02 2020].
- [59 «Web de La Moncloa,» [En línea]. Available: <http://www.lamoncloa.gob.es>. [Último acceso: 13 enero 2015].
- [60 [En línea]. Available: <http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/08patrulleros--04patrulleros-clase-anaga--04patrullero-tabarca-p-28>. [Último acceso: 27 01 2020].
- [61 [En línea]. Available: <http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/04Fragatas-F100-F80>. [Último acceso: 27 01 2020].
- [62 [En línea]. Available: <http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/03Buquesanfijos>. [Último acceso: 27 01 2020].
- [63 [En línea]. Available: <http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/04Fragatas-F100-F80--02fragata-clase-santa-maria-f-80>. [Último acceso: 27 01 2020].
- [64 [En línea]. Available: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/turbparts.html>. [Último acceso: 28 01 2020].
- [65 N. H. B. P. J.M. Prousalidis, On Studying Ship Electric Propulsion Motor Driving Schemes.
- [66 J. d. Estado, *Ley 15/1978, de 20 de febrero, sobre zona económica*.
- [67 [En línea]. Available: <http://enervolt.eu/productos/potabilizadora-ventura-200t-24v-31-l-h/>. [Último acceso: 15 02 2020].

- [68 S. T. Taylor, «The fundamentals of expansion tanks,» *ASHRAE Journal*, p. 61, 2016.  
]
- [69 N. A. H. B. Hengqing Liu, «Simulation of Diesel Engines Cold-Start,» de *2003 SAE World Congress*, Detroit, Michigan, 2003.  
]
- [70 [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/prensaestopas?m=form>. [Último acceso: 19 02 2020].  
]
- [71 I. d. I. L. Martínez, *NUEVO SISTEMA DE PROPULSIÓN NAVAL*, 2011.  
]

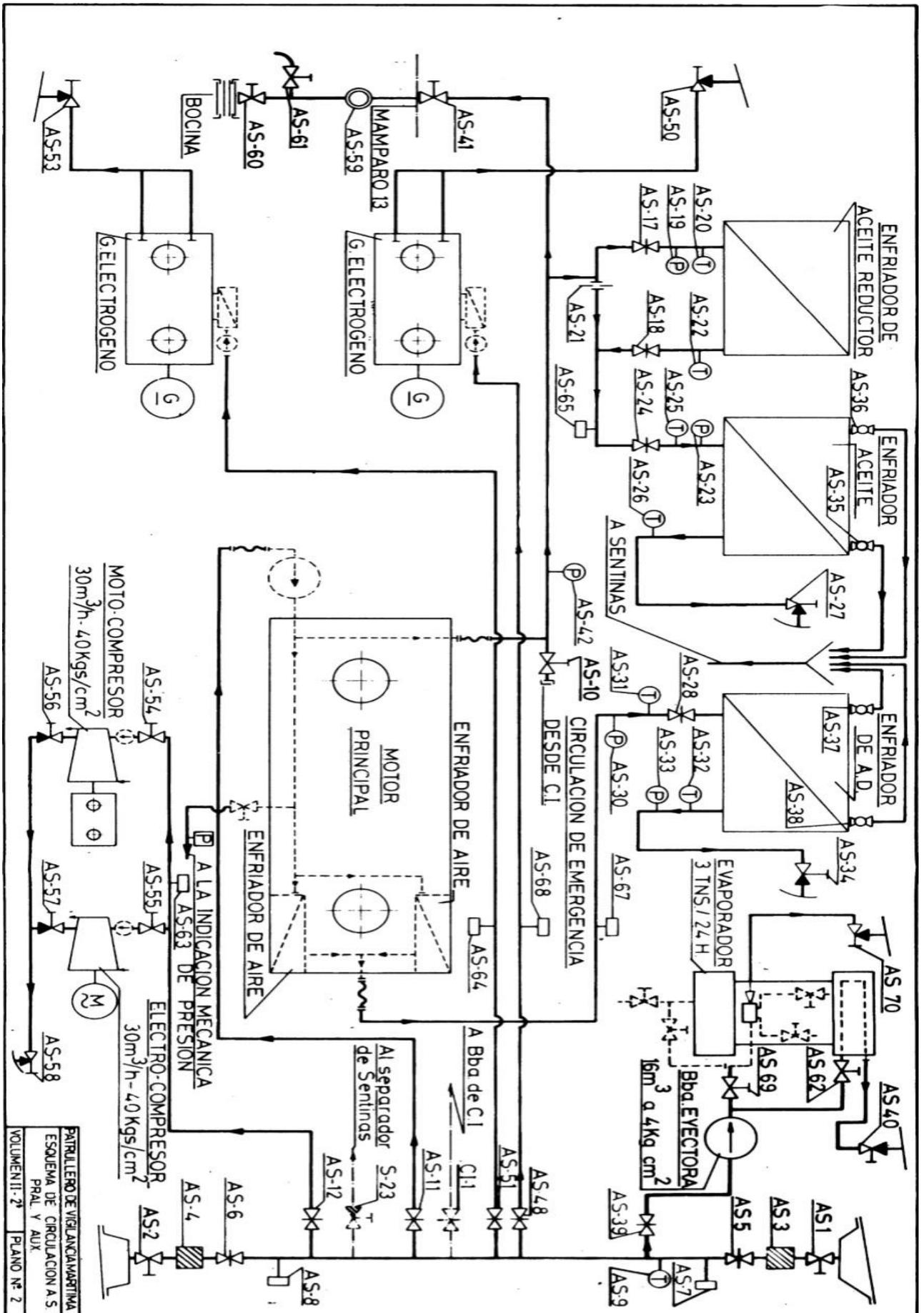
## **ANEXO I: PLANOS DE LOS SERVICIOS**

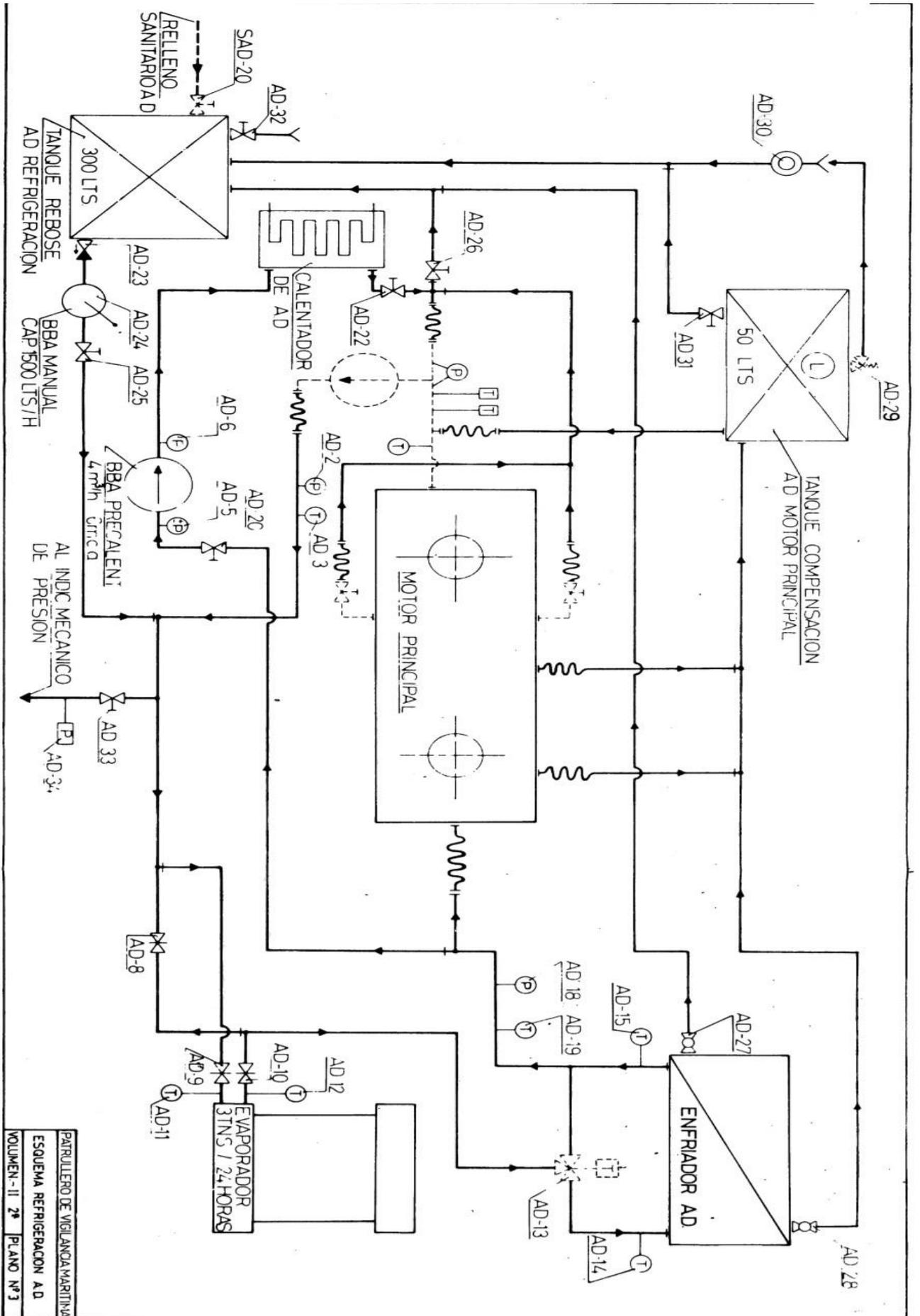
RELACION DE SIMBOLOS			
SIMBOLO	DESIGNACION	SIMBOLO	DESIGNACION
	ENGRASADOR DE AIRE		BRIDA DOBLE DE GAFAS
	COLADOR DE ASPIRACION, ALCACHOFA		DIAFRAGMA
	CAJA DE FANGO		VALVULA DE CIERRE Y PASO RECTO
	FILTRO		VALVULA DE CIERRE Y PASO EN ESCUADRA
	DOBLE FILTRO		VALVULA DE TRES VIAS
	PURGADOR		VALVULA DE RETENCION DE PASO RECTO
	ELEMENTOS DE CALEFACCION O REFRIGERACION		VALVULA DE RETENCION DE PASO EN ESCUADRA
	RECIPIENTE O DEPOSITO SIN PRESION		VALVULA DE RETENCION Y CIERRE DE PASO RECTO
	RECIPIENTE A PRESION		VALVULA DE RETENCION Y CIERRE PASO EN ESCUADRA
	TUBO FLEXIBLE		VALVULA DE CHARNELA DE PASO RECTO
	TUBO PARA ENCHUFAR MANGUERA		VALVULA DE CHARNELA DE PASO EN ESCUADRA
	JUNTA DE DILATAACION EN GENERAL		VALVULA REDUCTORA DE PRESION DE PASO RECTO
	TAPON ROSCADO		VALVULA DE SEGURIDAD DE PASO RECTO
	BRIDA CIEGA		VALVULA DE SEGURIDAD DE PASO EN ESCUADRA

RELACION DE SIMBOLOS			
SIMBOLO	DESIGNACION	SIMBOLO	DESIGNACION
	VALVULA DE SEGURIDAD DE ESCAPE LIBRE		VALVULA DE PASO RECTO CIERRE Y RETENCION TARADA
	VALVULA DE CIERRE RAPIDO		VALVULA DE SOLENOIDE
	VALVULA DE CIERRE RAPIDO CON MANDO A DISTANCIA		GRIFO DE PASO RECTO
	VALVULA CON MANDO A DISTANCIA		GRIFO DE TRES VIAS CON MACHO EN "L"
	VALVULA DE REGULACION		GRIFO DE TRES VIAS CON MACHO EN "T"
	VALVULA DE MARIPOSA		GRIFO CON CIERRE AUTOMATICO
	VALVULA DE COMPUERTA		GRIFO DE SALIDA
	VALVULA DE COMPUERTA CON MANDO A DISTANCIA		GRIFO CON CONTRAPESO
	VALVULA DE CIERRE AUTOMATICO DE PASO RECTO		GRIFO CON CANDADO
	VALVULA DE CIERRE AUTOMATICO DE PASO EN ESCUADRA		EMBUDO
	VALVULA DE FLOTADOR		ATMOSFERICO
	VALVULA PRECINTADA ABIERTA		ATMOSFERICO CON REJILLA CORTA-FUEGO
	VALVULA PRECINTADA CERRADA		BOCA DE SONDA Y LLENADO EN CUBIERTA
	VALVULA DE PASO ANGULAR CIERRE Y RETENCION CON RESORTE		BOCA DE ASPIRACION

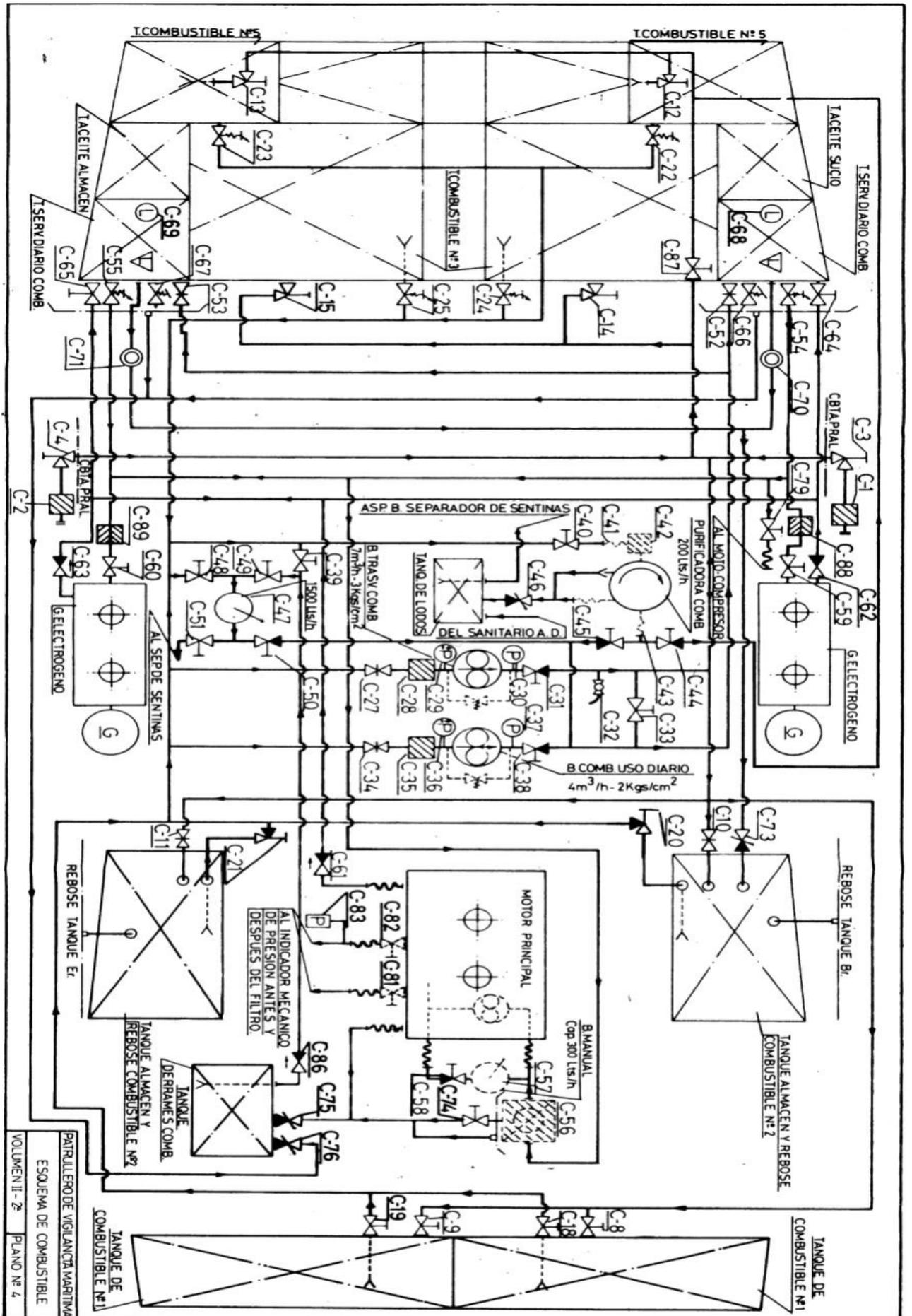
RELACION DE SIMBOLOS			
SIMBOLO	DESIGNACION	SIMBOLO	DESIGNACION
	TUBO DE SONDA CORTA		ALARMA DE ALTA TEMPERATURA
	ASPIRACION CON VALVULA DE PIE		INDICADOR DE NIVEL
	FILTRO AUTOLIMPIABLE		INDICADOR DE TEMPERATURA
	PISTOLA DE SOPLADO		INDICADOR PRESION
	CONEXION RAPIDA		INDICADOR MANOVACUOMETRO
	VALVULA TERMOSTATICA		CONTROL DE PRESION
	TAPON FUSIBLE		CONTROL DE TEMPERATURA
	MIRILLA		CONTADOR DE FLUIDO
	ZINC ELECTROGENO		
	ALARMA BAJO NIVEL		
	ALARMA ALTO NIVEL		
	ALARMA DE BAJA PRESION		
	ALARMA DE ALTA PRESION		
	ALARMA DE BAJA TEMPERATURA		



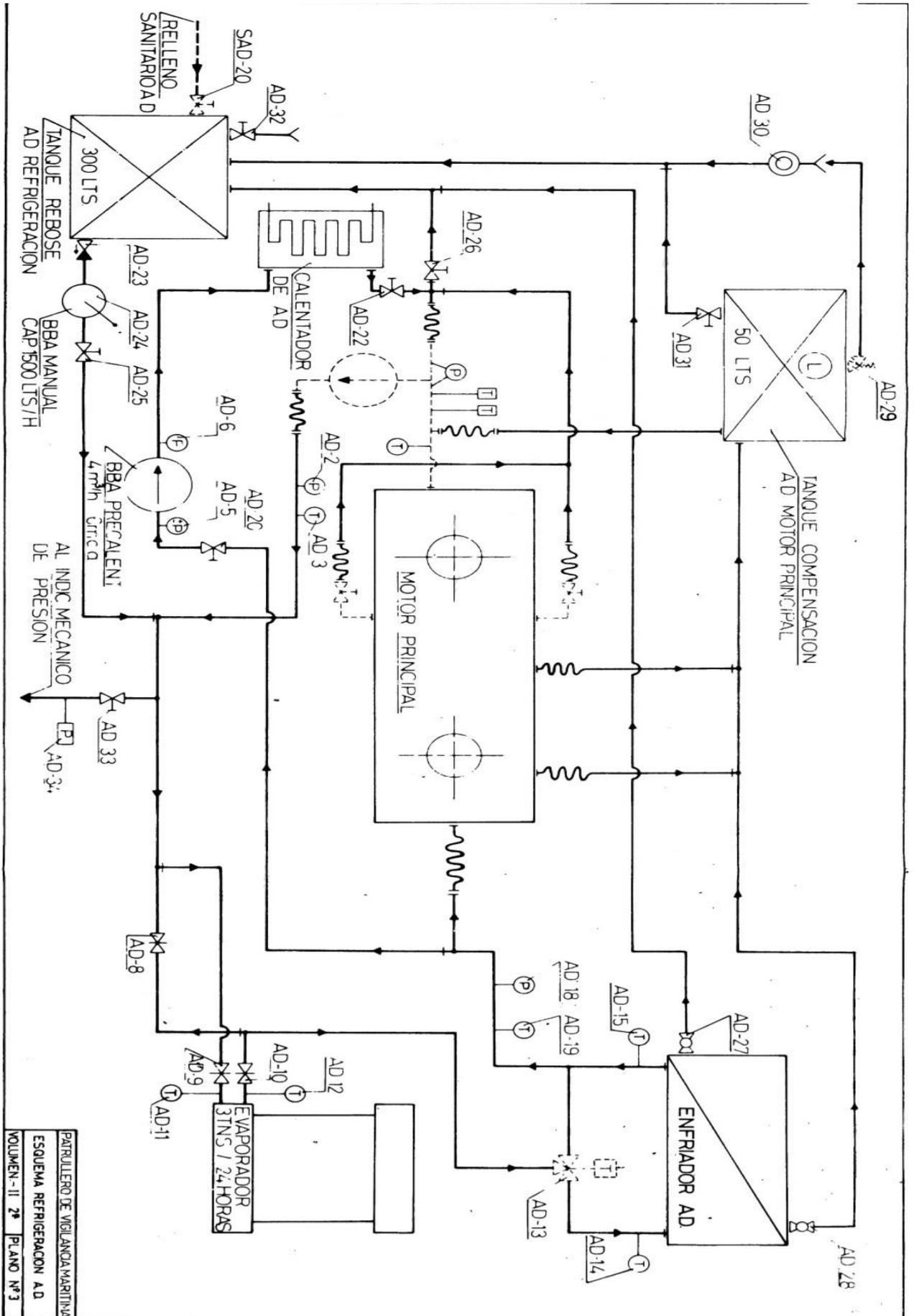




PATRULLERO DE VIGILANCIA MARITIMA  
 ESQUEMA REFRIGERACION A.D.  
 VOLUMEN - II 2º PLANO Nº 3



PATRULLERO DE VIGILANCIA MARITIMA  
 ESQUEMA DE COMBUSTIBLE  
 VOLUMEN II - 2º PLANO Nº 4



PATRULLERO DE VIGILANCIA MARITIMA  
 ESQUEMA REFRIGERACION AD  
 VOLUMEN-II 2º PLANO Nº 3

## **ANEXO II: POTABILIZADORA SPECTRA VENTURA**



KATADYN GROUP

## SPECTRA VENTURA 200T WATERMAKER

### PRODUCT SPECIFICATIONS

Production / Day	200 gal (757 l)
Production / Hour	8.3 gal (31 l)
Power Requirement	12v DC 10A / 24v DC 5A 14.5 Watts/1 gal 4 Watts/1 liter
Weight	60 lbs (27.7 kg)
Pre Filters	2.5"x10" pleated polyester 5 micron 2.5"x10" pleated polyester 20 micron
Controls	Analog controls
Installation Requirements	Dedicated thruhull, dry and well ventilated area not to exceed 110F/37C
Membranes	20" x 2.5" High rejection spiral wound polyamide
Pump and Motor	Shurflo diaphragm pump
Salt Rejection	99.2%
Temperature Range	Max 110F/37C Min 36F/2C
Baseline Conditions	33,000 PPM feed water at 77F/25C
pH Range	3-11 (typical seawater pH is 8)
Chlorine Tolerance	0 PPM
Warranty	Spectra standard warranty
Shipping Weight	80 lbs (36 kg)
Shipping Dimensions	33"x25"x19" 84cm x 64cm x 49cm



### FACTS

The Ventura 200T is the same size and configuration as the Ventura 150, but uses a higher displacement Clark Pump to produce more water. This allows it to operate in warm waters above 50F (10C), delivering over 8 gallons (31 liters) per hour. With its modular design, it's an ideal system for installation in tight spaces whether you're cruising, fishing, or racing. Simple analog controls and gauges display the feed water pressure and the product flow meter. A hand-held salinity monitor and a three-way valve for product water testing are included.

### FEATURES

- Simple analog control panel
- Compact modular design
- Spectra's unique Clark Pump for efficiency and reliability
- Low power consumption, can be run on batteries, solar, or wind power
- Whisper quiet
- Commercial grade diaphragm pumps with run dry protection
- System includes installation kit, handheld water quality tester, and product sample valve
- Z±ION Compatible