



Escuela Politécnica  
Superior de Ingeniería  
Sección de Náutica, Máquinas  
y Radioelectrónica Naval



**Universidad  
de La Laguna**

Escuela politécnica superior sección náutica,  
máquinas y radioelectrónica naval

Universidad de La Laguna

TRABAJO FIN DE GRADO

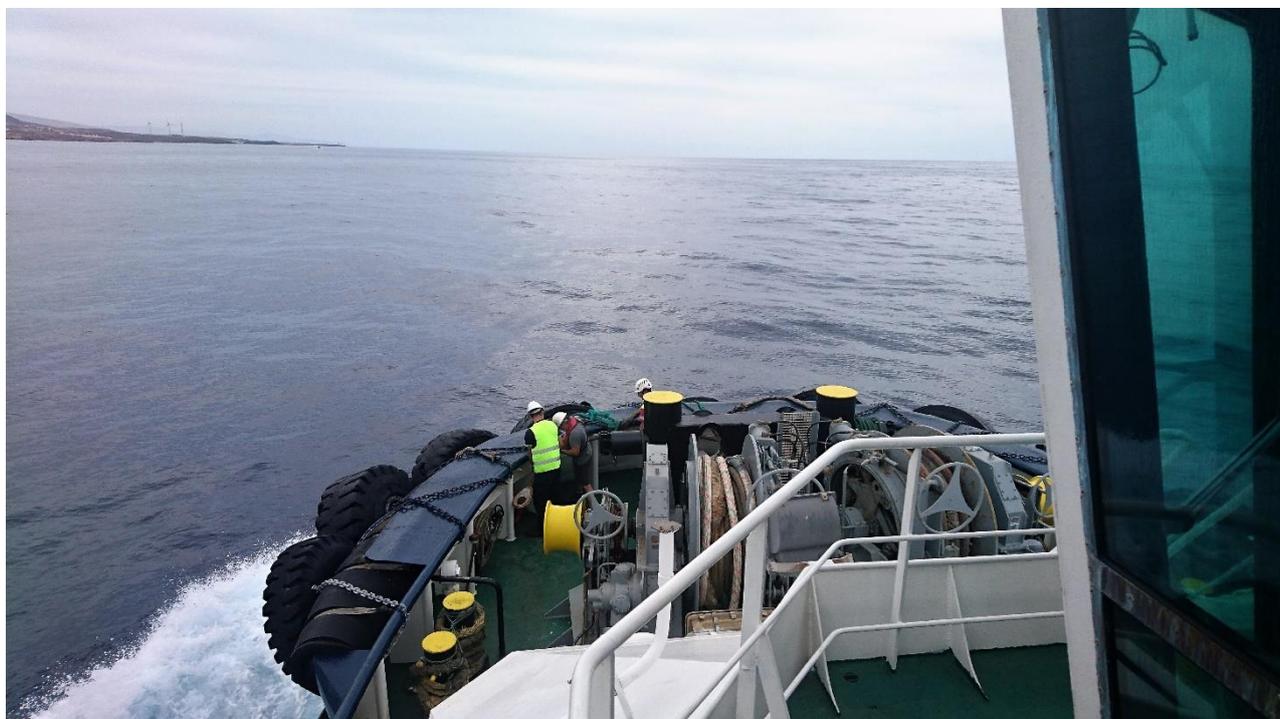
**“Funcionamiento y control de los  
propulsores azimutales del buque VB-  
Canarias”**

Pablo López Hernández

Julio 2018

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

**Funcionamiento y control de los propulsores azimutales del  
buque VB-Canarias**



**Directores:**

Dr. Don Federico Padrón Martín.

Don Servando Luis León

**Nombre**

Pablo López Hernández

**Grado:**

Tecnologías Marinas

**Fecha:**

Julio 2018

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

Dr. Don Federico Padrón Martín, Profesor Contratado Doctor Tipo I, perteneciente al área de ingeniería de los procesos de fabricación, pertenecientes a la unidad departamental de ingeniería marítima de la universidad de la laguna, certifica que:

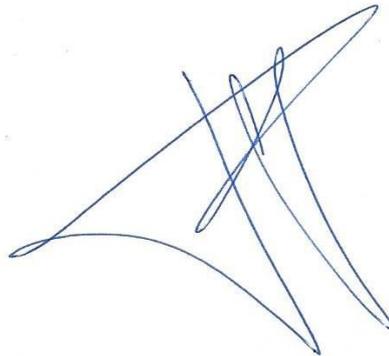
Don Pablo López Hernández, ha realizado el Trabajo Fin Grado bajo mi dirección con el título:

“Funcionamiento y control de los propulsores azimutales del buque VB-  
Canarias”

Revisado dicho trabajo, estimo que reúne los requisitos para ser evaluado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a Julio 2018.



Fdo. Federico Padrón Martín

Director del Trabajo de Fin de Grado.

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

Don Servando Luis León, Profesor asociado del área de ingeniería de procesos de fabricación, pertenecientes a la unidad departamental de ingeniería marítima de la universidad de la laguna, certifica que:

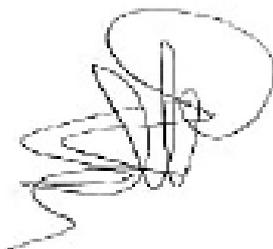
Don Pablo López Hernández, ha realizado el Trabajo Fin Grado bajo mi dirección con el título:

“Funcionamiento y control de los propulsores azimutales del buque VB-  
Canarias”

Revisado dicho trabajo, estimo que reúne los requisitos para ser evaluado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a Julio 2018.



Fdo. Servando Luis León

Director del Trabajo de Fin de Grado.

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

**Agradecimientos:**

En primer lugar agradecer a Dr. Don Federico Padrón Martín y Don Servando Luis León, directores de este trabajo, por su apoyo y dedicación en la realización del mismo.

Por supuesto a mis padres por brindarme la posibilidad de haber cursado este grado superior y junto a mi hermana por dar el apoyo necesario en esta recta final.

También dar las gracias a compañeros y amigos, por su ayuda y distracción durante todo el tiempo de estrés que supone el final de este ciclo. Dentro de este grupo cabe destacar la mención de varias personas que han colaborado conmigo dentro de este proyecto dentro de sus campos técnicos específicos, como son:

Gracias a Alejandro Bernardez Villegas, por su ayuda e información otorgada referente a este trabajo.

Gracias a Jorge Paules Fernández, por su ayuda en la realización del modelo y apoyo durante este periodo.

Gracias a Rómulo Noda Ravelo, por su ayuda en el entendimiento de la parte de control y circuitería eléctrica.

A todos, muchas gracias.

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

**FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.**

**Índice.**

I.	Introducción.	13
II.	Objetivos.	17
III.	Revisión y antecedentes.	21
	3.1. Introducción histórica.	23
	3.2. Definición de propulsor azimutal.	23
	3.3. Ventajas y desventajas de los propulsores azimutales.	25
	3.4. Diferentes tipos de propulsor azimutal.	26
	3.5. Buques que empleen dicha propulsión.	31
	3.6. Comunicación y control entre puente y máquinas.	37
	3.7. Remolcador VB-Canarias.	39
IV.	Metodología.	41
	4.1. Documentación bibliográfica.	43
	4.2. Metodología del trabajo de campo.	43
	4.3. Marco referencial.	43
V.	Resultados.	45
	5.1. Descriptiva y localización de los elementos que influyan en la propulsión.	47
	5.1.1. Planta de potencia.	48
	5.1.2. Sistema de transmisión de movimiento.	49
	5.1.3. Sistema de aire	51
	5.2. Azimutal.	53
	5.2.1. Descriptiva.	53
	5.2.2. Sistema de lubricación.	54
	5.2.3. Sistema hidráulico.	56
	5.2.4. Sistema de aire de las azimutales.	59
	5.2.5. Sistema eléctrico.	61
	5.3. Mantenimiento realizado en las azimutales del buque.	64
	5.3.1. Relleno de tanque de aceite.	65
	5.3.2. Relleno sistema hidráulico.	66
	5.3.3. Cambio y limpieza de filtros.	68
	5.3.4. Toma de muestras de aceite de lubricación.	70
	5.3.5. Mantenimiento durante la varada del buque.	71
	5.4. Control y operación de los propulsores.	73
	5.4.1. Control de los sistemas.	73
	5.4.2. Mantenimiento del sistema de control.	80
	5.4.3. Modos de operación.	81
	5.5. Proceso de creación del sistema de paso variable de la hélice a escala.	83
	5.5.1. Diseño del modelo inicial.	83
	5.5.2. Proceso de modelado del modelo.	85
	5.5.3. Proceso de moldeo.	91
	5.5.4. Realización de las piezas por molde.	97
	5.5.5. Ensamblaje final.	100
VI.	Conclusiones.	103
VII.	Bibliografía.	107

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

# I. Introducción.

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

# *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

## **I. Introducción.**

Durante el periodo de prácticas embarcado en los remolcadores pude trabajar en el mantenimiento y estudio de propulsores azimutales, los que me intrigaron y me motivaron a ir un paso más adelante en su entendimiento, en conocer su funcionamiento y control.

Más concretamente me centrare en el buque VB-Canarias donde realicé mi periodo de embarque, este consta de dos propulsores azimutales, con palas de paso variable, de la marca Schottle.

En el capítulo Introducción se resume lo acontecido en todo el Trabajo de Fin de Grado de una manera breve y clara. En el capítulo Objetivos se establecen una serie de puntos para guiarnos de manera ordenada y clara hacia el objetivo final de este proyecto, que es lograr entender el funcionamiento y control de los propulsores azimutales.

Por un lado, en el capítulo Revisión y antecedentes se realiza una búsqueda evidenciada de sistemas anteriores a los propulsores azimutales, sistemas parecidos o que fueron desarrollados bajo la misma idea y porque surgió este sistema. Después en el capítulo Metodología se desarrollan las diferentes fuentes de donde se extrajeron o que sirvieron de apoyo para desarrollar este Trabajo de Fin de Grado.

Por otro lado, en el capítulo Resultados se trabaja con aportaciones propias referentes a la experiencia durante el trabajo de campo y a las diferentes fuentes de consulta, este apartado es el grueso del trabajo y muestra los conocimientos adquiridos. Mientras en el capítulo Conclusiones se comenta si se han alcanzado los objetivos marcados y si hubo alguna dificultad para ello. Y para concluir en el capítulo Bibliografía recoge las fuentes de los conocimientos recogidos en el tercer capítulo para el desarrollo de este trabajo.

**Abstract**

**I. Introduction.**

During my internship in the tugboats, I was able to work on the maintenance and study of azimuthal propellers, and the intrigued me and motivated me to take a further step to know its operating and control.

More specifically, I will focus on the vessel “VB-Canarias” where I made my internship. These tugboats possess two azimuthal propellers, with variable blades, and the brand of the propellers is Schottel.

The chapter introduction summarizes what happened in all the end-of-Degree Project in a brief and clear way. The objectives chapter establishes a series of points to guide us in an orderly and clear way towards the final objective of this project, which is to understand the operation and control of azimuth thrusters.

On the one hand, in the chapter review and background is conducted a search evidenced systems before the azimuth thrusters, similar systems or that were developed under the same idea and because this system arose. Then in the chapter methodology are developed the different sources of where they were extracted or that they served of support to develop this work of end of degree.

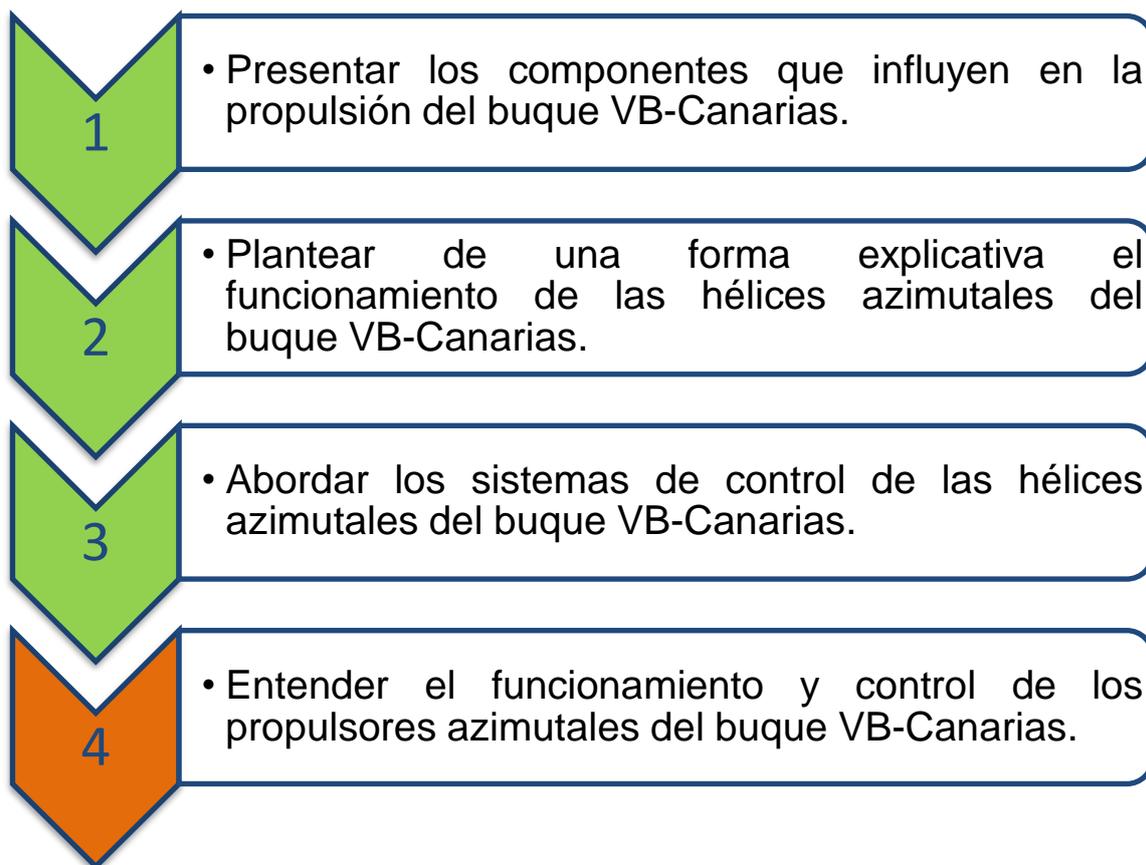
On the other hand, in the results chapter we work with specific contributions related to the experience during the field work and to the different sources of consultation, this section is the bulk of the work and shows the acquired knowledge. While in the chapter conclusions it is discussed whether the objectives have been marked and whether there was any difficulty. And to conclude in the chapter bibliography collects the sources of the knowledge gathered in the third chapter for the development of this work.

## **II. Objetivos.**

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

## **II. Objetivos.**

Los siguientes objetivos son los que nos hemos planteados para el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado, con la finalidad de facilitar el desarrollo de este estudio y plasmarlo de una manera clara y concisa.



*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

## **III. Revisión y antecedentes.**

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

### **III. Revisión y antecedentes.**

En esta parte del trabajo se aportan hechos referentes al tema a tratar, de actualidad y con el fin de dar la entrada y los conocimientos básicos de este trabajo.

#### **3.1. Introducción histórica.**

La aparición de los propulsores azimutales surgió en la década de los cincuenta por la necesidad de obtener una mayor maniobrabilidad y facilidad de giro en el gobierno, desde entonces varios fabricantes intentaron solucionar dicha necesidad sin lograrlo, pero si apareció un propulsor azimutal con el sistema de transmisión Z-Drive inventado por Joseph Becker, fundador de la empresa Schottel. Por la misma época en los astilleros Hollming Oy en Finlandia se fabricó un dispositivo al que llamaron "Aqua Master" con la colaboración de la empresa noruega Ulstein As. Esta, más adelante, se quedaría con los derechos del Aqua Master y se fusionaría con la empresa británica Rolls-Royce. Pero ninguno de ellos conseguía avances para producir un modelo funcional de este sistema. [1]

Luego, por el año 1955 (cinco años después), apareció el modelo de propulsión azimutal, creado por F.W. Pleuger y Busmann Friedrich de la empresa Pleuger Unterwasserpumpen GMBH, de Hamburgo (hoy en día Flowserve Hamburg GMBH) y desarrollado como un timón activo. Este fue patentado, pero sin embargo pese a ser un sistema funcional estaba adelantado a su tiempo y nunca se llegó a fabricar. Años más tarde en 1960 se empezaron a producir las primeras aplicaciones bajo la marca Schottel y con la denominación de propulsor azimutal. [1]

En la actualidad se reconocen a seis fabricantes para este tipo de propulsión, la empresa sueco-suiza ABB con el propulsor Azipod, al fabricante Rolls-Royce, a la empresa Siemens-Schottel en cooperación con Spay y a Volvo Penta. [2]

#### **3.2. Definición propulsor azimutal.**

Un propulsor azimutal es un mecanismo avanzado de propulsión marina sin timón, que básicamente se diferencia con una hélice convencional en que puede orientar su impulso girando sobre su eje vertical, realizando un giro completo de 360°, esta es la razón de que carezcan del timón. Estas han sido usadas durante muchos años y pueden estar equipadas con una tobera o sin tobera, lo más común es con tobera ya que mejora la eficiencia al avance. [1]

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

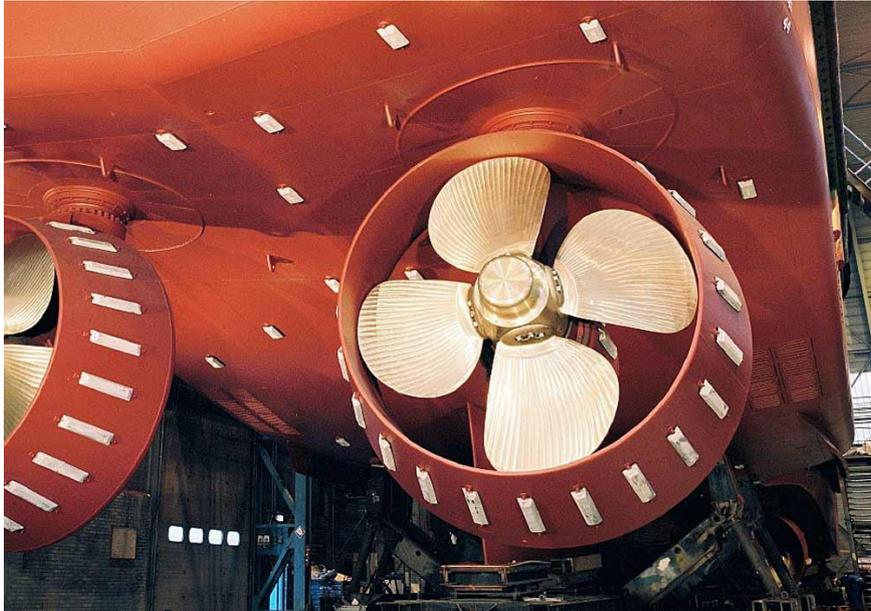


Figura 1. Propulsores azimutales. Fuente: [3]

Hay dos maneras de clasificar los propulsores azimutales, una es según su impulso y otro es según el tipo de transmisión mecánica, entonces podemos encontrar:

- Según el impulso: Esta característica es referente a la dirección vectorial de incidencia del flujo de agua con respecto a la hélice. Por lo tanto, se dividen en dos tipos:
  - Pusher (a): El vector de flujo incide de manera perpendicular a la hélice pasando por la columna vertical del propulsor. [1]
  - Tractor (b): El vector de flujo incide de manera perpendicular a la hélice, después de ser impulsado por esta se encuentra con la columna vertical del propulsor. [1]

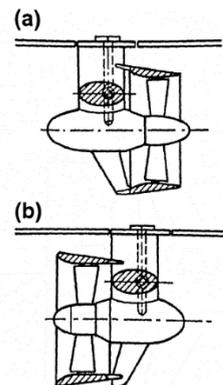


Figura 2. Azimutal Pusher y Tractor.  
Fuente: [1]

- Según el tipo de transmisión: Esta característica es referida a como se conduce mecánicamente el movimiento de giro del motor hasta la hélice. Se identifican dos tipos denominados:

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

- Z-Drive: Consiste en la conexión de tres ejes para conseguir la transmisión del movimiento. El de entrada que viene del motor es horizontal, este se conecta con un eje vertical a  $90^\circ$  por medio de dos engranajes cónicos, y ese mismo eje vertical a su vez se engrana con el eje horizontal de salida (hélice) a  $90^\circ$  con otros dos engranajes cónicos. [1]
- L-Drive: consiste en la conexión de dos ejes para conseguir la transmisión del movimiento. El eje vertical de entrada que viene del motor eléctrico en este caso, ya que debe estar en posición vertical, engrana a  $90^\circ$  por medio de dos engranajes cónicos a el otro eje de salida /hélice) en posición horizontal. [1]

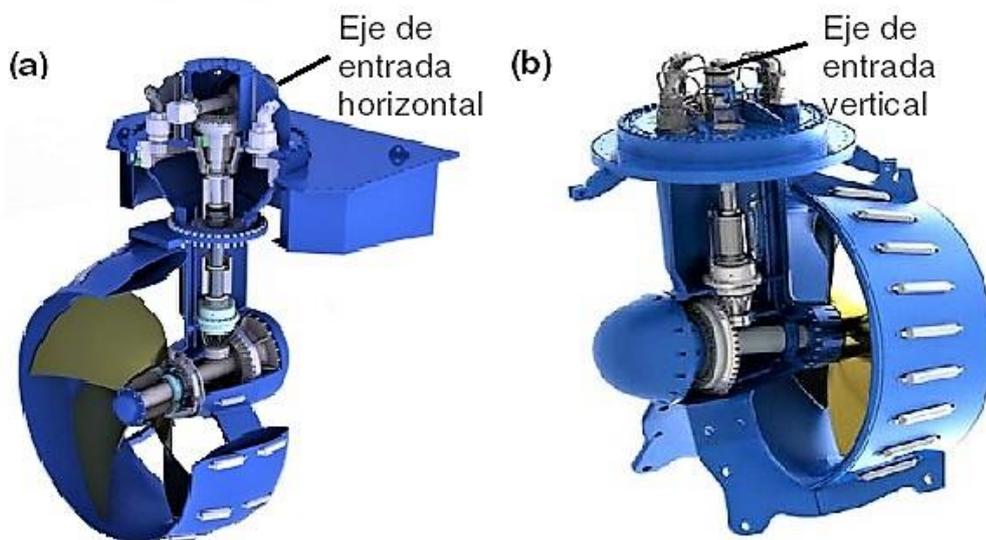


Figura 3. Z-Drive y L-Drive. Fuente: [4] y [5]

### 3.3. Ventajas y desventajas de los propulsores azimutales.

El sistema de propulsión azimutal ofrece diversas ventajas a la hora de su aplicación en un barco estas se recogen a continuación: [2]

- Permite orientar el propulsor  $360^\circ$  lo que mejora notablemente la maniobrabilidad.
- Si se combina con un sistema de control específico puede mantener el buque en una posición estable, aunque esté en alta mar sometido a corrientes y viento que lo desplacen, esto se conoce como el posicionamiento dinámico (DP).
- Rapidez en ejecutar órdenes de gobierno.
- El coste y la complejidad del montaje es menor ya que el equipo viene montado por módulos y solo ha de ser fijado en el buque.

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

- Permite a velocidades bajas realizar giros muy cerrados lo que es una enorme ventaja en labores de salvamento y remolque.
- El tiempo de reacción para la inversión de marcha es muy corto, ya que a diferencia de los sistemas convencionales para invertir el giro de la hélice no hace falta invertir el giro del motor, simplemente se gira el propulsor.
- Si el propulsor además de ser azimutal con tobera tiene instalado un sistema de paso variable permite realizar maniobras más precisas y una navegación con menor consumo al mantener las revoluciones constantes.

Por otro lado, los propulsores azimutales, como todos los propulsores tienen sus inconvenientes, estos son los siguientes: **[2]**

- Conlleva un coste inicial alto, son equipos caros.
- La eficiencia de su diseño es por lo general menor que para un sistema convencional.
- El diámetro de la hélice está limitado y es menor que para los sistemas convencionales, lo que conlleva una menor potencia total disponible al avance.
- La masa de estos propulsores es mayor que un propulsor convencional lo que implica una mayor resistencia al avance.
- Aumenta la complejidad de la planta propulsora por la utilización de diferentes elementos de control y accionamiento para el propulsor.

### 3.4. Diferentes tipos de propulsor azimutal.

Hasta ahora solo se ha hablado de un tipo de propulsor azimutal, pero también hay variantes con diferentes ventajas ante la propulsión azimutal como se conoce, estos otros tipos de propulsores azimutales destacados son los siguientes:

- Propulsores Podded (Azipod).

Los propulsores podded fueron introducidos en la industria marítima en la década de los noventa, surgieron del concepto inicial del propulsor azimutal y se diferencian de estos por tener normalmente la característica de un eje de transmisión corto a la hélice. **[6]**

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



Figura 4. Propulsores azipod. Fuente: [7]

Y la razón de su eje corto es que la planta de potencia está montada dentro del propio propulsor, de esta manera el eje de conexión entre el motor y la hélice es horizontal, directo y corto. Pero como hay una clara limitación de espacio en el interior de los propulsores y sería una zona de difícil acceso no se podría montar un motor de combustión interna, en su lugar se colocaría un motor eléctrico o una opción aún más pequeña en tamaño, un motor por campo magnético permanente, siendo estos mucho más compactos, eficientes y que conllevan un menor mantenimiento que un motor de combustión interna. [1]

Por lo tanto, dentro del propulsor se colocaría un motor eléctrico con un eje corto en el cual se conectarían la excitatriz del motor eléctrico y el freno de este, por esta razón se le denomina propulsor azipod, ya que toda la planta propulsora está situada en lo que se conoce como pod, que es la parte inferior del propulsor. [1]

Claramente al ser un motor eléctrico el buque deberá contar con una planta generadora suficiente para abastecer la demanda eléctrica. También deberá contar con un sistema de ventilación independiente y único para cada propulsor, este sistema de ventilación creará un flujo de aire para refrigerar el motor eléctrico. Y el eje estaría soportado por dos rodamientos uno en cada extremo y un sello en el lado más próximo a la hélice, denominado Bocina, para evitar la entrada de agua. [6]

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

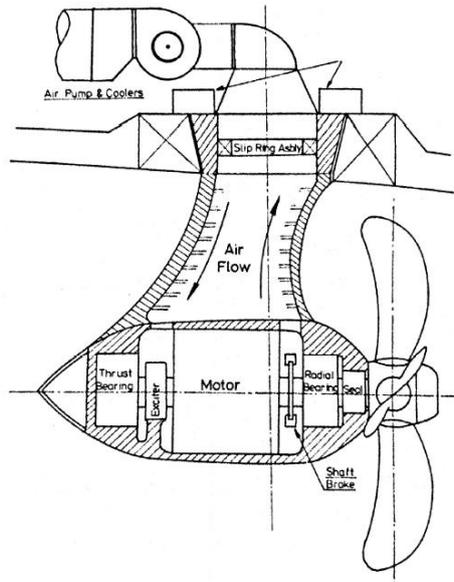


Figura 5. Esquema interior de un propulsor azipod. Fuente: [1]

Este sistema, al igual que el azimutal, puede ser del tipo pusher o tractor, siendo esta última la más común en la actualidad. Y se puede mejorar su rendimiento colocando un sistema de hélices en tándem, situando una en cada extremo del propulsor. [1]

Una de las ventajas sobre todo en la actualidad, es el bajo porcentaje de emisiones de los buques que cuentan con este sistema, esto es debido a la utilización de un motor eléctrico para el giro de la hélice, porque si en cambio tuviera un motor de combustión interna este sufriría variaciones en el consumo, por el aumento de las revoluciones según la demanda. En cambio, el sistema azipod solo necesita una planta generadora diésel para el abastecimiento energético. Otra razón es por el tipo de combustible utilizado en los motores de combustión interna que en el caso del sistema azipod sería diésel y por el contrario si se tratara de un sistema convencional seguramente utilizaría diésel y fuel-oil como combustible, siendo mucho más perjudicial en términos de contaminación.

- Hélices cicloidales (Voith-Schneider).

Otro tipo desarrollado con el mismo concepto de los propulsores azimutales fueron las hélices cicloidales o verticales, el desarrollo de estas comenzó en la década de los veinte con el modelo de Kirsten-Boeing y después con el modelo que diseñó Voith-Schneider. El modelo de Kirsten-Boeing era muy similar al sistema de la rueda de agua horizontal, que actualmente se utiliza en las centrales hidroeléctricas de las presas, pero no se comercializó por la mala prensa por parte de los fabricantes de hélices convencionales. [1]

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

Este tipo de hélice está formada por una serie de paletas, normalmente seis u ocho, dispuestas de manera radial en la superficie de un disco rotatorio. Cada una de las paletas está obligada a variar su ángulo de ataque sobre su propio eje para favorecer el avance hacia el punto predeterminado, como vemos en la *figura 6* en el caso del modelo de Kristen-Boeing (a) las paletas se orientaban de manera que su filo estuviera hacia el punto predeterminado. En cambio, el modelo de Voith-Schneider (b) mejoró este sistema orientando las paletas de manera que el centro de la cara de la pala estuviese hacia el punto predeterminado, gracias a esto su eficiencia aumentó enormemente. [1]

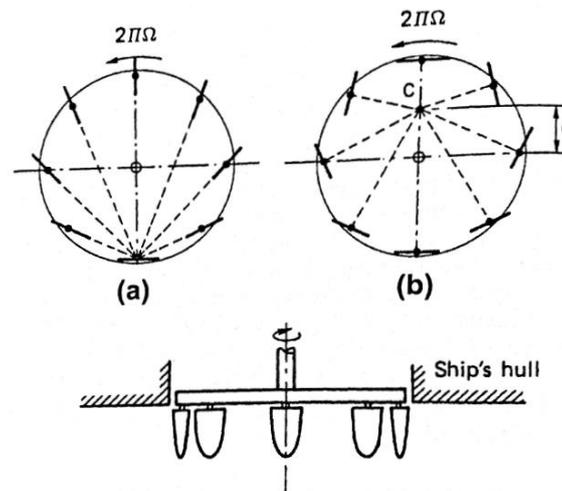


Figura 6. Modelo de Kristen-Boeing y Voith-Schneider. Fuente: [1]

El funcionamiento es muy parecido a un bote de remos, donde cada pala sería un remo de manera que al girar el disco las paletas desplazan la masa de agua y generan un empuje, y dependiendo del ángulo de ataque de cada una de ellas se generara el empuje y el vector de avance. Este empuje producido se genera desde cualquier ángulo y con la capacidad de variar dicho ángulo casi de manera instantánea, todo esto es gracias a su diseño cicloidal referido a la curva matemática que describe su movimiento siguiendo un arco de circunferencia. [8]

FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

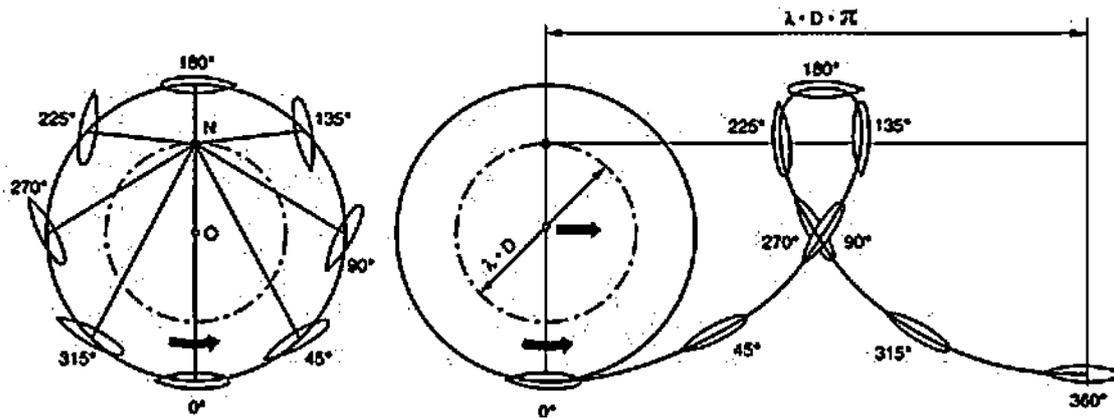


Figura 7. Función matemática descrita de un propulsor cicloidal. Fuente: [8]

En cuanto al ángulo de ataque, está controlado por un sistema mecánico, situado en el interior del propulsor, que funciona por medio de unas varillas conectadas a la cruceta central y a unos codos situados en cada paleta, de esta forma cuando se varia la posición de la cruceta se tira de las varillas y estas a su vez tiran por el punto de conexión a la pala, obligándola a girar sobre su eje y cambiar el ángulo de incidencia o ataque. [8]

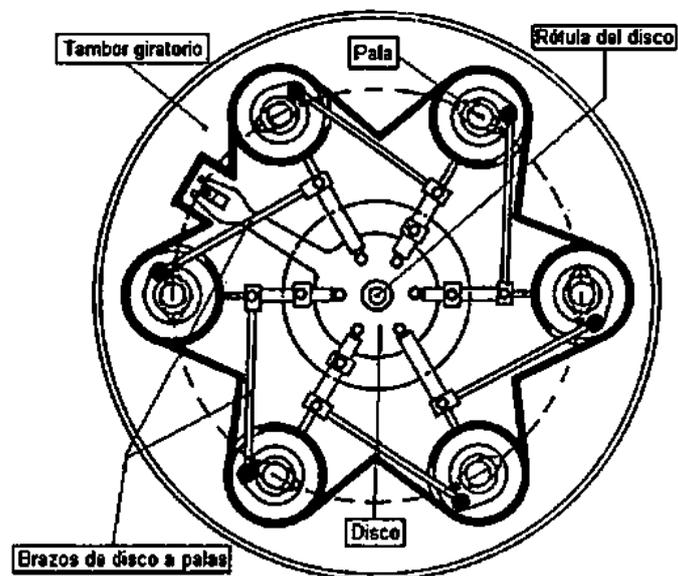


Figura 8. Esquema del sistema de orientación de palas, modelo Voith-Schneider. Fuente: [8]

En cuanto al giro del disco es producido por un motor de cualquier tipo a diferencia de las azipod, e igual que las azimutales, lo que los diferencia es la capacidad de conseguir un sistema con paso variable y orientable en dirección como en las azimutales, pero siendo el Voith-Schneider un sistema que realiza

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

estas funciones de manera instantánea. Es por este motivo que las instalaciones de hélices cicloidales se montan en parejas, para tener un control total de la maniobra del buque, pudiendo elegir la dirección y la intensidad del empuje del propulsor de ambos rotores. [8]



Figura 9. Propulsores Voith-Schneider. Fuente: [8]

Por lo tanto, este sistema ofrece una maniobrabilidad excepcional, que permite realizar giros sobre el propio eje del buque. A parte son sistemas que mejoran enormemente la eficiencia de la instalación propulsora comparándola con un sistema convencional, con la contrapartida que su coste es muy elevado y son sistemas muy delicados, pero crean altos rendimientos y pocas pérdidas o problemas de cavitación y son la mejor alternativa para la navegación en aguas poco profundas. [8]

### 3.5. Buques que empleen dicha propulsión

Una vez visto los tipos de propulsión azimutal y sus variantes, se procede al estudio de sus aplicaciones en diferentes tipos de buques, analizando por qué son la mejor elección en algunos casos y la manera de aplicarlos a las diferentes necesidades de los tipos de buque.

En la actualidad los sistemas de propulsión azimutales se aplican en mayor medida, utilizados por casi todos los tipos de buques desde embarcaciones de recreo hasta los buques mercantes de mayor tamaño, pero nosotros destacamos los siguientes por su interés y relación con el uso de este sistema:

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

- Remolcadores.

Un remolcador es un buque especializado en maniobras de cabotaje, es decir apoyo portuario en las maniobras de amarre y desamarre de otros buques, acompañamiento durante la entrada a puerto por seguridad, remolques de buques y objetos flotantes (bloques de hormigón para puerto) y algunos que tengan el equipo adecuado realizan labores contra incendios en la mar.

Para este tipo de buque se distinguen tres tipos según las limitaciones de operación que tienen, de puerto, de puerto y altura, y de altura y salvamento.

**Puerto:** Solo operan en tráfico interior de puerto.

**Puerto y altura:** Operan para servicios de puerto, remolques costeros y remolques de altura.

**Altura y salvamento:** Realizan remolques transoceánicos y prestan asistencia a buques bajo peligro en alta mar.

Para estos tres tipos de remolcador existen las mismas posibilidades en cuanto a sistemas de propulsión que se utilicen hoy en día y son los siguientes:

- Hélices convencionales: Aunque cada vez menos utilizadas en estos buques por la baja maniobrabilidad y la dificultad de invertir la marcha para acciones rápidas, hay remolcadores que siguen utilizando este sistema acompañado de hélices con paso variable, con tobera, o ambas aplicadas en la misma hélice. [9]

Un ejemplo de la aplicación de este método es el remolcador de puerto Boluda Garbi, utilizado hoy en día como cuarto remolcador en los puertos de Santa Cruz de Tenerife.



Figura 10. Remolcador Boluda Garbi. Fuente: [10]

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

- Propulsores azimutales: Es el más extendido entre los remolcadores hoy día, como se dijo anteriormente es un sistema de hélice timón, que permite gran maniobrabilidad y rapidez en la inversión de marcha (girar el propulsor). A parte, el sistema se puede aplicar del tipo pusher o tractor. **[9]**

Un ejemplo es el remolcador de puerto y altura VB-Canarias el cual es objeto de estudio de este trabajo, y se localiza en los puertos de Santa Cruz de Tenerife.



Figura 11. Remolcador VB-Canarias. Fuente: [11]

- Propulsor Voith-Schneider: Cada vez más utilizado en remolcadores de tipo portuario, porque ofrecen una mayor maniobrabilidad en espacios cortos y una mayor rapidez de ejecución en los cambios de dirección. Este sistema es de mayor aplicación para remolcadores de tipo tractor. **[9]**

Un ejemplo de aplicación de este sistema se encuentra en el buque remolcador Armen de la armada francesa, hoy en día en servicio.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



Figura 12. Remolcador Armen. Fuente: [12]

- Cruceros.

Los cruceros son barcos de pasaje enfocados a viajes turísticos con escalas por diferentes países. Son de gran tamaño y tiene una gran superficie de obra muerta.



Figura 13. Crucero MSC Fantasia. Fuente: Trabajo de campo.

Para este tipo de buques el sistema de propulsión más utilizado es el azipod, una de las razones es para el aprovechamiento del espacio para tanques almacén, cámaras frigoríficas, etc. Debido a que el uso de azipod libera gran parte del espacio de la sala de máquinas al no tener un motor de combustión interna, sino que está constituido por una planta generadora de motores diésel, encargados de producir la energía para almacenarla en baterías y que estas alimenten todos los equipos del buque, incluidos los motores eléctricos del sistema azipod. [6]

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

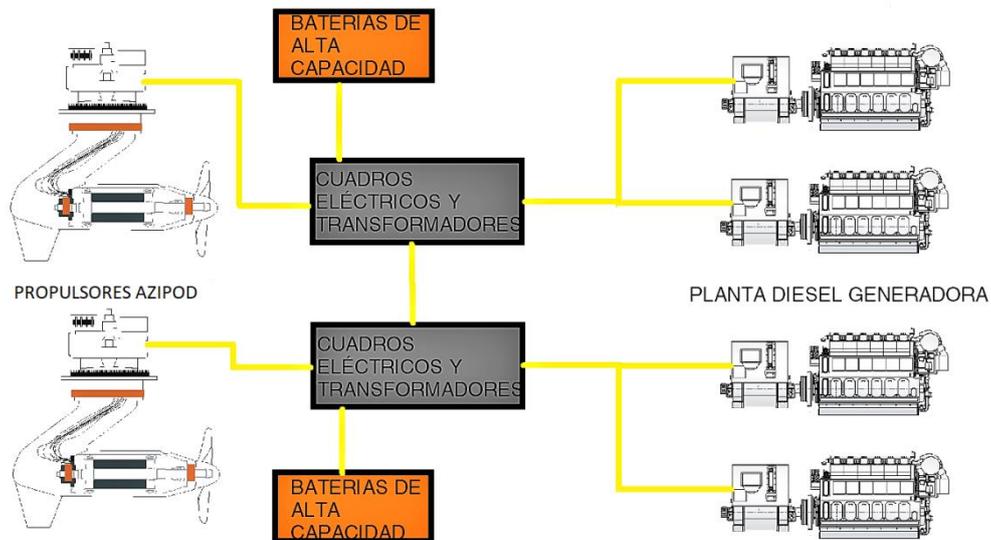


Figura 14. Diagrama planta propulsora de un crucero. Fuente: Elaboración propia.

También se escoge esta propulsión por sus características similares a los propulsores azimutales, gran maniobrabilidad, rapidez en la inversión de giro, etc. Y con la ventaja de un bajo mantenimiento.

- Plataformas y buques de perforación petrolíferos.

Las plataformas y buques de perforación petrolíferos son estructuras de grandes dimensiones con la función de extraer petróleo y gas natural de los yacimientos situados en el lecho marino. [13]

Existen diferentes tipos de plataformas petrolíferas, pero se destacan las semisumergibles y los buques perforadores por la utilización de propulsores azimutales. Ambos buques cuentan con múltiples propulsores bajo el casco, pero con una diferencia, mientras que el buque perforador tendría en la popa del casco cuatro propulsores y a tres cuartos de la proa otros dos, la plataforma no tiene un casco como tal sino que flota sobre dos patines de forma rectangular, con la posibilidad lastrarlos para aumentar o disminuir su calado (mayor o menor estabilidad), entonces a lo largo de estos dos patines se fijan los propulsores. [13]

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

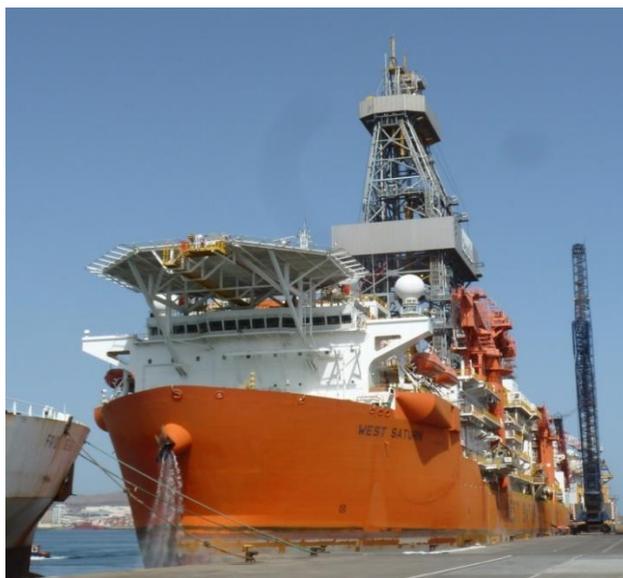


Figura 15. Buque perforador West Saturn. Fuente: [14]

El gran número de propulsores no es para una mayor potencia, es para aplicar el sistema de posicionamiento dinámico. Este sirve para mantener en un radio fijo a este tipo de buques con el fin de que mientras estén extrayendo los recursos del fondo oceánico el buque no se desplace por las corrientes y el viento, sino que se mantenga estable para evitar una rotura de la tubería de extracción y por lo tanto un desastre medioambiental. [13]

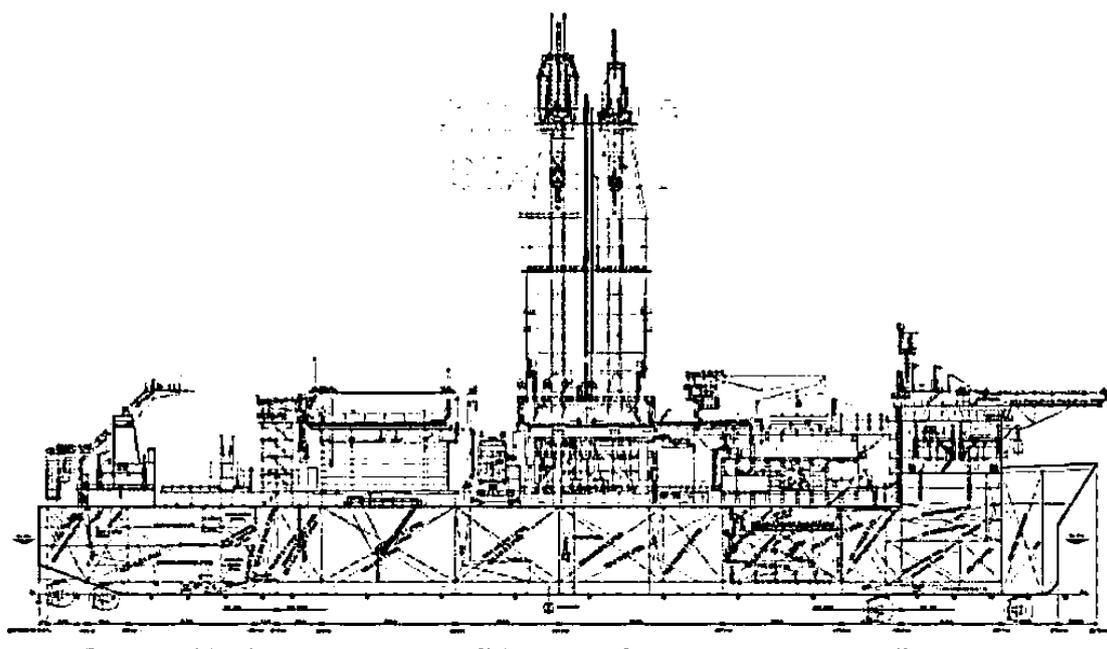


Figura 16. Plano de formas del buque perforador West Saturn. Fuente: [15]

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

El sistema de posicionamiento dinámico es un controlador informatizado que guía a todos los propulsores bajo un rumbo o posición, y tiene en cuenta variaciones en el viento, corrientes, mareas y oleaje, es decir todo aquello que pueda afectar a la navegación de la plataforma o buque, estos valores los toma utilizando los elementos de navegación propios del buque. [13]

Gracias a este sistema ya no se requiere de costosas operaciones para fijar las plataformas al lecho marino, por eso en la actualidad se opta por el uso de estos sistemas de propulsión junto al sistema de posicionamiento dinámico para el desarrollo de actividades petrolíferas en alta mar. [13]

### 3.6. Comunicación y control entre puente y máquinas.

Antiguamente la comunicación de órdenes entre el puente y la sala de máquinas se realizaba por medio de un dispositivo denominado telégrafo, dicho dispositivo se instalaba en el puente de mando del buque y una réplica de este en la sala de máquinas del mismo buque, por medio de este se transmiten las órdenes de marcha. La ventaja que ofrece es que es un medio eficaz y fiable de comunicación. [16] [17]



Figura 17. Telégrafo náutico. Fuente: [18]

El funcionamiento era simple, el patrón, piloto u oficial de puente accionaba el mecanismo dando la posición que se requería, esta acción hacía saltar una alarma en la sala de máquinas y en el mismo puente, indicativo de que había una orden nueva y esta no había sido aceptada por el departamento

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

de máquinas, cuando el maquinista igualaba la posición con su telégrafo esta alarma cesaba y significaba que se había recibido e interpretado la orden. Luego el maquinista era el encargado de operar la máquina para satisfacer la demanda (la orden) por lo tanto, podríamos decir que el telégrafo era el instrumento de comunicación y confirmación de órdenes entre el puente y la máquina y el maquinista el controlador de la máquina. [16] [17]

Hoy en día, aunque sigue siendo utilizado el telégrafo como un instrumento de comunicación, este ha sido sobrepasado por otros instrumentos más modernos y más eficientes, aun así, los buques cuentan con este sistema para casos de emergencia, ya que es autónomo al suministro eléctrico del barco.



**Figura 18. Telégrafo moderno. Fuente: Trabajo de campo.**

Y como elemento de control se ha sustituido al intermediario, es decir al maquinista, ya que en la actualidad desde el puente se tiene control de todos los sistemas de propulsión, como pueden ser el control de las revoluciones del motor, o la posibilidad de cambiar directamente de avance hacia atrás sin necesidad de realizar operaciones en la máquina. Por lo que son métodos más rápidos en la actuación y más seguros.

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

### 3.7. Remolcador VB-Canarias.

En cuanto al buque VB-Canarias, del cual se desarrolla el estudio, tiene unas dimensiones de 30 metros de eslora por 10,6 metros de manga. Construido en el año 2004 es el remolcador más moderno operativo en los puertos de Santa Cruz de Tenerife. [19]

El VB-Canarias puede llegar a desarrollar una potencia de 5.440 HP, por medio de dos motores Diesel. Su tipo de propulsor es azimutal, este buque utiliza dos de estos para obtener un mayor control en maniobras de remolque. Sus dos propulsores se encuentran situados a popa del buque por lo que la propulsión sería A.S.D., o lo que es lo mismo Azimuth Stern Drive. [19]



Figura 19. VB-Canarias amarrado en puerto. Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de los otros remolcadores del puerto de Santa Cruz de Tenerife, este es el único con un sistema de paso variable integrado en las palas, todos los demás deben variar sus revoluciones para poder dar mayor potencia al empuje o a la tirada. Esto ofrece una menor contaminación y consumos más estables con una potencia de remolque similares o mayores incluso que otros remolcadores.

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

## IV. Metodología.

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

# *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

## **IV. Metodología**

La metodología aplicada en referencia a este Trabajo Fin de Grado titulado *Funcionamiento y control de los propulsores azimutales del buque VB-Canarias*, se detalla dividida en estos apartados:

### 4.1 Documentación bibliográfica

En ella se recogen todas fuentes consultadas, tanto manuales, como libros técnicos, páginas webs e imágenes que se han ido recogiendo a lo largo del periodo de embarque y de este Trabajo Fin de Grado.

También se incluyen conocimientos técnicos adquiridos durante el período de embarque en el remolcador VB-Canarias.

### 4.2 Metodología del trabajo de campo

El desarrollo de este Trabajo Fin de Grado viene de la experiencia como alumno de máquinas en el buque VB-Canarias, en el cual se implementa un sistema de propulsión azimutal con palas de paso variable para la propulsión y maniobra del buque.

Asimismo, para la comprensión más didáctica de este Trabajo Fin de Grado, se han añadido fotos, vídeos, y una maqueta explicativa del funcionamiento del paso variable de la hélice.

### 4.3 Marco referencial

El marco referencial de este Trabajo Fin de Grado es el buque remolcador VB-Canarias, buque perteneciente a la corporación marítima de barcasas y remolcadores de Boluda.

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

## V. Resultados.

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

# FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

## V. Resultados.

Este apartado se evidencia los conocimientos adquiridos a lo largo del transcurso por la universidad y los obtenidos durante las prácticas a bordo del remolcador VB-Canarias, reflejados en dirección a los objetivos marcados y que son objeto de estudio en este Trabajo de Fin de Grado.

### 5.1. Descriptiva y localización de los elementos que influyen en la propulsión.

Para comenzar a entender los propulsores azimutales antes debemos dejar claro todos los elementos que dan paso a la propulsión, donde se sitúan estos en el buque y la función que estos tienen para la propulsión y manejo del buque.

La situación de los elementos que influyen en la propulsión podemos verlos en el siguiente plano, donde se localizan y enumeran los elementos a tratar en este apartado o posteriores.

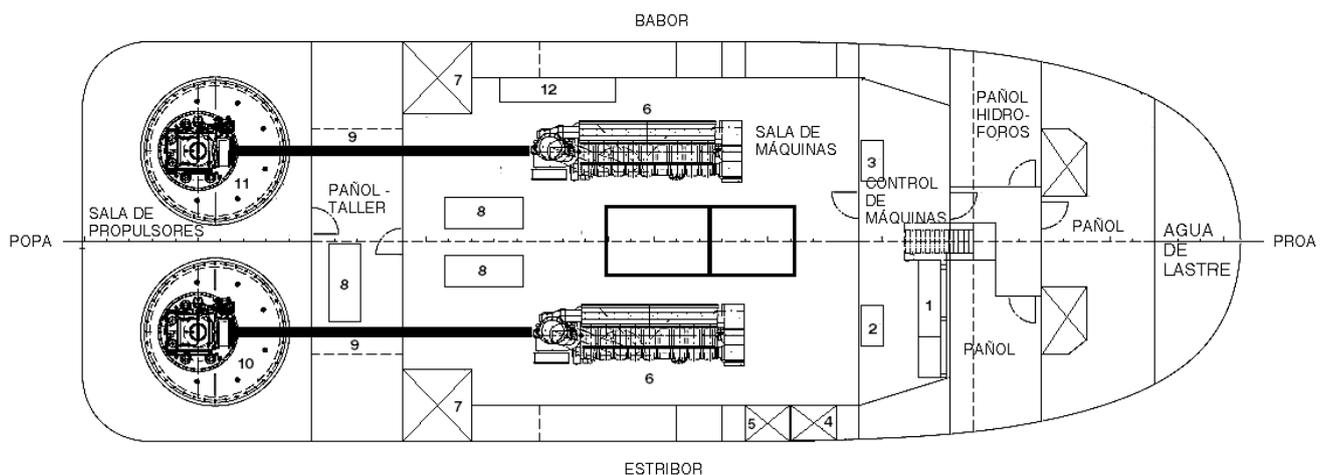


Figura 20. Esquema cubierto sala de máquinas del buque VB-Canarias. Fuente: Elaboración propia.

- |                                  |                                     |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Cuadro eléctrico planta.      | 7. Box cooler.                      |
| 2. Cuadro propulsor de estribor. | 8. Motores auxiliares.              |
| 3. Cuadro propulsor de babor.    | 9. Ejes de transmisión.             |
| 4. Tanque de aceite hidráulico.  | 10. Propulsor de estribor.          |
| 5. Tanque de aceite pesado.      | 11. Propulsor de babor.             |
| 6. Motores principales.          | 12. Compresores y botellas de aire. |

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

### 5.1.1. Planta de potencia

El buque VB-Canarias se propulsa por medio de dos motores de combustión interna (M.C.I.), situados en la sala de máquinas (*Figura 20/6*) al medio del eje longitudinal del barco justo debajo de las chimeneas y el puente de este, para mejorar la estabilidad también se reparte el peso de estos colocando cada uno a la misma distancia del eje longitudinal en el plano transversal del buque, es decir, situados más hacia el casco del buque, que hacia el centro de este.



**Figura 21. Motor principal del VB-Canarias. Fuente: Trabajo de campo.**

En cuanto a las características técnicas de ambos motores podemos decir que son motores lineales de nueve cilindros, turboalimentados capaces de dar una presión al aire de admisión de 7,5 bar a plena carga, con una cilindrada total de 114 dm<sup>3</sup> que a plena carga desarrollan una potencia de 2025 kW cada uno.

Normalmente los motores no trabajan a plena carga, sino que su régimen entendido como normal es a unas 900 rpm constantes, en vez de las 1000 rpm en plena carga, es decir que trabajamos a un 90% de las posibilidades del buque sin que afecten a la efectividad de explotación de este. Esto último se debe a que mantenemos unas revoluciones constantes de los motores pudiendo variar la potencia al momento por medio del paso variable de las palas de la hélice permitiéndonos una combustión estable, pudiendo así obtener un ahorro de combustible (consumos estables), una menor contaminación y alargar la vida útil y/o facilitar el mantenimiento de estos motores.

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

En cambio, en los otros remolcadores de puerto, destinados en Santa Cruz de Tenerife, que no constan de este sistema de paso variable necesitan variar sus revoluciones para ofrecer una mayor o menor potencia en las maniobras. Por esta razón podríamos decir que también ofrece una ventaja estética al no emitir una nube de inquemados durante las operaciones de remolque.

Los motores del VB-Canarias se utilizan para dar el giro a la hélice y alimentar las bombas centrífugas contra incendios por medio de reductoras multiplicadoras de potencia.

### 5.1.2. Sistema de transmisión de movimiento

El sistema de transmisión (*Figura 20/9*) del movimiento es el encargado de continuar el movimiento de giro producido por el motor hasta el embrague, situado antes del propulsor azimutal, y luego en el recorrido interno de la azimutal hasta la hélice. Este tramo está conformado por diferentes elementos que podemos clasificar en dos grupos, elementos de transmisión y elementos de apoyo y antifricción.

Elementos de transmisión: Son aquellos que tienen como función continuar el movimiento a lo largo de una sección o tramo. Para el caso del buque VB-Canarias podemos identificar los siguientes elementos en este grupo:

- Ejes (*Figura 24/3*): elementos constructivos de tramo recto y sección constante destinados a la transmisión, en este caso, del giro del motor hasta la hélice.
- Articulaciones (*Figura 24/1*): elementos de conexión entre dos sólidos que permiten la transmisión del movimiento en ángulos y bajo vibraciones. En nuestro caso las articulaciones son rígidas de tipo cardán, y necesarias ya que la forma del casco de los remolcadores tiene unas formas en ángulo, para permitir la colocación de los propulsores, y es por eso que se necesitan articulaciones ya que la salida del eje no es recta si no que va acoplado a la parte superior de la azimutal.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



Figura 22. Articulación del eje. Fuente: Trabajo de campo.

- Engranajes (*Figura 24/4 y 5*): son elementos de transmisión de potencia y movimiento, (circular) entre dos componentes, formados por dos ruedas dentadas una que transmite el movimiento o piñón y otra que lo recibe o corona.

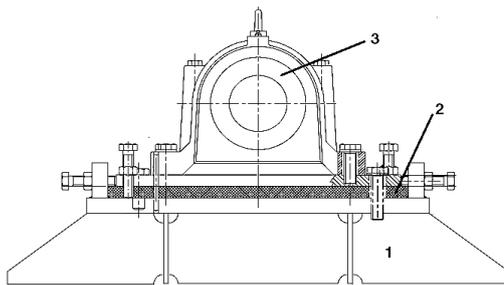
Para nuestro caso el único tramo que implementa estos elementos es el recorrido interno de la azimutal, que está formado por un tramo de eje de entrada horizontal enchavetado a un piñón cónico y este engranado a una corona cónica enchavetada también a otro eje vertical, formando una unión a 90°. A su vez el eje vertical transmite el movimiento por medio del mismo sistema piñón y corona cónica para conseguir un tramo de eje final o de salida en horizontal, el cual se conecta a la hélice. Este sistema se denomina Z drive y es propio en uso de las azimutales.

La reducción de revoluciones se produce precisamente en esta parte del sistema de transmisión por medio del conjunto de engranajes, teniendo una relación de reducción de 4,044:1. Esto es fundamental ya que la hélice no puede girar a unas revoluciones excesivas como son las del motor porque se produciría el fenómeno de cavitación.

Elementos de apoyo y antifricción: Son aquellos que su función es sujetar los tramos de eje para evitar la desalineación y flexión de los mismos. Dentro de este grupo podemos encontrar para este caso dos tipos de elementos que son los siguientes:

- Cojinetes antifricción (*Figura 24/2*): Son aquellos donde se soporta y gira el eje. Estos están repartidos a lo largo del eje para evitar flexiones por el propio peso del eje.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



1. Bancada, soporte.
2. Bloque de resina (vibraciones).
3. Cojinete de material antifricción.

Figura 23. Cojinete antifricción del eje. Fuente: [20]

- Rodamientos: Son aquellos que como los cojinetes sirven de apoyo al eje, pero con la diferencia de que estos a su vez pueden evitar el desplazamiento axial del eje.

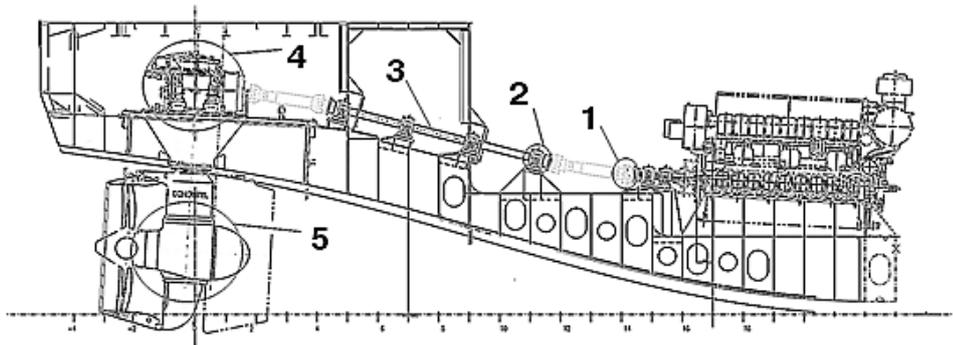


Figura 24. Esquema de la situación del sistema de transmisión. Fuente [20]

1. Articulaciones.
2. Cojinetes.
3. Ejes.
4. Conjunto de engranajes superior Z-Drive.
5. Conjunto de engranajes inferior Z-Drive.

### 5.1.3. Sistema de aire.

El sistema de aire está compuesto por dos compresores alternativos y dos botellas (*Figura 20/12*), de 250 litros de capacidad cada una, todos estos componentes están situados a la banda de babor dentro de la sala de máquinas, de ahí se transporta a todos los lugares donde sea necesario el uso del aire.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

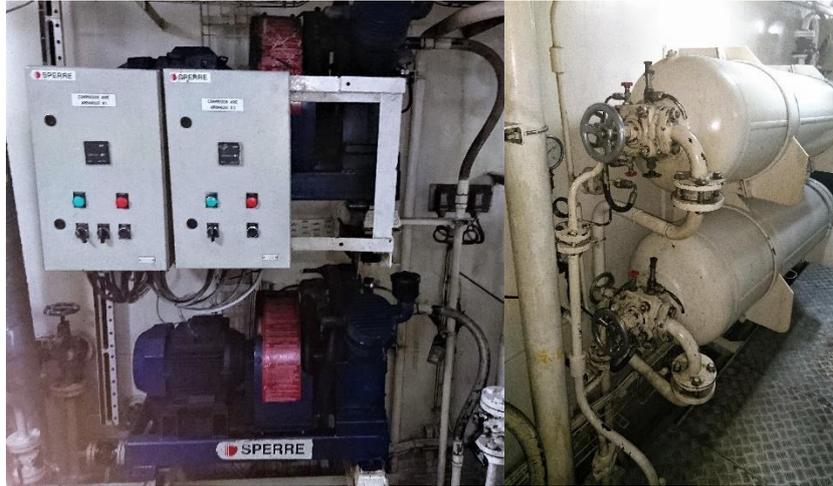


Figura 25. Compresores y botellas del sistema de aire. Fuente: Trabajo de campo.

El sistema de aire comprimido desempeña varias funciones muy importantes en el correcto funcionamiento del buque. Este, dentro del barco, se utiliza para varios servicios como son el sistema deshumificador de aceite, la separadora de sentina, el sistema contra incendios, denominado FI-FI, para labores de limpieza con aire, para la bocina, el sello de la azimutal, el embrague y el sistema de arranque de los motores principales. Estos dos últimos son los que se tratarán en este apartado ya que son los que realmente desempeñan una función en la propulsión del buque.

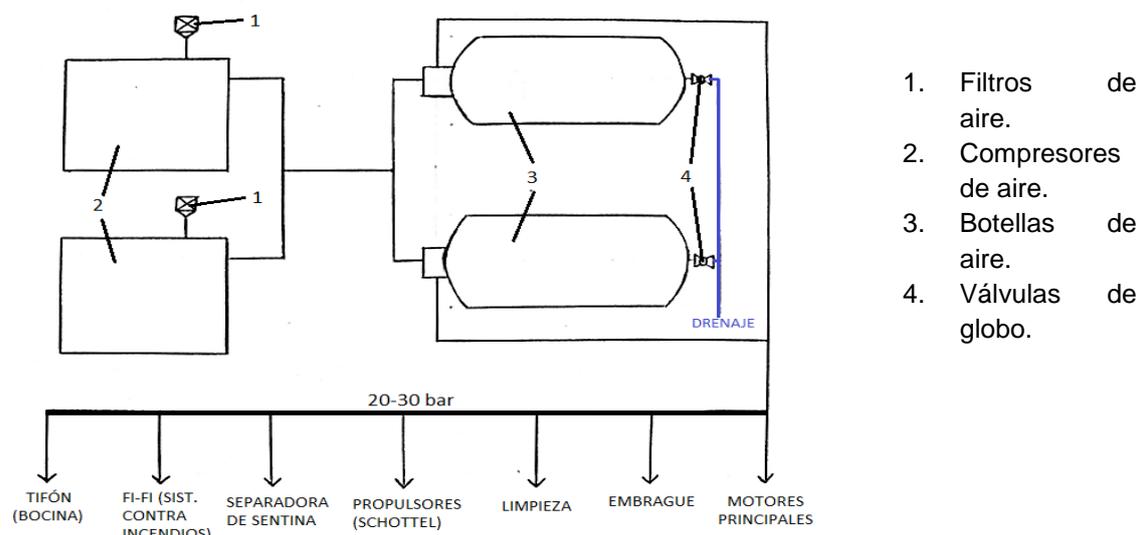


Figura 26. Diagrama del sistema general de aire comprimido. Fuente: Elaboración propia.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

- Sistema de arranque de los motores principales: Es vital para poner en funcionamiento los motores que nos darán ese movimiento para la propulsión.

Su funcionamiento es simple, se basa en utilizar aire a una alta presión, para inyectarlo en la cavidad del cilindro del motor, y hacerlo girar para obtener la primera compresión y dar comienzo al ciclo normal del motor. Para ello se requiere una presión de 30-28 bar, aunque podría arrancar con una mínima de 7 bar.

- Sistema de embrague: El embrague está situado a la popa del buque y es la conexión entre el eje que viene del motor y el eje de la azimutal. Su accionamiento es por aire a presión, y este permite, o no, según se requiera, la transmisión de potencia del motor a la hélice.

El embrague de este barco es de accionamiento neumático, es decir, el aire a presión es conducido por una cámara elástica (*Figura 27/2*), con forma de aro que se expande de manera radial por medio del aire comprimido, a su vez, empuja un anillo interior, repleto completamente de zapatas de fricción (*Figura 27/8*), distribuidas radialmente, estas zapatas por medio de fricción agarran el eje y consiguen transmitir el movimiento a la entrada del propulsor.

Cabe destacar que el funcionamiento del embrague es a una presión de 8-10 bar por lo tanto, se realiza una reducción de la línea de presión con un manorreductor.

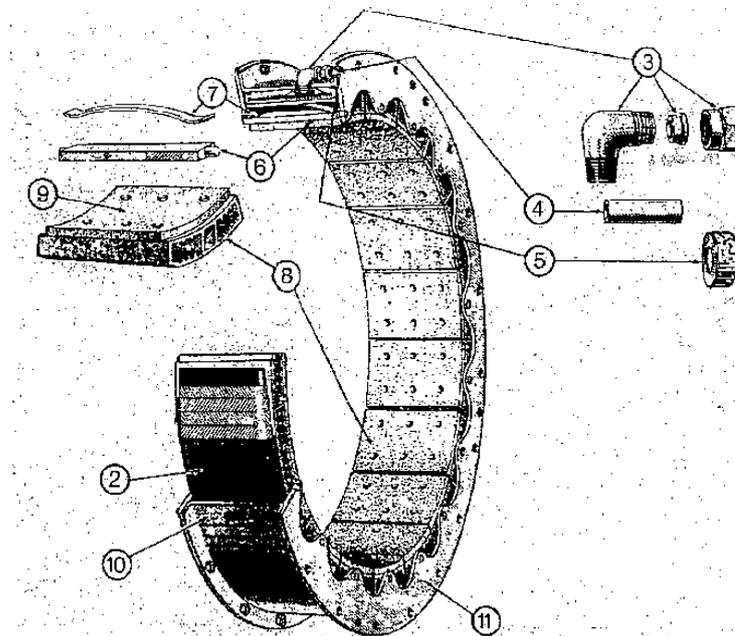


Figura 27. Despiece del embrague. Fuente: [20]

- |                              |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1. Embrague.                 | 7. Muelle.                    |
| 2. Tubería de goma elástica. | 8. Zapatas de fricción.       |
| 3. Tubo en codo.             | 9. Revestimiento de fricción. |
| 4. Tubos para aire a presión | 10. Montura.                  |
| 5. Junta tórica.             | 11. Plato lateral.            |
| 6. Barras de torsión.        |                               |

# FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

## 5.2. Azimutal

En este apartado se tratará de explicar todos los sistemas y partes que influyan en el correcto funcionamiento de las azimutales del buque VB-Canarias (*Figura 20/10 y 11*) y que actividad desempeñan cada uno de ellos en los propulsores.

### 5.2.1. Descriptiva

Las azimutales del buque VB-Canarias son del fabricante Schottel del tipo SRP 1515 CP, se localizan en la sala más a popa del barco, ya que el remolcador es de propulsión A.S.D.

A primera vista en la sala vemos dos masas de base circular y de gran diámetro donde se asientan dos grandes cajones de forma cuadrada. Estos están situados a ambos lados del eje longitudinal del buque, y a su alrededor se identifican diversos elementos con relación para su funcionamiento, entre ellos parte del eje de transmisión, el embrague, los dos acumuladores del sistema de aire, etc. Por otro lado, la mayor parte del propulsor no está a la vista ni se puede acceder a ella sin tener que varar el buque, ya que está sumergida en el agua.



Figura 28. Propulsor modelo Schottel del buque VB-Canarias. Fuente: Trabajo de campo.

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

### 5.2.2. Sistema de lubricación.

Las azimutales están lubricadas por medio de aceite pesado, propio para los engranajes, de alta viscosidad y de tipo según la clasificación ISO-VG 100 a 40°C. Se almacena en un tanque situado en el costado de estribor con un volumen de 4,6 m<sup>3</sup>, por lo que se podría llegar a almacenar hasta 4600 litros, este tanque simplemente es almacén ya que como se dijo antes el propulsor cuenta con su propio tanque para el aceite de uso, denominado tanque de compensación situado en la parte superior de la azimutal.

El método de lubricación de dichos propulsores es una combinación de lubricación por chapoteo y por inmersión en el aceite:

- Por chapoteo: Este método consiste en la lubricación por el propio movimiento de las piezas, que están semisumergidas en aceite, de manera que recogen el aceite y son capaces de llevarlo a los puntos críticos de engrase del mecanismo.

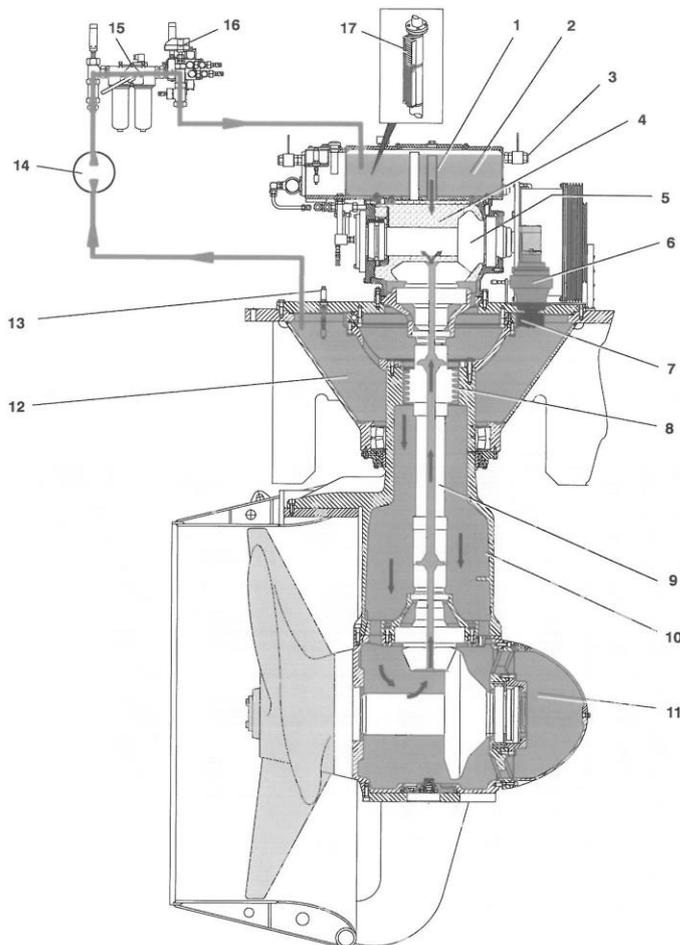
En la azimutal se aplica en la caja de engranajes superior, para la primera conexión de engranajes cónicos de lo que se conoce como Z drive.

- Por inmersión: Este método consiste en la inmersión total del mecanismo en aceite.

Este sistema es para la mayor parte de la azimutal agrupando en él, el eje de transmisión vertical, la caja de engranajes inferior y el cono de soporte.

El circuito realizado por este aceite comienza en el tanque de compensación (*Figura 29/2*), el cual tiene como objetivo determinar la cantidad correcta de lubricante aportado al mecanismo, esto último lo realiza de manera muy simple, colocando un tubo de rebose (*Figura 29/1*) en su interior conectado a la caja superior de engranajes (*Figura 29/4*), así, cuando rebose, el aceite es conducido a los engranajes superiores para su lubricación.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



1. Tubería de rebose.
2. Tanque de compensación de aceite.
3. Visor nivel de aceite.
4. Cajón de engranajes superior.
5. Engranajes cónicos.
6. Virador de giro.
7. Junta del cono soporte.
8. Helicoide de circulación.
9. Eje vertical de potencia.
10. Eje azimutal.
11. Cajón de engranajes inferior.
12. Cono soporte.
13. Indicador de nivel.
14. Bomba de aceite.
15. Pareja de filtros de aceite.
16. Válvula termostática.
17. Indicador de nivel en el tanque de compensación.

Figura 29. Diagrama del flujo de aceite de lubricación. Fuente: [20]

Después continúa cayendo por gravedad hasta el cono de soporte (Figura 29/12) donde está acumulado casi todo el aceite de servicio, desde este, se siguen dos caminos: El primero seguiría por efecto de la gravedad hacia la caja inferior de engranajes (Figura 29/11), lubricando así el eje vertical (Figura 29/9) y los engranajes inferiores, luego, por acción de un helicoides (Figura 29/8) que pasa por dentro del eje vertical, el aceite vuelve a subir hasta la caja de engranajes superior, para nuevamente pulverizar el aceite y lubricar los engranajes y los ejes superiores. El segundo camino es el retorno al tanque de compensación por medio de una bomba (Figura 29/14) accionada por el propio movimiento del motor, mediante poleas y correas, que recoge el aceite del cono de soporte y lo impulsa haciéndolo pasar por dos filtros en paralelo (Figura 29/15) y por una válvula reguladora de temperatura (Figura 29/16), que dependiendo de la temperatura del aceite lo hace pasar por un enfriador antes de llegar al tanque o directamente lo conduce al tanque de expansión.

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

### 5.2.3. Sistema hidráulico.

En este sistema se utiliza claramente aceite hidráulico del tipo HLP 32. Este, igual que el aceite pesado del Schottle, se almacena dentro de un tanque situado en el costado de estribor del buque con un volumen de 1,5 m<sup>3</sup>, es decir que puede llegar a almacenar 1500 litros. Pero igual que para la lubricación el propulsor cuenta con un pequeño tanque de servicio en su parte superior, de este es de donde se alimentan los circuitos para el accionamiento del sistema.

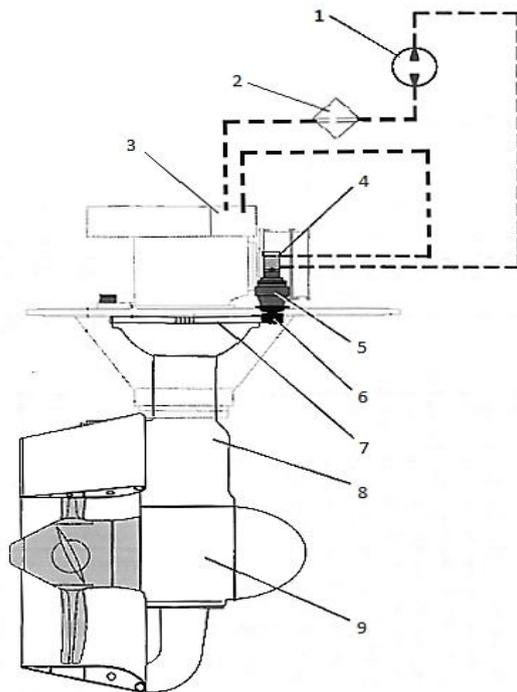
Dentro de las operaciones se identifican dos subsistemas, uno que actúa en el giro del propulsor y otro para accionar el paso variable de las palas, los cuales vamos a desarrollar a continuación:

- Hidráulica para el giro.

El giro de la azimutal se realiza mediante un circuito cerrado hidráulico, donde una bomba hidráulica (*Figura 30/1*), accionada por el giro del eje mediante la transmisión por correa, aspira del tanque hidráulico (*Figura 30/3*) y da la presión al fluido para que este a su vez haga girar tres pequeños piñones engranados y distribuidos por una corona dentada que corresponde al eje de apoyo del propulsor, a este conjunto del piñón alimentado con la presión hidráulica lo denominamos motor hidráulico o servo motor (*Figura 30/4*). El circuito de aceite también pasa por un filtro (*Figura 30/2*) situado a la aspiración de la bomba.

Por último, antes de volver al tanque, el aceite es refrigerado por medio de un intercooler que utiliza el agua de mar para enfriar el aceite por medio del contacto superficial con la tubería por donde pasa el aceite. El enfriador está situado en, lo que se conoce en el buque, como caja de enfriadores (Box cooler), es básicamente un cajón con conexión al mar donde se encuentran todos los serpentines de enfriadores del buque.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



1. Bomba hidráulica.
2. Filtro aceite hidráulico.
3. Tanque aceite hidráulico.
4. Motor hidráulico.
5. Engranajes planetarios.
6. Piñón de giro.
7. Corona dentada de giro.
8. Eje vertical del propulsor.
9. Propulsor.

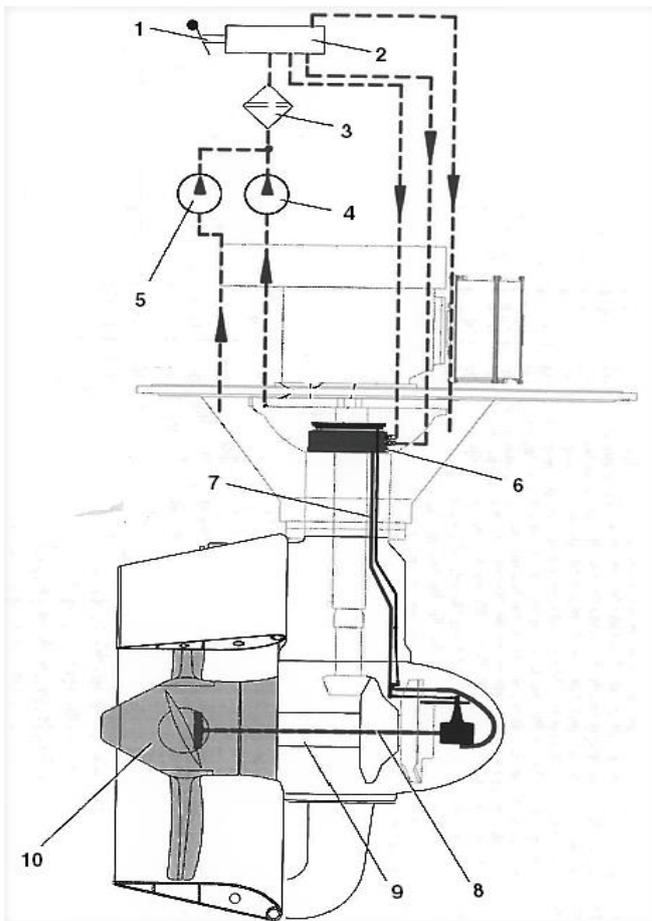
Figura 30. Diagrama flujo de aceite hidráulico para el giro. Fuente: [20]

- Hidráulica para el paso variable de la pala.

Para el sistema de cambio de posición en las palas de la hélice se utiliza aceite pesado del Schottle a una presión media, comenzando el recorrido aspirando desde el cono de soporte y utilizando una bomba accionada eléctricamente (*Figura 31/5*) hasta que el motor alcance las 600 rpm para poder trabajar con la bomba accionada mecánicamente (*Figura 31/4*) por el mismo motor. Ambas están conectadas en paralelo y son las mismas que se usan para el circuito de lubricación.

Después se envían a los filtros colocados en paralelo (*Figura 31/3*), y a la válvula solenoide direccional (*Figura 31/2*), el objetivo de esta es mandar el aceite a presión al sistema distribuidor de la posición de las palas o mantenerlo en recirculación según convenga. Para el caso de recircularlo simplemente volvería al cono de soporte, en cambio si fuera hacia la distribución podría ir para aumentar la posición positivamente o por el contrario aumentar la posición negativamente.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



1. Palanca manual.
2. Válvula solenoide.
3. Filtros paralelos.
4. Bomba hidráulica acoplada.
5. Bomba hidráulica eléctrica.
6. Distribuidor rotacional.
7. Líneas de aceite a presión media.
8. Varilla metálica.
9. Eje de salida.
10. Bloque empujador.

Figura 31. Diagrama flujo de aceite para el paso variable.

Fuente: [20]

Para realizarlo el distribuidor de aceite de las palas trabaja como un émbolo, permitiendo según por el lado que se mande el aceite, moverse hacia adelante o hacia atrás y como este está conectado a su vez mediante, una varilla metálica (*Figura 31/8*) conectada en su otro extremo a un bloque empujador (*Figura 31/10*). Este último es el que realiza la transformación del movimiento rectilíneo uniforme entrante por la varilla a un movimiento circular uniforme de salida en la pala, mediante acanaladuras en la base de cada pala de una determinada longitud para limitar los grados en los que se puede variar la posición, y un pivote en el bloque empujador que encaja en esta acanaladura mencionada.

Cabe destacar que el aceite entre la válvula solenoide y el distribuidor pasa por un elemento denominado distribuidor rotacional (*Figura 31/6*), el cual permite comunicar las dos partes de la línea independientemente de que el propulsor esté girando sobre su eje vertical. También, que el paso variable funciona independientemente del giro de la hélice, debido a que el émbolo de aceite no está sujeto a ningún cuerpo, esto quiere decir que el eje horizontal del

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

paso variable puede girar con la hélice porque la carcasa del émbolo está sustentada de manera que debe a este último rotar sobre dicho eje.

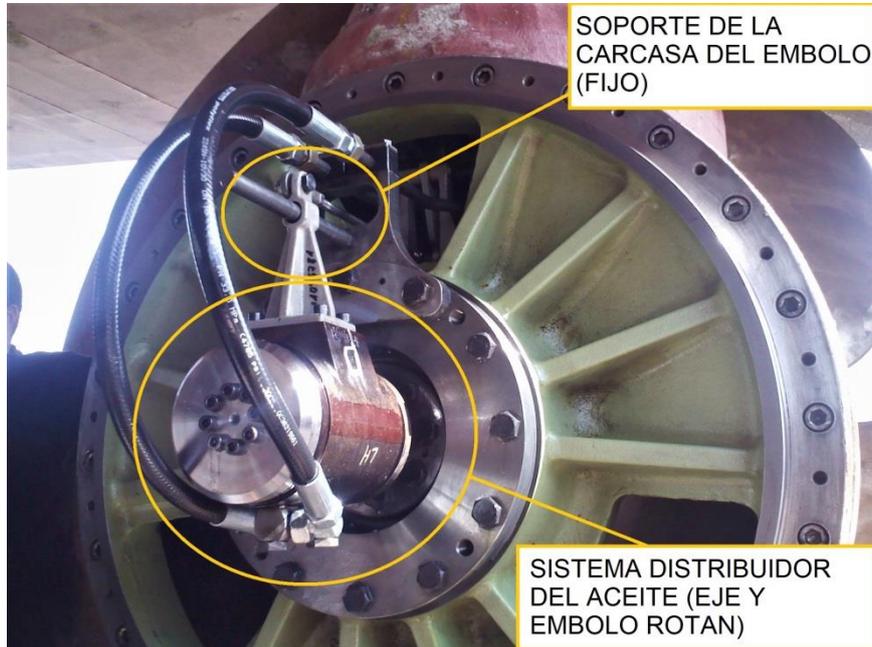


Figura 32. Embolo del paso variable de la pala. Fuente: [11]

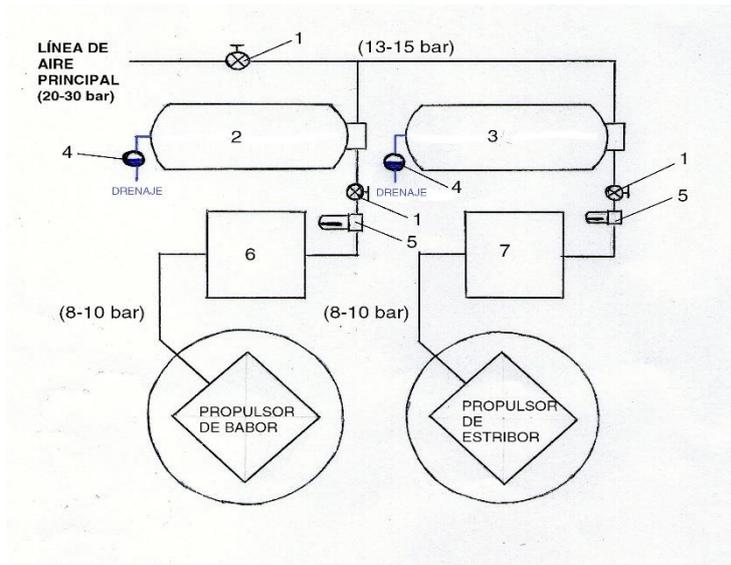
De esta manera se soluciona el problema de poder variar el paso de la pala mientras la hélice gira.

### 5.2.4. Sistema de aire de las azimutales.

Por otro lado, está el aire, esta la función que desempeña es el sellado de la junta del rotor.

El circuito para esta parte deriva del principal, anteriormente tratado en el apartado “5.1.3.”, de donde ramifica a una línea de presión reducida a 10-8 bar por medio de un manorreductor. En dicha línea posterior al manorreductor se encuentran dos acumuladores situados en la sala de propulsores, uno para cada propulsor (babor y estribor), tienen una capacidad de 80 litros y son la reserva, junto al aire de las botellas, para poder operar los propulsores en caso de blackout (caída de la planta eléctrica), aunque también tienen la función de eliminar el agua del aire generada por la humedad del mismo. Esto último se realiza por medio de purgadores automáticos en ambos acumuladores. Luego de los acumuladores el aire pasa por un filtro deshumificador para eliminar, si queda, algún rastro de humedad en el aire, ya que después irá a la unidad de control de cada azimutal y esta es frágil ante la humedad.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



1. Manorreductores de presión.
2. Acumulador de estribor.
3. Acumulador de babor.
4. Purgadores automáticos.
5. Filtros deshumificador.
6. Controlador de aire de estribor.
7. Controlador de aire de babor.

Figura 33. Diagrama sistema de aire de los propulsores. Fuente: Elaboración propia.

La razón de que los acumuladores y todos los elementos estén en la sala de los propulsores es por una limitación de distancias en las tuberías después de los acumuladores, según el esquema del sistema de aire el tramo entre el acumulador y la unidad de control no puede exceder una distancia máxima de cuatro metros, y el tramo entre la unidad de control y el propulsor una distancia máxima de un metro y medio. La razón de estas limitaciones se entiende que es por las pérdidas de carga que se podrían ocasionar, una disminución de la presión en la línea o fluctuaciones del aire.



Figura 34. Acumulador y controlador de aire. Fuente: Trabajo de campo.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

### 5.2.5. Sistema eléctrico.

En cuanto al sistema eléctrico es el que engloba todos los controladores, reguladores, válvulas solenoide y cualquier elemento que necesite electricidad para su funcionamiento, lo que se traduce en un consumo eléctrico de cada uno de estos elementos. Por ello en este apartado se hace mención a la planta eléctrica del buque VB-Canarias ya que es fundamental para alimentar los controladores de las azimutales, del regulador de velocidad de los motores principales, y quizás lo más importante, de la interacción de órdenes entre el puente y la máquina. Entonces destacamos los siguientes aspectos:

- Motores generadores auxiliares

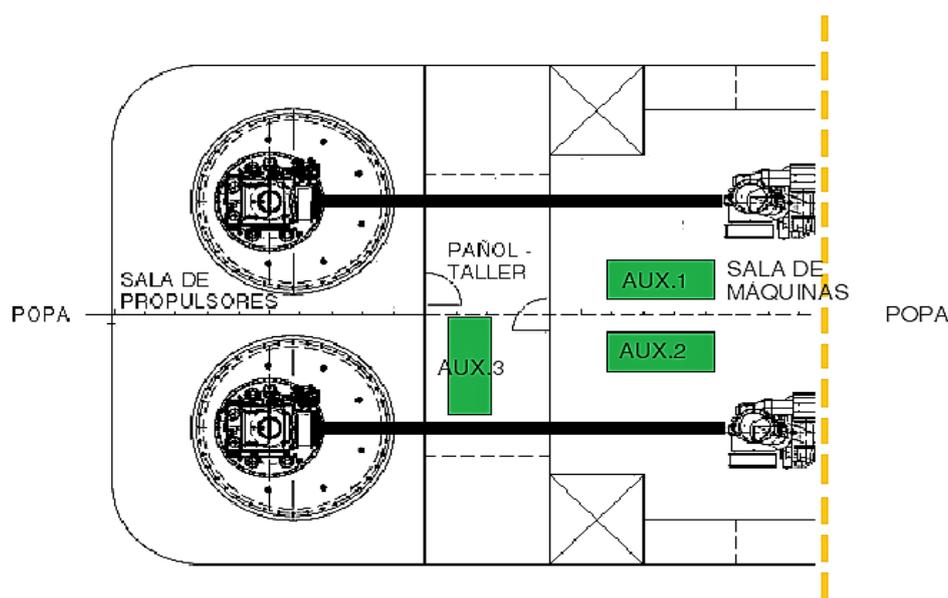


Figura 35. Esquema situación de los motores auxiliares. Fuente: Elaboración propia.

Para satisfacer la demanda eléctrica el buque VB-Canarias cuenta con una planta eléctrica formada por tres grupos generadores diésel (*Figura 20/8*) que pueden suministrar 64 kW cada uno a la red eléctrica, normalmente trabajan dos en paralelo a un 60% de carga aproximadamente y el tercero se deja en stand-by para casos de emergencia. Esto facilita el mantenimiento y operación, debido a que se turna entre los tres motores para equilibrar las horas de uso de estos y no sobrecargar a uno de ellos teniéndolo todo el rato en funcionamiento.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



Figura 36. Motor auxiliar del buque VB-Canarias. Fuente: Trabajo de campo.

En cuanto a la función que desempeñan para la maniobra de las azimutales, es una función indirecta, porque los únicos elementos que consumen electricidad directamente de la red de 400 voltios son los siguientes:

- Compresores de aire.
  - Cargador de las baterías (emergencia y auxiliares).
  - La alimentación para los cuadros principales de los propulsores.
  - Elementos como bombas eléctricas.
- 
- Corriente continúa

Por otro lado, la función del circuito de corriente continua a 24 voltios desempeña funciones directas en el manejo y control de las azimutales, todo el sistema de control eléctrico para los propulsores está recogido en dos cuadros dentro de la sala de control, uno corresponde con el propulsor de babor (*Figura 20/3*) y otro corresponde con el propulsor de estribor (*Figura 20/2*).

En estos cuadros se localizan los elementos eléctricos principales que dirigen y coordinan las órdenes comandadas hacia el Schottel, Se identifican los siguientes en la figura:

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



Figura 37. Cuadro eléctrico del propulsor. Fuente: Trabajo de campo.

También como circuito de corriente continua tenemos el procedente de las baterías de 24 V. Este es un sistema de seguridad en caso de caída total de planta, si esto sucede las baterías alimentarían lo básico para poder gobernar el buque durante un tiempo limitado. Este circuito es necesario por seguridad del buque y de los propios tripulantes de este, porque durante una maniobra de remolque tienes que tener la posibilidad de zafarte y alejarte del buque en caso de pérdida de planta.



Figura 38. Cajón de baterías de emergencia. Fuente: Trabajo de campo.

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

### 5.3. Mantenimiento realizado en las azimutales del buque.

El mantenimiento realizado en las azimutales es de carácter preventivo y predictivo intentando minimizar posibles fallos y el tener que recurrir a un mantenimiento correctivo. Por lo tanto, antes de desarrollar el mantenimiento dentro de la instalación se procede a definir en que consiste cada uno de los siguientes mantenimientos:

- El mantenimiento preventivo se define como aquel que se realiza de manera constante en un intervalo de tiempo prefijado, se utiliza para evitar fallos o averías por desgaste durante la vida útil de ciertos elementos. En este no se llega a aprovechar toda la vida útil de un elemento.
- El mantenimiento predictivo se define como aquel que se realiza para detectar fallos y evitar que estos se conviertan en una avería grave del sistema. Se realiza por medio de análisis, por ejemplo, del aceite, durante la operación de un sistema.
- El mantenimiento correctivo es aquel realizado una vez se haya producido la avería o el fallo del sistema, en él se aprovecha toda la vida útil de un elemento.

Una vez comprendidos los mantenimientos nos guiamos por el número de horas de funcionamiento del propulsor para realizarlo. Para proceder se comprueban las horas de operación del propulsor y se cotejan con la siguiente tabla:

<b>Periodo para el mantenimiento</b>	<b>Tareas a realizar</b>
Cada día (cambios de guardia)	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Revisar visualmente todo el sistema.</li><li>✓ Revisar el nivel en el tanque de compensación de aceite lubricante e hidráulico.</li><li>✓ Comprobar el correcto funcionamiento de los controladores y las alarmas relacionadas al sistema.</li></ul>
Después de 50 horas de operación	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Cambiar el aceite del virador de giro (Solo se ha habido una reparación o una puesta en marcha de cero)</li></ul>
Cada 1000 horas de operación o cada seis meses	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Retirar y analizar el aceite del propulsor, y cambiarlo o rellenarlo si se requiere.</li><li>✓ Revisar el nivel de aceite del virador de giro y rellenarlo si fuera necesario.</li></ul>
Cada 5000 horas de operación o cada 5 años	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Cambio de aceite de toda la azimutal y del sistema del virador de giro.</li></ul>

Dicha tabla está confeccionada por el fabricante pero en la instalación real nos enfrentamos a un problema que nos complica el seguir dichas instrucciones, es la falta de un indicador de horas de funcionamiento del propulsor, por lo tanto hay que guiarse por las horas marcadas de

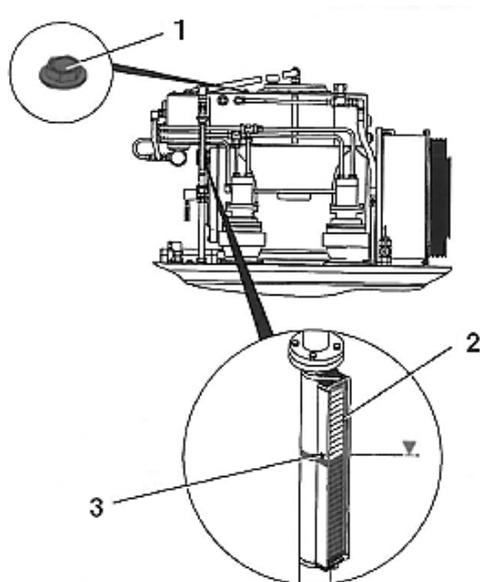
## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

funcionamiento de los motores principales pero aun así estas no coincidirán exactamente con las del propulsor, debido a que el motor principal puede estar arrancado pero la azimutal no recibir el giro de este por estar el embrague desacoplado.

### 5.3.1. Relleno de tanque de aceite.

El rellenado del tanque de compensación del aceite se realiza cuando se ve por el visor de aceite que el nivel es bajo, el propulsor deberá estar parado y en frío, es decir que el aceite se encuentre a temperatura ambiente, para realizar una correcta comprobación del nivel, ya que cuando está en funcionamiento el nivel por lo general baja.

Para realizar el relleno de los tanques se debe hacer cuando el propulsor no esté en funcionamiento y en frío. Posteriormente se abrirá un tapón situado en la parte inferior del tanque de compensación, y si fuera el relleno de toda la azimutal se abriría la válvula de bola situada en la base para despresurizar el recorrido interior y que el aceite avance.



1. Tapón tanque de compensación de aceite.
2. Indicador de nivel de aceite.
3. Marca para el llenado de aceite.

Figura 39. Relleno de tanque de aceite. Fuente: [20]

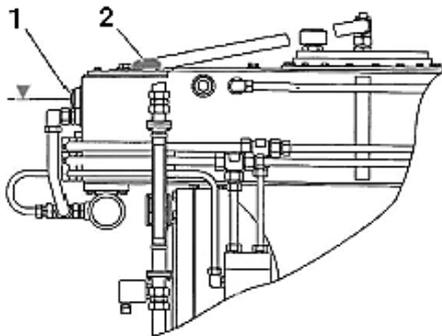
Una vez hecho esto se prepara la maniobra de bombeo, abriendo toda la línea desde el tanque almacén de aceite hasta el grifo localizado encima del tapón del tanque, se coloca en embudo en la apertura superior del tanque y se procede al bombeo por medio de una bomba manual. El tanque se llenará hasta que el indicador de nivel por rodillos llegue a la marca del nivel normal.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

### 5.3.2. Relleno sistema hidráulico.

Para realizar el relleno de aceite hidráulico primero como en el anterior se comprueba el nivel para ver si necesita rellenarse, esto se efectúa con el propulsor parado y en frío, o si la tabla de mantenimiento por horas lo determina.

Una vez comprobado y que requiere relleno se procede primero asegurando el propulsor para que no arranque mientras estamos realizándole el mantenimiento. Finalizado esto se abre el tapón de llenado situado en la parte superior del tanque de aceite hidráulico y se comprueba el nivel para asegurarse de que no ha subido.



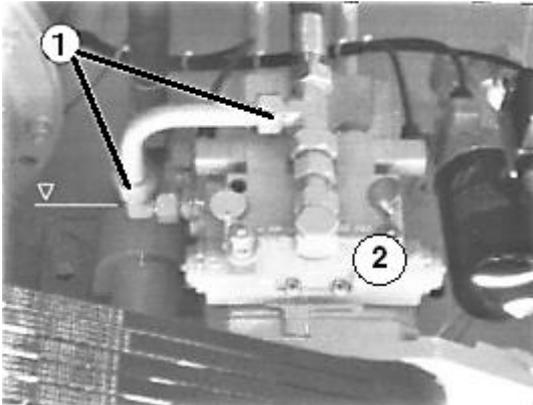
1. Visor del nivel del tanque.
2. Tapón tanque de aceite hidráulico.

Figura 40. Elementos para relleno del tanque de aceite hidráulico. Fuente: [20]

Luego dependiendo de lo que requiera relleno se procede de la siguiente manera:

- Bomba hidráulica: Se desconecta una sección de tubo y se rellena la bomba de aceite, al finalizar se vuelve a montar el tramo anteriormente quitado. Esta parte del mantenimiento es muy importante ya que si la bomba no estuviera inundada en aceite cuando fuese a funcionar se rompería en cuestión de minutos. Esto es debido a que los elementos internos de la bomba son de metales blandos como aluminio.

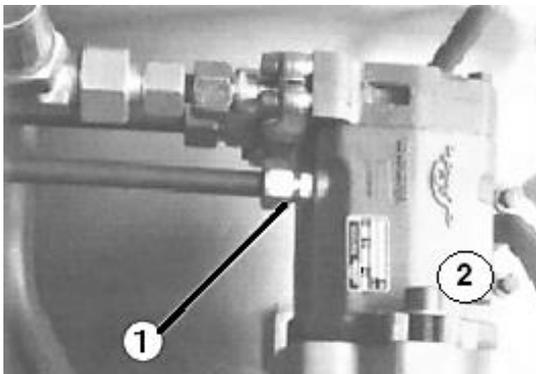
## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



1. Sección de tubo a desconectar para el correcto relleno de la bomba hidráulica.
2. Bomba hidráulica.

Figura 41. Relleno bomba hidráulica. Fuente [20]

- Motores hidráulicos: se desconecta el manguito que va hacia los motores hidráulicos y se rellena por él se vuelve a montar y se realiza una prueba conectando el equipo y dejarlo funcionando durante aproximadamente dos minutos a una velocidad reducida y realizando muchas variaciones en el controlador. Después se comprueba el nivel que este correcto, y si es así se finaliza si no se rellenaría con más aceite.

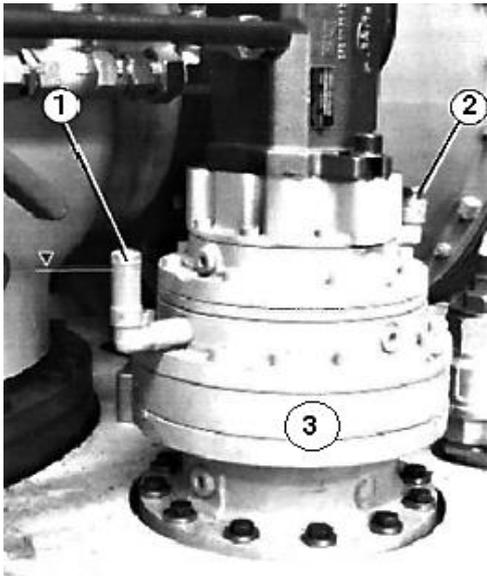


1. Conducto para realizar el relleno del motor hidráulico.
2. Motor hidráulico.

Figura 42. Relleno motor hidráulico. Fuente [20]

- Virador de giro: Se desconecta el indicador de nivel de aceite propio de él y el tapón. Se rellena por este último hasta que rebose por la tubería del indicador de nivel, se remplazan los sellos y se vuelven a conectar el indicador y el tapón. Por último, se realiza una prueba conectando el equipo y dejarlo funcionando durante aproximadamente dos minutos a una velocidad reducida y realizando muchas variaciones en el controlador. Después se comprueba el nivel que este correcto, y si es así se finaliza si no se rellena con más aceite.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



1. Indicador de nivel.
2. Tapón de llenado.
3. Virador de giro.

Figura 43. Relleno virador de giro. Fuente [20]

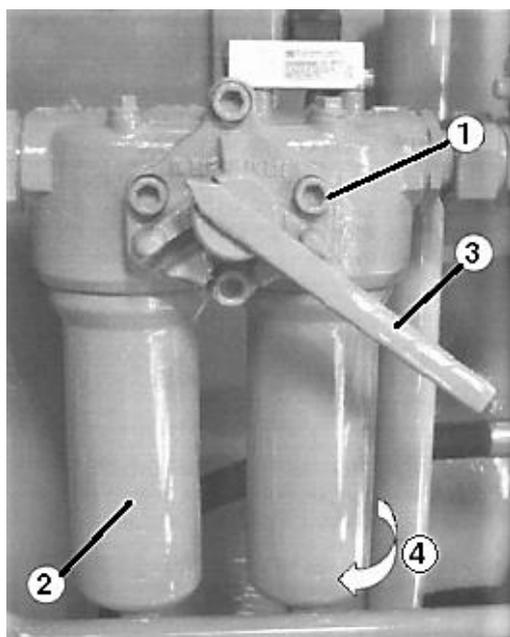
### 5.3.3. Cambio y limpieza de filtros sucios.

En la azimutal hay dos tipos de filtros, para el aceite de lubricación y para el aceite hidráulico, y como veremos el cambio de estos es por mantenimiento correctivo, es decir que se aprovecha toda la vida útil del elemento.

Los filtros de aceite de lubricación son filtros de malla metálica con forma cilíndrica, son lavables, es decir, una vez sucios se lavan y pueden volver a utilizarse. En este caso hay dos filtros paralelos con un selector para poder cambiar un filtro sucio durante el funcionamiento del propulsor, estos están situados en un lateral de la parte superior del propulsor, es fácil de identificar por su característica forma de cilindro. El cambio de estos filtros está controlado por una alarma específica para ello y se procede de la siguiente forma:

1. Se cambia el selector de posición, obligando al aceite a pasar por el otro filtro que se presupone limpio.
2. Se afloja la tuerca en la parte inferior a la carcasa donde está el filtro y se coloca una cubeta debajo para contener el aceite que todavía está en su interior.
3. Se extrae la carcasa desenroscando y el filtro tirando hacia abajo.
4. Se coloca un filtro limpio y se limpia la junta de la carcasa y la rosca para que asiente bien.
5. Y se vuelve a enroscar la carcasa y la tuerca de la parte inferior.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



1. Filtros paralelos.
2. Carcasa del filtro.
3. Selector de filtro.
4. Movimiento para desenroscar.

Figura 44. Cambio de filtro de aceite lubricante.

Fuente: [20]

En cuanto al filtro extraído sucio podemos limpiarlo sumergiéndolo en una cubeta con disolvente, aunque esta solución solo nos valdría hasta tres veces con el mismo filtro porque con cada lavado el filtro pierde sus propiedades filtrantes. Este método es un buen sistema de ahorro en respetos de filtros, tanto económicamente como en espacio de almacenaje.



Figura 45. Proceso de limpieza de filtros de aceite pesado. Fuente: Trabajo de campo.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

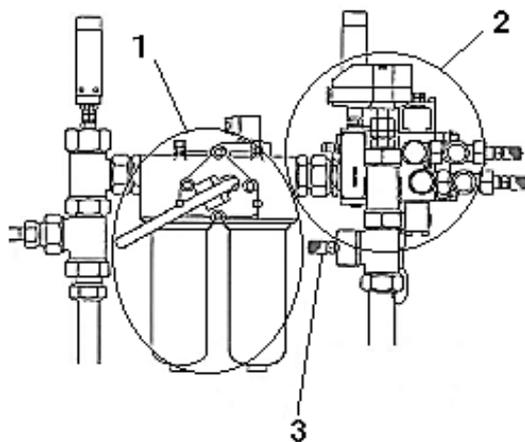
Por otro lado, el sistema de aceite hidráulico solo consta de un filtro situado al lado de la bomba de este sistema, y a diferencia del anterior este no es lavable, por lo tanto, para realizar el cambio de este nos fijamos en la alarma relacionada o en caso de pasar 1000 horas y que no haya saltado la alarma se procede al cambio del filtro.

Para realizar el cambio del filtro sería igual que para el de un motor auxiliar, se cortaría el paso de aceite, para evitar derrames, se desenroscaría y se cambiaría por uno nuevo y limpio. Si durante el cambio la bomba se desceba se debe rellenar con un poco de aceite porque si no, cuando se arranque puede producirse una rotura de la bomba de engranajes.

### 5.3.4. Toma de muestras de aceite de lubricación.

La toma de muestras como se dijo anteriormente se realiza cada 5000 horas de operación, ha de hacerse con el propulsor en funcionamiento y el aceite caliente. Para realizar la toma se realiza en la purga después de los filtros paralelos y se siguen las siguientes instrucciones:

1. Preparar un recipiente limpio y sin partículas que puedan alterar la muestra y que se pueda cerrar. (Proporcionado por la compañía)
2. Se abre el tapón de purga y se conecta una manguera de alta presión para tomar la muestra de aceite.
3. Una vez tomada se desconecta la manguera y se coloca el tapón en su sitio.



1. Filtros en paralelo.
2. Válvula termostática.
3. Tapón de purga.

Figura 46. Extracción de muestras de aceite. Fuente [20]

Luego la muestra se mandaría a un laboratorio de análisis, normalmente de la misma compañía proveedora del aceite es la que se hace cargo de ello. Este proceso sería un mantenimiento predictivo para saber si los engranajes de transmisión, ejes o demás elementos del circuito están sufriendo desgastes.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

### 5.3.5. Mantenimiento durante la varada del buque.

La varada del barco es el momento perfecto para realizar un mantenimiento y revisión completa de toda la azimutal, debido a que esta fuera del agua y se puede desmontar para ver el estado interno de los mecanismos.



Figura 47. Buque VB-Canarias varado en dique seco. Fuente: [11]

Durante la varada al propulsor se le realiza una serie de trabajos de mantenimiento y una inspección total del estado, estos se agrupan en la siguiente tabla:

Mantenimiento	Inspección
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Renovación del aceite lubricante.</li><li>✓ Renovación aceite hidráulico.</li><li>✓ Rectificado y limpieza de las palas de la hélice.</li><li>✓ Renovación de los ánodos de sacrificio.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Comprobar el estado de engranajes cónicos y ejes de la transmisión Z drive.</li><li>✓ Comprobar los elementos del sistema de paso variable de la pala.</li><li>✓ Comprobar estado motores y bombas.</li><li>✓ Comprobar la corona dentada y los piñones de giro.</li></ul>

- Renovación del aceite lubricante se procede bombeando todo el aceite localizado dentro del propulsor, esto se realiza conectando desde la válvula de bola de la base del propulsor una manguera hasta la base del cono de soporte para aspirar de la zona más baja del circuito. Una vez

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

vaciado se puede proceder al desmontaje y las comprobaciones, luego acabados los trabajos del propulsor se vuelve a llenar con aceite limpio de la manera explicada en el apartado “5.3.1.”

- Rectificado y limpieza de las palas de la hélice es el proceso por el cual se eliminan incrustaciones y pérdidas de material de las palas puliéndolas y si fuera necesario aportando material.



Figura 48. Hélice VB-Canarias a la varada. Fuente: [11]



Figura 49. Hélice VB-Canarias después de pulirla. Fuente [11]

- Renovación ánodos de sacrificio: Esta parte consiste en revisar, sustituir o colocar nuevos ánodos de sacrificio por toda la superficie del propulsor.

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

Una vez finalizado se haría el proceso de puesta en marcha en el que se debe comprobar el correcto funcionamiento de las distintas alarmas con relación al propulsor y el correcto funcionamiento de los controladores para el gobierno.

### 5.4. Control y operación de los propulsores.

En este apartado se desarrolla el funcionamiento de control y operación para la maniobra de los propulsores Schottel. Cabe destacar que los cuadros, donde se sitúa la maniobra eléctrica, están alimentados con un voltaje de 400 Voltios, y a una frecuencia de 50 Hz, pero por medio de una fuente de alimentación se transforma a corriente continua de 24 Voltios.

#### 5.4.1. Control de los sistemas.

Para el control durante la maniobra de los propulsores se utilizan diversos indicadores y accionadores manuales para gobernar y controlar el remolcador, por ello se separan estos indicadores y actuadores según el sistema o la función a controlar:

- Sistema de giro.

El control del sistema de giro permite actuar desde el puente de mando en los propulsores para conseguir orientar el impulso de la hélice en la dirección deseada. Este circuito es la implementación de un sistema de control PID en constante retroalimentación y rápida respuesta.

Al contar el buque con dos propulsores le permite dirigir cada propulsor en distintas direcciones, esto es por el simple hecho de presentar dos circuitos eléctricos idénticos para el manejo y control del giro de los Schottel. Por lo tanto, en el puente se localizan dos actuadores para el giro, cada uno determinado para un Schottel. Dentro del puente de mando estos actuadores se identifican con la forma de un joystick estando situados a ambos lados del patrón o capitán del buque, para controlar cada propulsor con una de sus manos. También dentro del puente se localizan dos indicadores para visualizar la posición y dirección de la hélice en todo momento, en el caso del VB-Canarias están al lado de cada joystick y cada indicador hace referencia al propulsor de la banda en la que este el actuador.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



Figura 50. Controles en el puente del giro del propulsor. Fuente: Elaboración propia.



Figura 51. Indicador de la posición en la sala de máquinas. Fuente: Elaboración propia.

Como vemos en la imagen anterior, integrado en el joystick se encuentra una circunferencia graduada para orientarse con el indicador y ver si se ha ejecutado la orden o en qué punto se encuentra.

Desde el puente las órdenes del patrón o capitán se transmiten por medio de una señal senoidal determinada por un síncrono generador. Este, es simplificando, un potenciómetro sin límites de posición lo que nos permite transmitir la posición de giro del propulsor por medio de la alteración interna del campo magnético del síncrono generador. La señal generada por la variación de posición del joystick es transmitida y amplificada en valor de frecuencia para evitar pérdidas de voltaje o intensidad por los metros de cable, y además está limitada a un rango de  $\pm 10$  Voltios.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

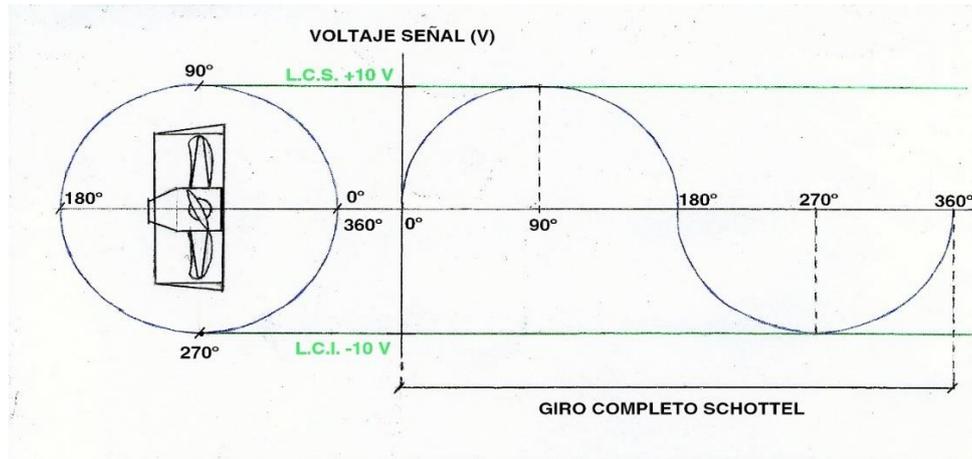


Figura 52. Señal senoidal para emitir las ordenes durante el giro. Fuente: Elaboración propia.

Después de emitir la orden y generar una señal, esta recorre la distancia del puente al cuadro principal del Schottel donde se localiza la placa comparadora. La función de la placa comparadora, como su nombre indica, es comparar entre la posición actual del propulsor y la última señal emitida del joystick, para realizar la diferencia entre estos y emitir una señal de salida en función de la diferencia.

Por un lado, la señal del indicador de la posición del propulsor también está determinada por una ecuación senoidal y dada por un síncrono generador. Este indicador toma directamente del propulsor su situación, es decir que se encuentra en la sala de los propulsores en su base.

Por otro lado, la señal de salida manda la orden a los motores hidráulicos o servomotores del giro para ejecutar la corrección en la posición, actuando sobre la válvula solenoide del flujo de aceite.

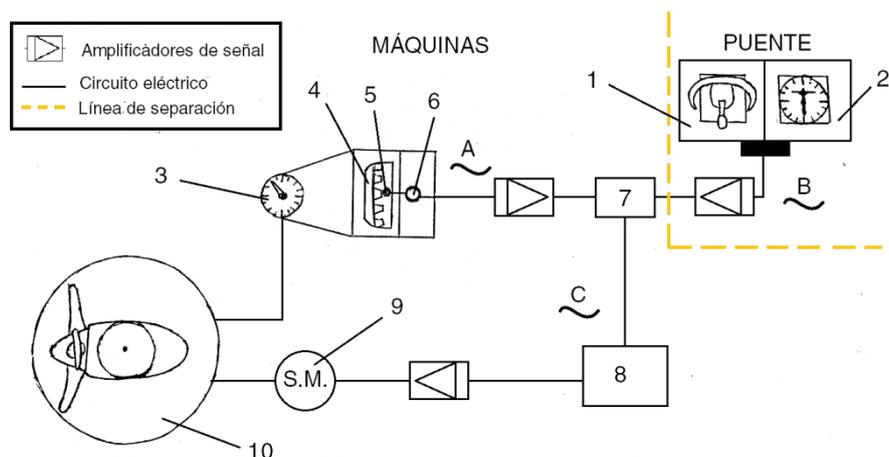


Figura 53. Esquema eléctrico de maniobra para el giro. Fuente: Elaboración propia.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Actuador manual del giro (Puente).</li> <li>2. Indicador posición del propulsor (Puente).</li> <li>3. Indicador posición del propulsor (Sala de máquinas).</li> <li>4. Corona dentada del giro.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Señalizador de posición.</li> <li>6. Síncrono generador.</li> <li>7. Comparador de señales.</li> <li>8. Autómata de control.</li> <li>9. Servo motor o motor hidráulico.</li> <li>10. Propulsor.</li> </ol> |
|--|---|

Dentro de este sistema de control se integra el sistema de piloto automático, debido a que la función del piloto automático es corregir el rumbo por medio de variar el ángulo del timón, pero en el caso del remolcador el timón es el propio propulsor, por lo que el piloto automático trabaja sobre el giro del Schottel con una limitación de  $\pm 40^\circ$  de variación, esta limitación viene dada en una señal de  $\pm 10$  Voltios. Si se saliese de esta limitación como medida de seguridad el sistema de piloto automático se desconecta y pasaría al control manual.

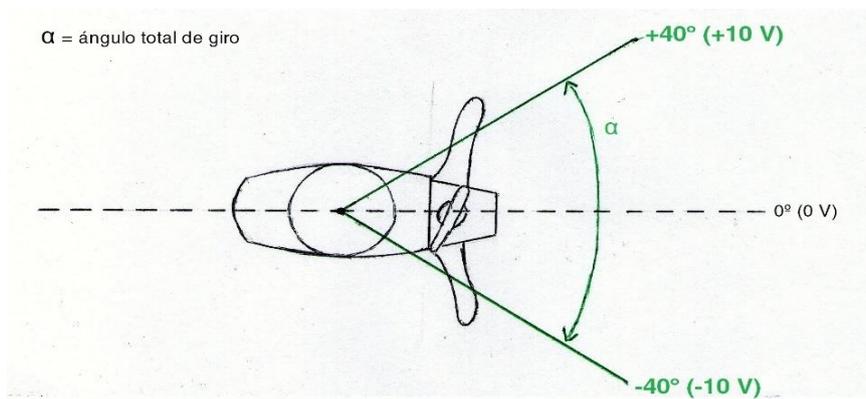


Figura 54. Rango de trabajo del propulsor durante el piloto automático. Fuente: Elaboración propia.

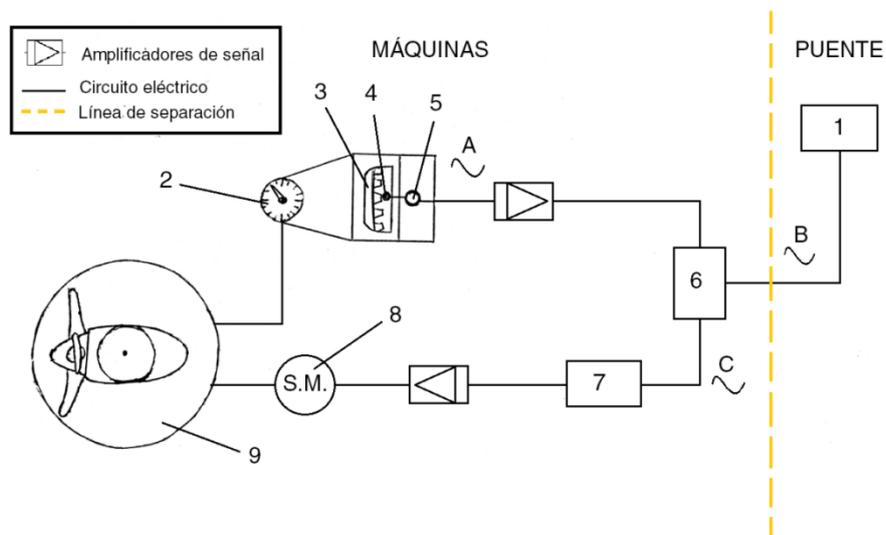


Figura 55. Esquema eléctrico de maniobra del piloto automático. Fuente: Elaboración propia.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

1. Valor de consigna.
2. Indicador posición del propulsor (Sala de máquinas).
3. Corona dentada del giro.
4. Señalizador de posición.
5. Síncrono generador.
6. Comparador de señales.
7. Autómata de control P.A.
8. Servo motor o motor hidráulico.
9. Propulsor.

Ambos sistemas podrían mejorarse con la implantación de un autómata en su esquema de maniobra.

- Sistema de posición de la pala.

Otro sistema que controlar es el del paso de la pala, este al igual que el de giro se actúa desde los joysticks situados en el puente, pero a diferencia del anterior la orden se transmite por medio de la palanca integrada en ellos. Empujando la palanca hacia abajo actuamos sobre los valores positivos de paso y si al contrario empujamos hacia arriba actuamos sobre valores negativos de paso. La señal enviada se produce por un potenciómetro, en este caso está limitado, que pasa por un controlador PID, que emite la señal de salida para ejecutar la orden sobre la válvula solenoide distribuidora del aceite de este sistema.



Figura 56. Controles para el paso variable del puente. Fuente: Elaboración propia.



Figura 57. Indicador del paso de la pala en la sala de máquinas. Fuente: Elaboración propia.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

Como en el anterior localizamos indicadores en el puente a cada lado del joystick y en la máquina en un lateral de cada propulsor, pero a diferencia del anterior no emiten señales para el control, solo son galvanómetros que indican el paso actual en la hélice. Pero el sistema tiene un elemento de seguridad a modo de alarma que utiliza la señal emitida por el joystick y la medida por el galvanómetro del propulsor para compararlas y si en un tiempo determinado la orden no se ha ejecutado dispara esta alarma.

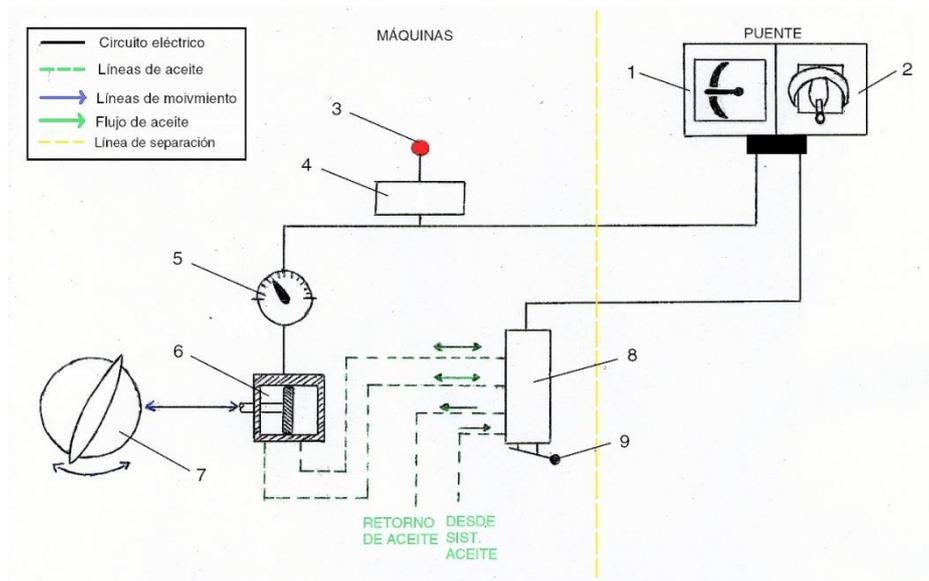


Figura 58. Esquema eléctrico de maniobra para el paso variable. Fuente: Elaboración propia.

- |   |   |
|---|---|
| 1. Indicador del paso (Puente).           | 6. Émbolo de aceite.                            |
| 2. Actuador manual del paso (Puente).     | 7. Pala de la hélice.                           |
| 3. Alarma acústica y visual.              | 8. Válvula solenoide de varias vías.            |
| 4. Comparador temporizado.                | 9. Actuador manual del paso (Sala de máquinas). |
| 5. Indicador del paso (Sala de máquinas). |   |

En caso de que salte la alarma o se necesite el sistema cuenta con un control manual en la sala de máquinas, este control es por medio de una palanca que actúa directamente sobre la válvula solenoide para abrir o cerrar el circuito de aceite según convenga.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

- Sistema de embrague.

En el embrague se actúa también por medio de la palanca para el paso, donde en el recorrido de esta entre los valores positivos y negativos se encuentra un interruptor, ON-OFF el cual embraga o desembraga el propulsor.

Dicho interruptor cuando está en la posición OFF significa que la palanca se encuentra en el punto intermedio y que el paso de la hélice es cero. Cuando se mueve hacia arriba o hacia abajo, el interruptor pasa directamente a ON, es decir a embragar permitiendo la transmisión de movimiento.

El embrague cuenta con muchos de los sistemas de seguridad para proteger tanto el motor como el propulsor, de manera que si en un hipotético caso se enredara un cabo en la hélice se desembragaría ante la señal de alto par.

- Sistema del motor.

Como último sistema a controlar esta el motor de combustión interna, en este solo se actúa para aumentar o disminuir las revoluciones lo que se puede hacer desde el puente o desde la máquina. En ambas localizaciones se realiza por medio de una palanca de actuación manual, pero está a su vez emite una señal eléctrica al regulador de inyección, el varía la cremallera, de la bomba de inyección, aumentando o disminuyendo la cantidad de combustible inyectado en cada cilindro y por lo tanto variando el régimen de giro del motor.



Figura 59. Controladores de los motores principales (Puente y Sala de máquinas). Fuente: Elaboración propia.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

También tiene sus indicadores de revoluciones tanto en el puente situado al lado de la palanca donde actuamos o en la máquina situado en el panel local de cada motor.

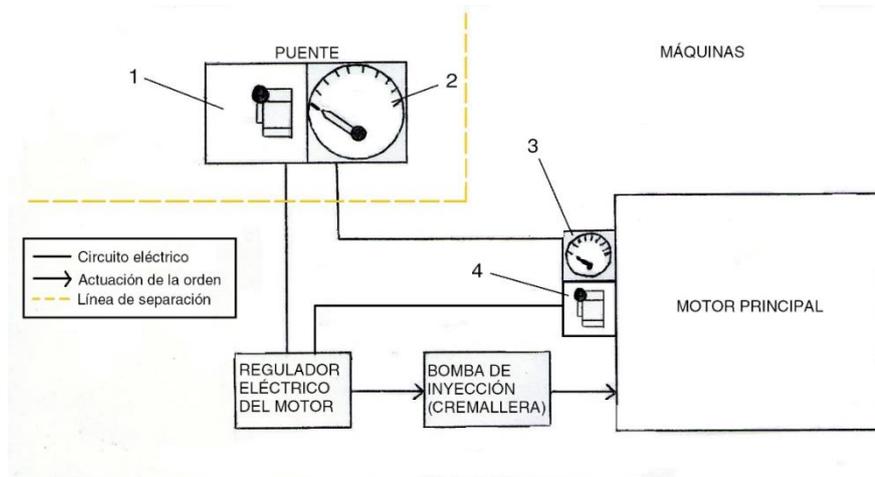


Figura 60. Esquema eléctrico de maniobra para las revoluciones del motor. Fuente: Elaboración propia.

1. Actuador manual para las revoluciones del motor (Puente).
2. Indicador de las revoluciones del motor (Puente).
3. Indicador de las revoluciones del motor (Sala de máquinas).
4. Actuador manual para las revoluciones del motor (Sala de máquinas).

### 5.4.2. Mantenimiento del sistema de control.

El mantenimiento para los sistemas de control de los propulsores se basa principalmente en realizar un mantenimiento de circuitería eléctrica, donde se pueden destacar como principales acciones para ello las siguientes:

- Comprobación visual: En una primera instancia el mantenimiento que se lleva a cabo siempre es una revisión visual, haciendo hincapié en posibles zonas que puedan sufrir de oxidación y conexiones que se hayan podido aflojar. Si se detectan anomalías y se consideran como graves se ha de proceder a realizar el mantenimiento correctivo de estas.
- Termografía: Las termografías como mantenimiento es ir un paso más al examen visual, es un mantenimiento preventivo, y este consiste en utilizar herramientas específicas y homologadas para la detección del calor desprendido por los diversos elementos y por medio de estas herramientas se pueden detectar pérdidas de energía en circuitos

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

eléctricos, elementos en mal estado de estos y si hay alguna posible sobrecarga eléctrica en algún punto del circuito.

Las herramientas utilizadas captan la radiación infrarroja emitida por aquellos elementos a los que se enfoquen pudiendo ver y registrar la temperatura de estos, sin necesidad de un contacto físico permitiendo realizar exámenes termográficos en cuadros eléctricos sin riesgo de electrocución.

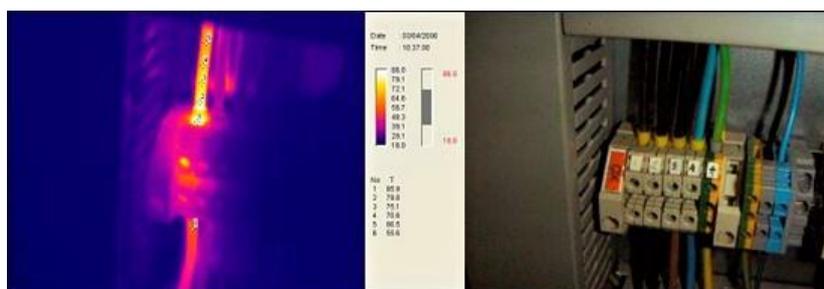


Figura 61. Termografía de cuadro eléctrico. Fuente [21]

- Regulación de placas de control: La regulación de las placas de control solo se lleva a cabo cuando se produce una anomalía en la operación o cuando ha de ser calibrada después de la sustitución de un sensor, por lo tanto, se considera un mantenimiento correctivo.

Esta operación es realizada por un técnico especializado y homologado, ya que se requiere de un nivel avanzado en entendimiento de automatismos y lo más importante la reducción de costes en relación con el tiempo que el técnico tardaría en identificar y solucionar esta falla.

- Recalibración de sensores: al igual que las placas de control los sensores solo se recalibran cuando hay alguna anomalía en su funcionamiento, si fuera por un fallo total se procedería a la sustitución e igualmente se requeriría una calibración del sensor, por lo tanto, también es un mantenimiento correctivo.

Al igual que los anteriores es un técnico el que lleva a cabo esta labor por las mismas razones, el ahorro económico en tiempo que supone la rápida actuación en identificar y solucionar la falla.

### 5.4.3. Modos de operación.

El propulsor Schottel tiene la posibilidad de configurarlo desde el puente para poder trabajar en cinco modos diferentes, cada uno con sus ventajas para las distintas necesidades. Estos cinco modos son los siguientes:

- Modo de operación “A”: En este modo el motor y el paso de la pala son controlados desde la misma palanca del joystick de manera que cuando el paso aumenta, las revoluciones también.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

- Modo de operación “B”: Durante el uso de este modo solo el paso de la pala está controlado con la palanca del joystick y el motor se mantiene a revoluciones fijas. Este modo es el utilizado normalmente para maniobras de remolque.
- Modo de operación libre: Lo que consigue es una mayor potencia, traducida en mayor velocidad en navegación, con un menor consumo. Este modo se utiliza en travesías de largas distancias sin remolque.
- Modo de operación Fi-Fi: Este modo es específico para cuando se trabaja con el equipo Fi-Fi o de antiincendios, lo que realiza es una limitación máxima de potencia de propulsión hacia el Schottel (70-80%) para reservar el resto de potencia para la bomba contra incendios (20-30%) y que el motor no sufra una sobrecarga.
- Modo de operación masterpilot: Este modo agrupa todas las funciones de control en un mismo mando en el puente, este mando es distinto a los joysticks y específico para este modo. Este modo se utiliza para navegación sin remolque.

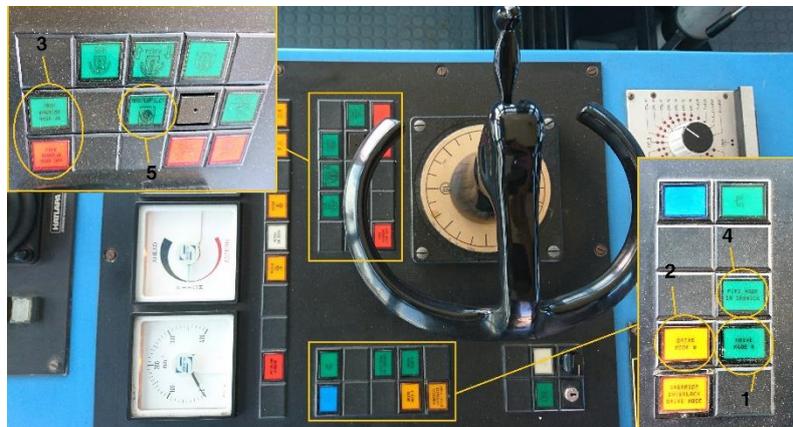


Figura 62. Pulsadores para los modos de operar. Fuente: Elaboración propia.

- |   |   |
|---|---|
| 6. Pulsador modo de operación “A”.              | 9. Pulsador modo de operación Fi-Fi.        |
| 7. Pulsador modo de operación “B”.              | 10. Pulsador modo de operación masterpilot. |
| 8. Pulsadores modo de operación libre (ON-OFF). |   |

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

### 5.5. Proceso de creación del sistema de paso variable de la hélice a escala.

Para una mejor comprensión del funcionamiento del paso variable se ha diseñado y fabricado una réplica casi exacta del sistema original. La idea principal de este modelo a escala es poder visualizar la transformación de movimientos producida en dicho sistema de una manera didáctica, siendo uno mismo el que actúa como el embolo de aceite hidráulico que ejecuta el movimiento rectilíneo en el eje o varilla empujadora y lo convierte en un movimiento circular que se refleja en el cambio del ángulo de ataque de las palas.

Para desarrollar este apartado se ha separado en cada uno de los procesos a llevar a cabo, estos son los expuestos a continuación:

#### 5.5.1. Diseño del modelo inicial.

El primer paso fue pensar y diseñar la mejor manera de adaptar la realidad del sistema a un concepto que fuera plausible y simple. Para ello se partió de los esquemas de diseño reales dados por el fabricante y varias fuentes de otros fabricantes para conseguir simplificar el concepto.

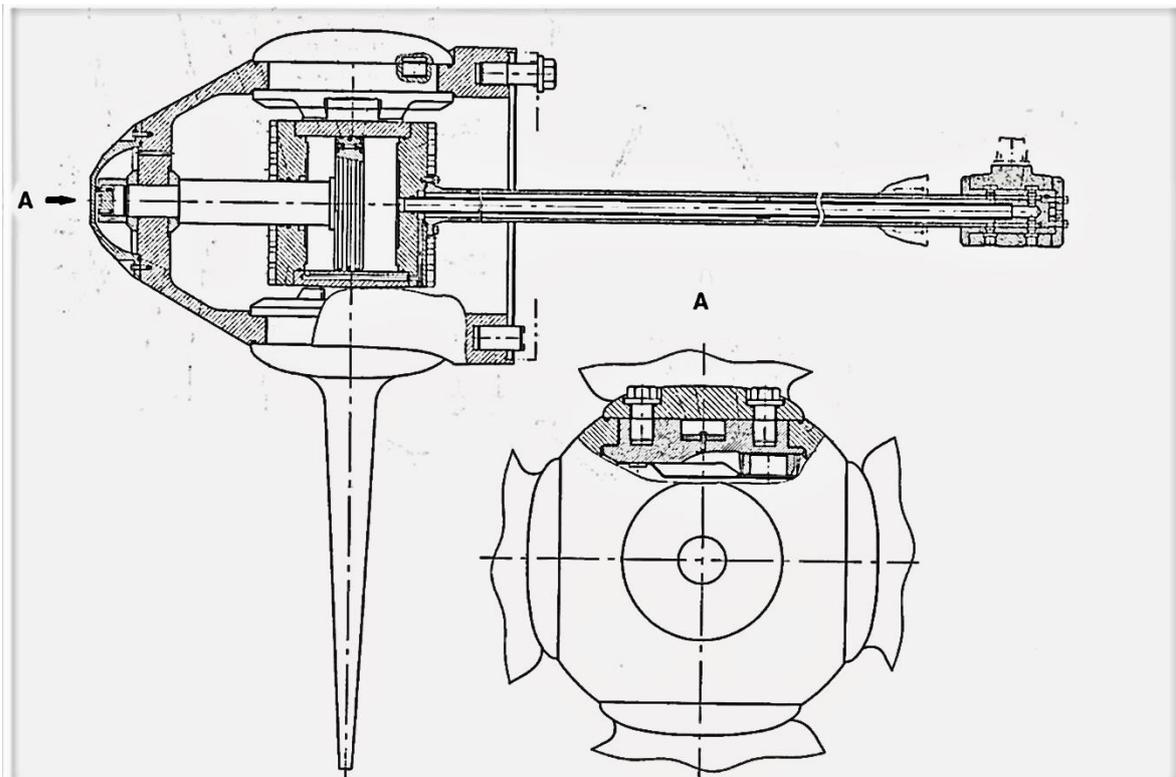


Figura 63. Esquema del paso variable de la pala. Fuente: [20]

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

De esta manera, se concretó que el sistema real si se podía adaptar a un modelo a escala, pero de una manera más burda y se prosiguió con la realización de los planos iniciales de diseño.

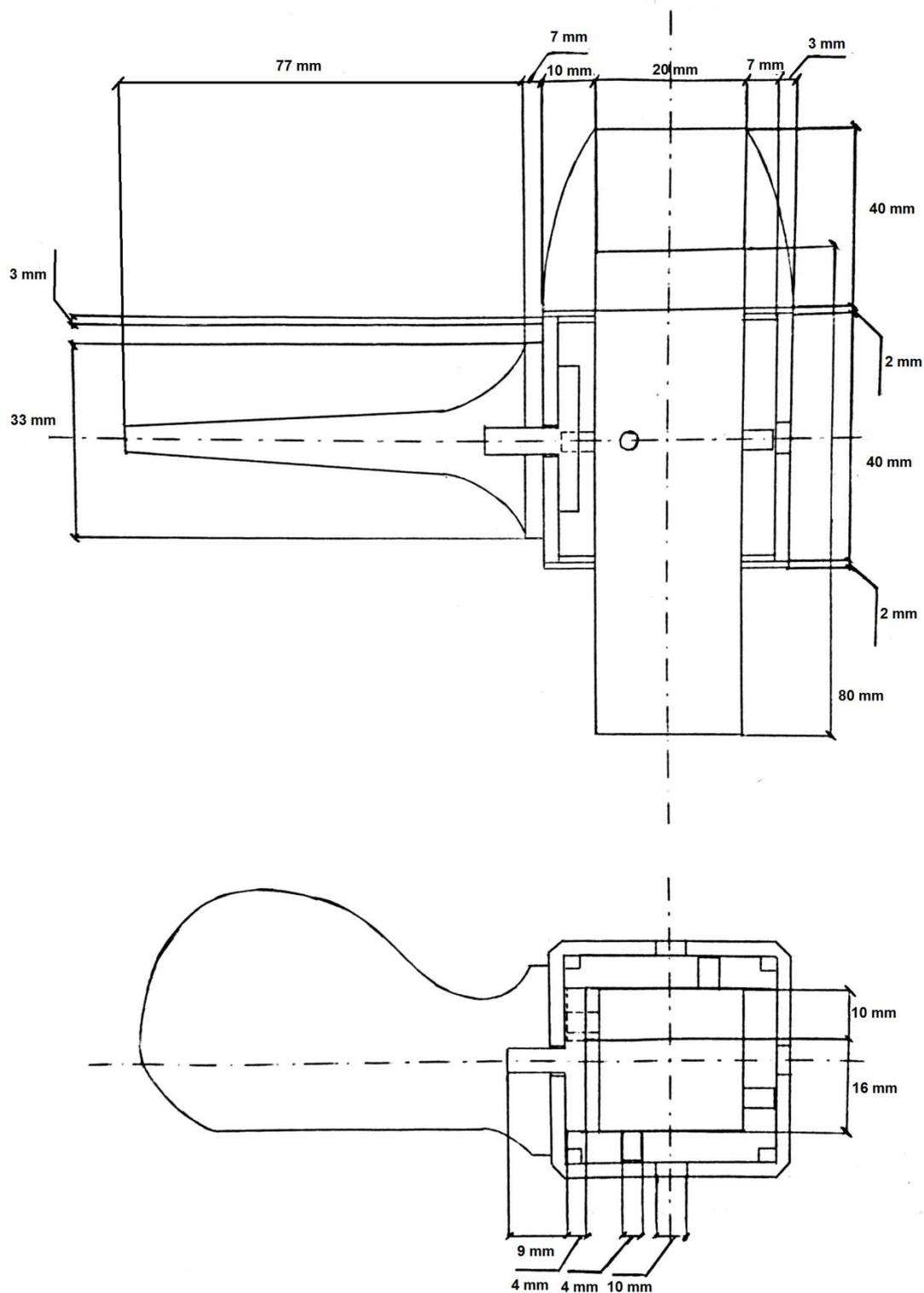


Figura 64. Esquema modelo. Fuente: Elaboración propia.

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

En estos planos lo que vemos son las piezas acotadas con la idea inicial y una muestra clara de cómo se desarrollara y funcionara el sistema, se podría denominar un esbozo, ya que a lo largo de la realización de este modelo a escala podrían variarse muchos aspectos por la imposibilidad o mejora del diseño inicial.

También durante esta parte del subproyecto se pensó en cómo realizar la maqueta, con que material o materiales y cuál sería la mejor manera de realizarla para su posterior funcionamiento. Pues para realizarla se pensó en una técnica utilizada en el mundo del modelismo a escala, basada en fabricar nuevas piezas partiendo de un modelo inicial, esta consiste en realizar una serie de moldes, en resina y la fabricación de las piezas con plástico inyectado en dichos moldes pudiendo lograr un nivel de detalle impresionante y la posibilidad de utilizar los mismos moldes para realizar un gran número de piezas. Dependiendo de la pieza y el detalle se puede aprovechar hasta para extraer 20 piezas del mismo molde sin perder un atisbo de detalle.

Una vez elegido el proceso de fabricación que más le convenía, surgió casi que obligatoriamente el material para la fabricación, siendo este material la resina plástica de poliuretano. Y también, se vislumbró un despiece, es decir que se hablaría de varios modelos y varios moldes para lograr el funcionamiento del sistema y convertir un modelo a escala convencional en un modelo dinámico con el que se pudiera interactuar.

### 5.5.2. Proceso de modelado del modelo.

Una vez concretado la idea básica en el proceso de diseño se continuó con la fase de fabricación de lo que se denomina modelo, es decir la pieza o piezas en este caso de las que se partirá para realizar un molde, como se explicó en el apartado anterior.

También, como se aclaró en la parte de diseño, los modelos se realizarían de plástico, concretamente de varias piezas prefabricadas de la marca Evergreen Scale Models, que ofrece diferentes formas y tamaños de tiras y secciones de plástico. Con estas será con las que basaremos el modelo inicial de cada pieza.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



Figura 65. Productos Evergreen Scale Models. Fuente: [22]

Con este producto se elaboraron las diferentes piezas o modelos por medio de procesos de fabricación y conformación del material, es decir por medio de flexionar, pegar, cizallar, cortar, taladrar y lijar las piezas de plástico a conveniencia. Para esta labor utilizamos herramientas adecuadas a trabajos a escala como son las siguientes:

- Cutters (1): Cuchillas metálicas intercambiables para realizar diferentes acciones como son cortar, serrar, ranurar y cizallar.
- Lijas (2): Secciones de papel con un material abrasivo adherido en su superficie, sirven para realizar trabajos de ajuste y dependiendo de su grano serán más abrasivas o menos.
- Limas (3): Herramientas de acero al carbono templado y un mango que se utilizan para afinar y desgastar piezas.
- Pegamento para plásticos (4): Pegamento líquido para unir permanentemente dos piezas. Hay de diferentes tipos y con distintas capacidades adhesivas ante el material.
- Masilla (5): En este caso se ha utilizado distintos tipos de masilla con características fisicoquímicas diferentes. Las aplicaciones que se le da son para moldear partes de la pieza, enmasillar ranuras o imperfecciones en la superficie y uniones, y como relleno en algunas zonas del modelo.
- Cortarentes o tijeras (6): Herramienta para cizallar materiales de mayor dureza.
- Alicates (7): Herramientas de apoyo o sujeción para partes de difícil acceso, o para realizar flexiones del material.
- Brocas y portabrocas manual (8): El portabrocas manual junto a las brocas de diferentes diámetros se utilizan para taladrar el material y realizar agujeros, ya sean pasantes o no pasantes, en este.
- Mini taladro eléctrico (9): Es un taladro de menor potencia, algunos con ajuste de potencia según se requiera para el trabajo.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

- Sierra de alambre fino (10): Para serrar zonas en curva o complicadas.
- Sierra de mano (11): Para serrar láminas en cortes rectos.
- Cortador circular (12): Para realizar cortes de material con forma circular.



Figura 66. Elementos y herramientas para la fabricación. Fuente: Trabajo de campo.

Y también utilizamos instrumentos de medida y comprobación para ajustarnos a las medidas iniciales impuestas en el diseño. A continuación, se muestra un listado de las mismas:

- Calibre: Instrumento para la toma de medidas.
- Escuadra metálica: Instrumentos para el trazado de líneas paralelas o perpendiculares.
- Compás: Instrumento transportador de medidas y comparador, también sirve para el trazo de circunferencias.
- Regla: Instrumento de medida y trazado.
- Rotuladores o lápices: Para realizar marcas y/o señalar defectos.



Figura 67. Instrumentos de medida. Fuente: Trabajo de campo.

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

De esta manera y con las herramientas adecuadas se fabrican las diferentes piezas del rompecabezas que supone este proyecto. Lo que se busca conseguir con todo el trabajo que supone este reto, es modelar el sistema para que se pueda montar sin el uso de pegamento, y por lo tanto de manera que quede un modelo a escala, móvil y que se pueda desmontar en el mismo momento para ver en detalle cada pieza del mecanismo.

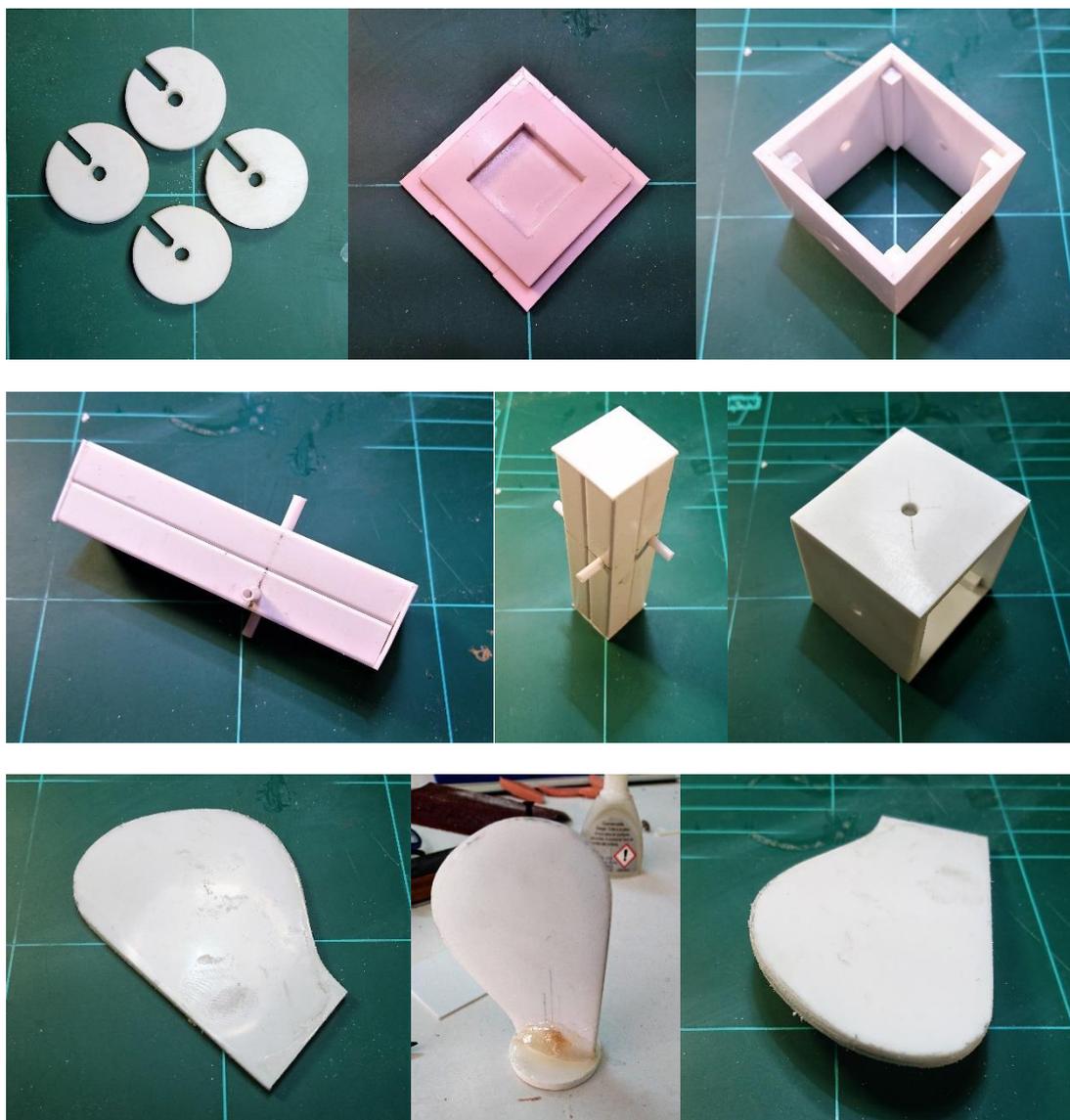


Figura 68. Diferentes piezas durante el proceso de fabricación. Fuente: Trabajo de campo.

En las imágenes anteriores podemos ver diferentes periodos del proceso de fabricación del modelo, concretamente diferentes piezas ya elaboradas del modelo final.

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

Observamos también, que en algunas imágenes se ve parcialmente montado y esto es porque se necesita ajustar a la realidad los planos, es decir, el plástico como material funciona de manera muy diferente al metal o al aluminio, en el sentido de que si se quieren hacer piezas móviles se necesitan unas mayores tolerancias en las uniones de las piezas que desarrollan dichos movimientos, si no se hará muy difícil o incómodo para la persona realizar los distintos movimientos. Esto es debido a encontrar una resistencia de fricción mayor entre las piezas en contacto y básicamente viene prefijado por el estado superficial del material, por lo que en el modelo se ha intentado disminuir este factor problemático por medio del decremento de las superficies en contacto.

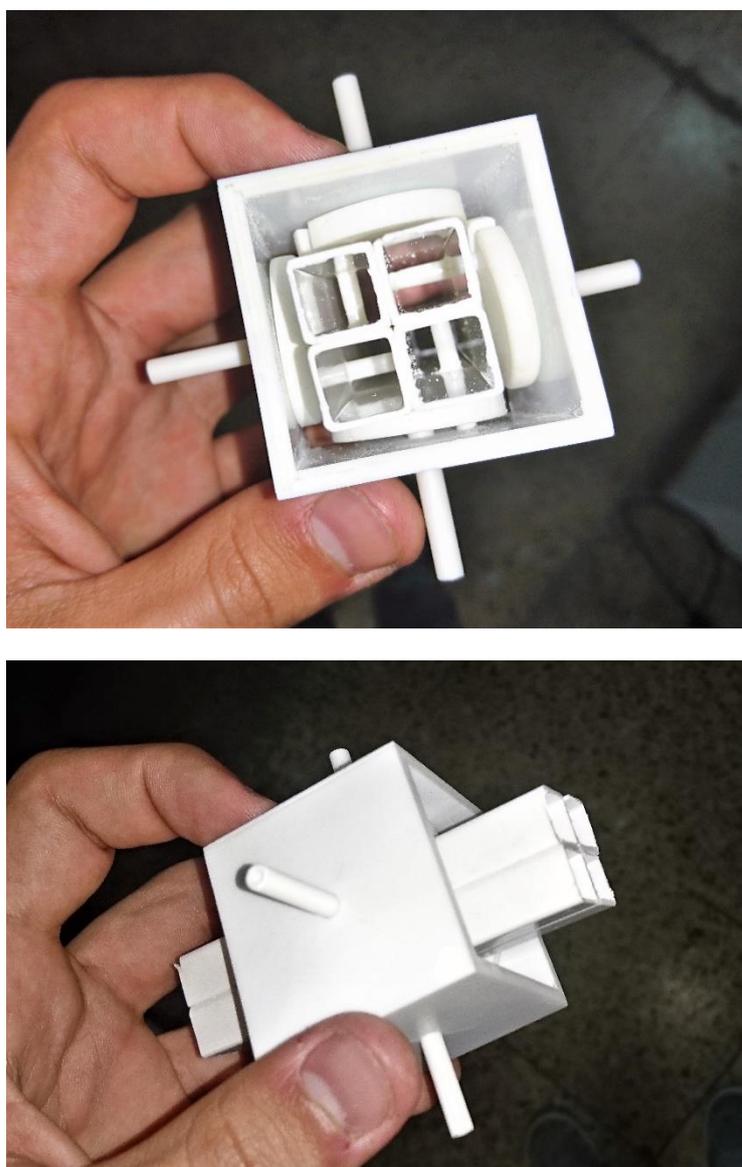


Figura 69. Maqueta inicial en proceso de fabricación y montaje. Fuente: Trabajo de campo.

## *FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

Por esto último, es importante al final cuando ya tenemos la forma básica de las piezas, pulir cada una de ellas insistiendo en las zonas críticas que son las de contacto. Aunque no solo se realiza por esta razón, sino que también es para conseguir un mejor acabado superficial a la hora de sacar el molde.

La acción de pulir se realiza con una lija de grano muy fino para dejar una superficie lo más lisa posible y sin surcos o marcas de lijadura o limado.

Por otro lado, en el apartado anterior se comentó la posibilidad de aplicar cambios o mejoras al diseño inicial y durante la fabricación surgieron un par de propuestas de mejora, tales como:

- Ensanchar el eje por donde se accionará el mecanismo para hacerlo más resistente y disminuir las posibles holguras que puedan hacer mal funcionar el mecanismo.
- Incorporar al eje, por donde se acciona, un cuerpo interior de metal para darle rigidez y resistencia al uso.
- Darle una forma estética más atractiva modelando las aristas para dejarlas curvadas.
- Incorporar un capacete a la hélice para hacerla más realista.
- Realizar un corte de un cuarto de radio en el cuero de la hélice para poder ver el sistema funcionando.
- Resaltar partes del interior, después del corte, con pintura para identificar más rápidamente y fácilmente las partes que conforman el mecanismo.
- Delimitar el desplazamiento del eje con un tope, la idea original fue delimitar la ranura en el disco de giro, pero no pudo hacerse así por el montaje, ya que impedía posteriormente armado montar el cuerpo con los enganches.

### 5.5.3. Proceso de moldeo.

Una vez acabado la fabricación de una pieza del conjunto se procedería a trabajar el molde para poder sacar copias de la pieza ya trabajada, de esta manera solo se tendría que trabajar una pieza para obtener copias exactas de la misma, como es el caso.

El proceso de moldeo presenta similitudes con el moldeo a la cera perdida, con las diferencias de que no se trabaja un modelo de cera por lo tanto no se extraería el modelo del molde, por medio del calor de un horno, al derretir la cera en su interior. Si no que, el molde se realiza partiendo de la pieza e inundarla con silicona líquida que cuando solidifica, presenta características elásticas por lo que permite la extracción de la pieza maestra o modelo, así como podemos ver en la siguiente imagen:

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

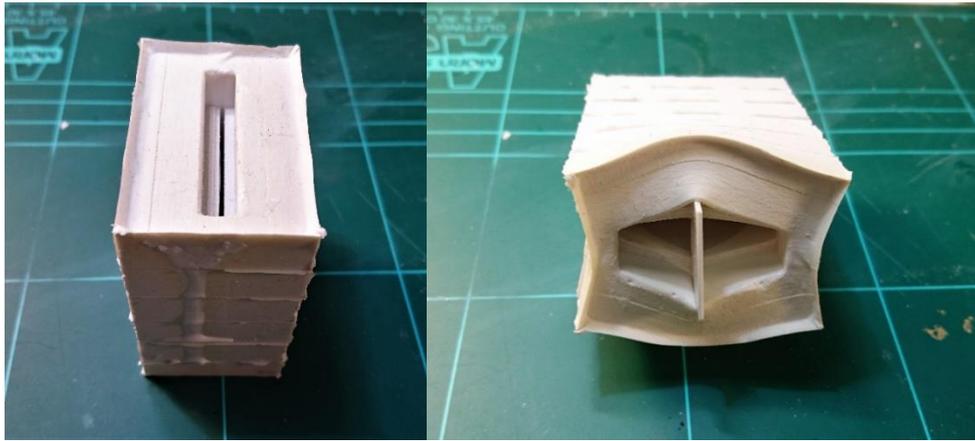


Figura 70. Elasticidad del molde. Fuente: Trabajo de campo.

Para construir el molde de silicona se necesitará dos componentes, uno es la silicona líquida y el segundo es el catalizador, cuya función es acelerar el cambio de estado de la silicona para solidificarse. También, se requerirá de algún recipiente para contener el vertido de silicona, para este caso se utilizan pequeños ladrillos apilables. Cuando se tienen los elementos necesarios se procede en el siguiente orden y forma:



Figura 71. Productos para el molde. Fuente: Trabajo de campo.

1. Realizar un bebedero para la pieza: este paso es para cuando posteriormente se vierta el plástico se pueda echar cómodamente, evitando derramamientos.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

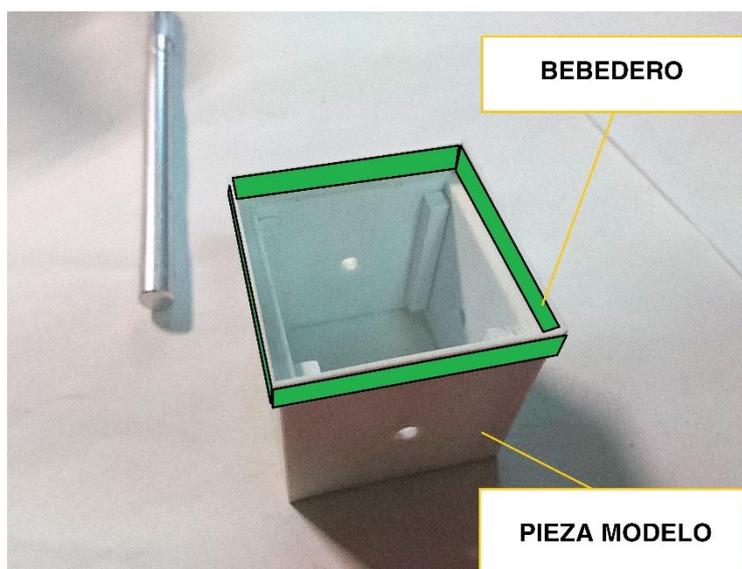


Figura 72. Paso nº1 del proceso de moldeo. Fuente: Trabajo de campo.

2. Tapar orificios de taladros pasantes de la pieza: En este paso no solo hay que tapar todos los agujeros, sino que, se estudia la forma de la pieza para determinar de qué manera influirá a la hora de sacar el modelo del molde solidificado. Y también se tapa la zona del bebedero con arcilla de modelar para evitar que la silicona líquida lo bloquee.

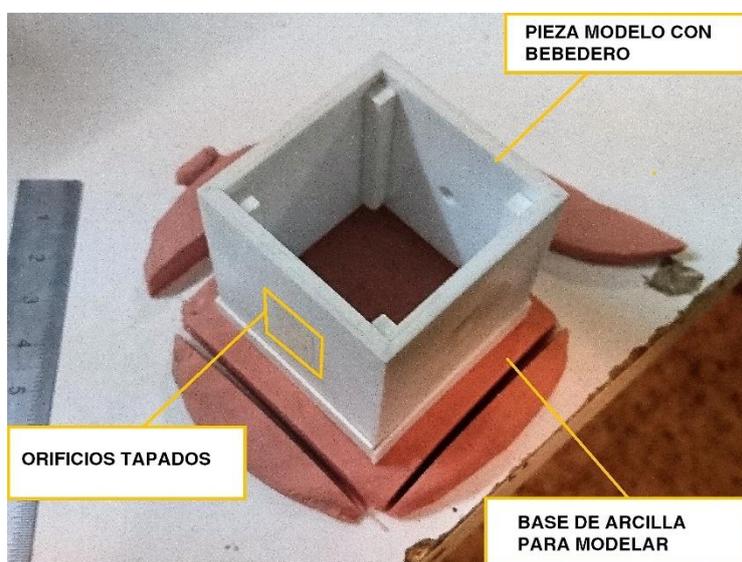


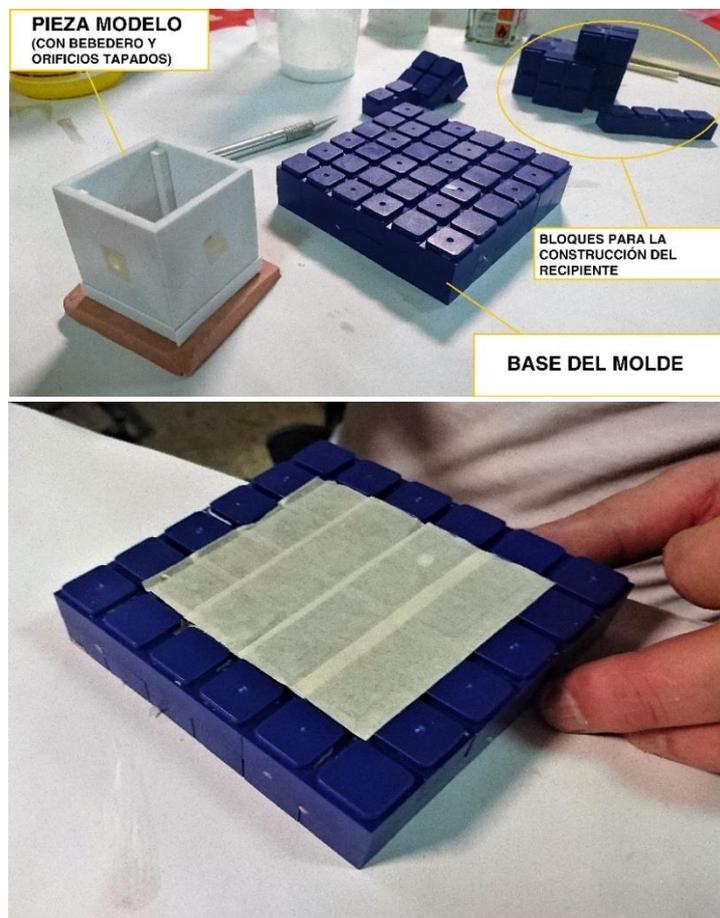
Figura 73. Paso nº2 del proceso de moldeo. Fuente: Trabajo de campo.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

3. Construcción del recipiente para las paredes del molde: El recipiente como se mencionó anteriormente tiene un factor fundamental, pero aparte determina otro factor que afectara a la resistencia y flexibilidad del molde una vez solidificado, este es el grosor de paredes.

Es importante ya que si las paredes son finas el molde se puede rajar a la hora de extraer el modelo y si son demasiado gruesas puede impedir la flexión de este y por consiguiente la no extracción del modelo. El espesor que se deja es aproximadamente de 10 mm por cada lado del área cuadrada de la pieza.

Cuando los dos primeros pasos estén elaborados se puede proceder a la colocación de la pieza sobre la base del recipiente, para ello la base donde irá apoyada se recubre con cinta de carroceros para evitar filtraciones de aire al interior o silicona al exterior. Todo esto lo podemos observar en las siguientes figuras:



## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



Figura 74. Paso nº3 del proceso de moldeo. Fuente: Trabajo de campo.

Como vemos la altura de las paredes es determinada por la pieza y siempre se tiene que dejar un buen margen de distancias con respecto a la superficie de la pieza.

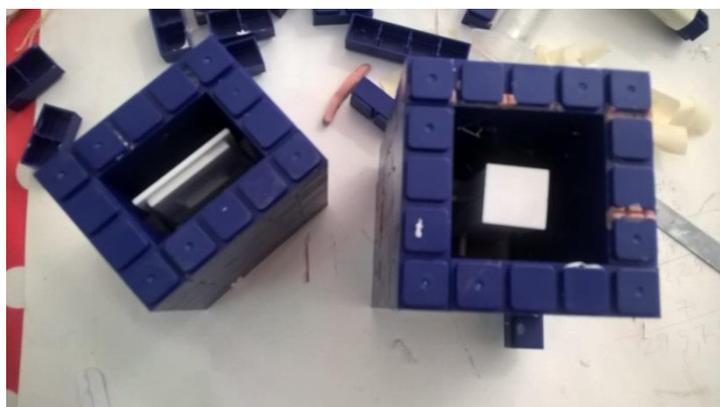


Figura 75. Otras piezas durante el paso nº3. Fuente: Trabajo de campo.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

4. Mezcla y vertido de la silicona en el recipiente: En este paso se realizan los cálculos del volumen del recipiente para determinar cuanta cantidad de cada componente aplicar y mezclar. Realizados los cálculos de volumen para este caso, dio  $295 \text{ cm}^3$  de los cuales el 95% es silicona y el otro 5% es el catalizador. Por lo tanto, se toman las medidas exactas y se mezcla. Es obligatorio el uso de guantes ya que el catalizador es muy tóxico para la piel y al mismo tiempo como medidas de protección individual, se utilizaron gafas transparentes para evitar proyecciones del líquido hacia los ojos, y mascarilla para prevenir la exposición directa a los gases de los productos químicos.

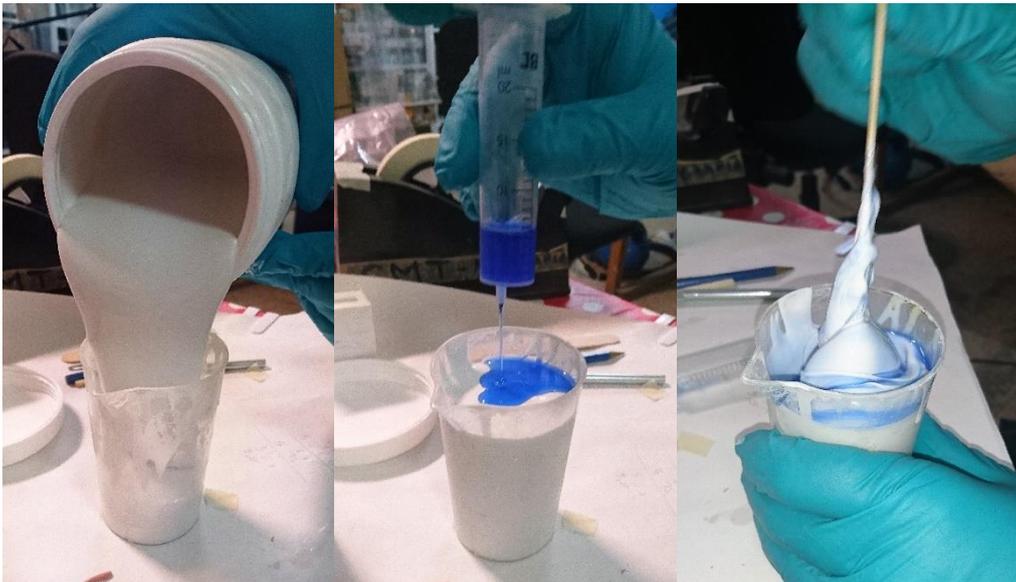


Figura 76. Paso nº4 mezcla del molde. Fuente: Trabajo de campo.

Una vez mezclado se procede a verter la mezcla dentro del recipiente, esto se debe hacer repartiendo uniformemente la mezcla por la superficie del recipiente. Cabe destacar que no es necesario aplicar ningún método para la eliminación de burbujas ya que, la simplificación del recipiente a formas geométricas básicas y la consistencia fluida de la silicona ayudan al movimiento ascendente de las posibles burbujas de aire que puedan crearse, de esta manera todas las burbujas de aire quedarán en la superficie del vertido.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

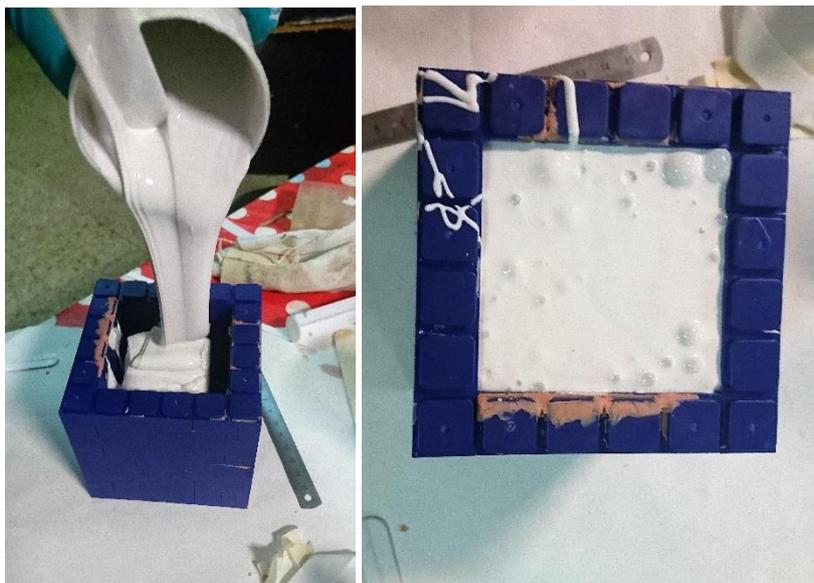


Figura 77. Paso nº4 vertido mezcla. Fuente: Trabajo de campo.

5. Solidificación del molde: Una vez realizado el vertido el molde se deja fraguar un periodo de 12 horas antes de la extracción del modelo. No obstante, si después de esas 12 horas el molde todavía no está consistente se debe dejar el tiempo necesario hasta que lo este, si se intentara extraer el modelo sin estar el molde solidificado por completo se perdería todo el trabajo realizado.

Por último, ya fraguada la silicona solo queda extraer el modelo y comprobar si se han producido grietas o fisuras en el molde.



## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.



Figura 78. Extracción del modelo del molde. Fuente: Trabajo de campo.

### 5.5.4. Realización de piezas por molde.

Hecho el molde de la pieza se puede proceder a la copia de esta, las copias se realizan con resina de poliuretano, viene dada por medio de dos componentes químicos (1) que, al mezclarse generan una reacción química exotérmica, endureciéndose y creando una pieza de plástico duro.

Por otro lado, se necesitarán un par de jeringuillas (2) para medir la cantidad de ambas partes, un elemento para remover la mezcla (3) y un recipiente limpio donde mezclarla (4), esto se observa en la siguiente figura:



Figura 79. Elementos para la réplica de piezas. Fuente: Trabajo de campo.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

También, como en el caso del molde se utilizaran equipos de protección individual (E.P.I.), pero a diferencia del caso anterior en este no es obligatorio pero si recomendable el uso de guantes y se continuará utilizando las gafas transparentes y la mascarilla de gases.

Una vez obtenidos los anteriores elementos se seguirían los siguientes pasos para la realización de la copia de piezas:

1. Agitar botes del producto: La razón de este paso es eliminar burbujas de aire que se hayan podido quedar del anterior uso.
2. Mezclar ambas partes del producto: La proporción para la mezcla es 50% de cada parte del producto, no obstante, se puede variar si se quiere conseguir una rigidez distinta de la pieza final, pudiendo ser mucho más rígida o más flexible.
3. Verter la mezcla en el molde y sacar las burbujas de aire: Después de hacer el vertido se eliminan las burbujas de aire llevando a cada rincón del molde el plástico líquido con ayuda de una varilla metálica, de esta manera las burbujas se verán obligadas a subir por el bebedero.



Figura 80. Eliminación de burbujas de la pieza. Fuente: Trabajo de campo.

4. Periodo de fragua: En este momento es cuando se deja reposar mientras la reacción química se produce, lo bueno de que la reacción química sea exotérmica es que logra eliminar cualquier resquicio de aire que pueda quedar en la pieza, es decir, hace que las burbujas de aire se expandan y exploten y si no explotan cuando se enfría se disminuye drásticamente el tamaño de estas burbujas y se hacen despreciables ante el ojo humano.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

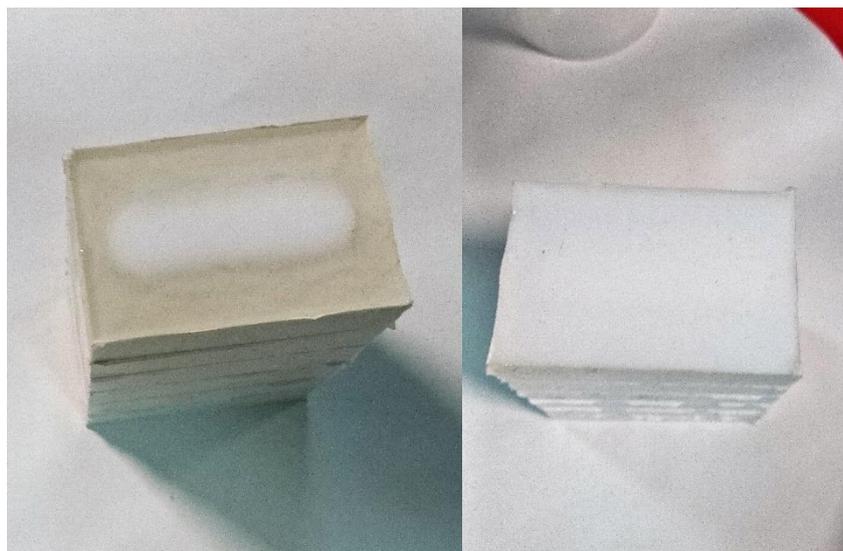


Figura 81. Fraguado de la pieza. Fuente: Trabajo de campo.

El tiempo de fragua está entorno a los 10-15 min, se podría decir que después de este tiempo la pieza se vuelve rígida.

5. Extracción de la pieza del molde: Este es el último paso y no se debe realizar hasta pasados como mínimo 30 min de haber realizado el vertido, ya que la pieza puede ser rígida, pero si no se deja enfriar bien se podría dar el caso de estropear el acabado o los detalles.

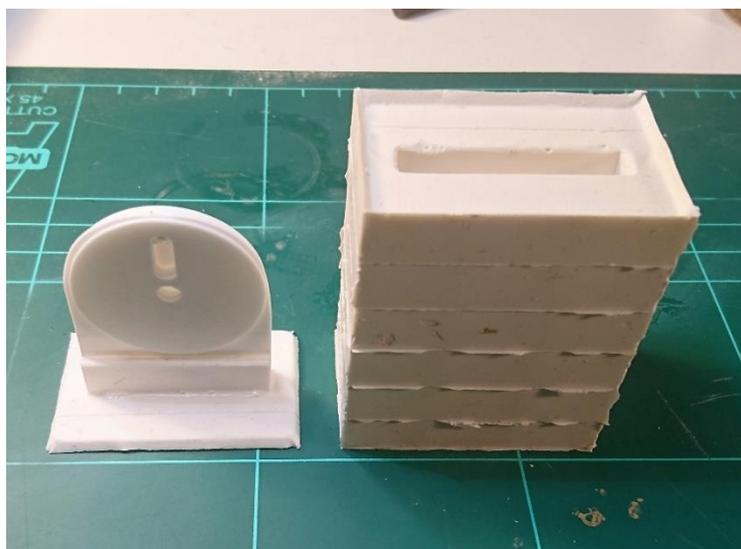


Figura 82. Pieza extraída del molde. Fuente: Trabajo de campo.

## FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES DEL BUQUE VB-CANARIAS.

Como ya se comentó en apartados anteriores el molde es flexible y permite la extracción de la pieza casi sin dificultades, a parte se puede utilizar aproximadamente para replicar 20 piezas iguales. La única pega es que como vemos en la imagen hay que mecanizarla para eliminar las rebabas y el excedente de material.

### 5.5.5. Ensamblaje final.

Por último, cuando todas las piezas se fabriquen, se les saque moldes y se repliquen al menos una vez se podrá proceder al montaje del modelo final, el cual como ya se ha comentado será móvil y se podrá armar y desarmar cuando convenga.

En la siguiente imagen se ve el modelo final ya armado y expuesto en posición vertical sobre una peana circular de madera, pudiendo accionar el mecanismo estando el modelo de esta forma o si se prefiere desenroscándolo y sujetándolo en las manos.



Figura 83. Moldes, piezas maestras, y modelo finalizado. Fuente: Trabajo de campo.

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

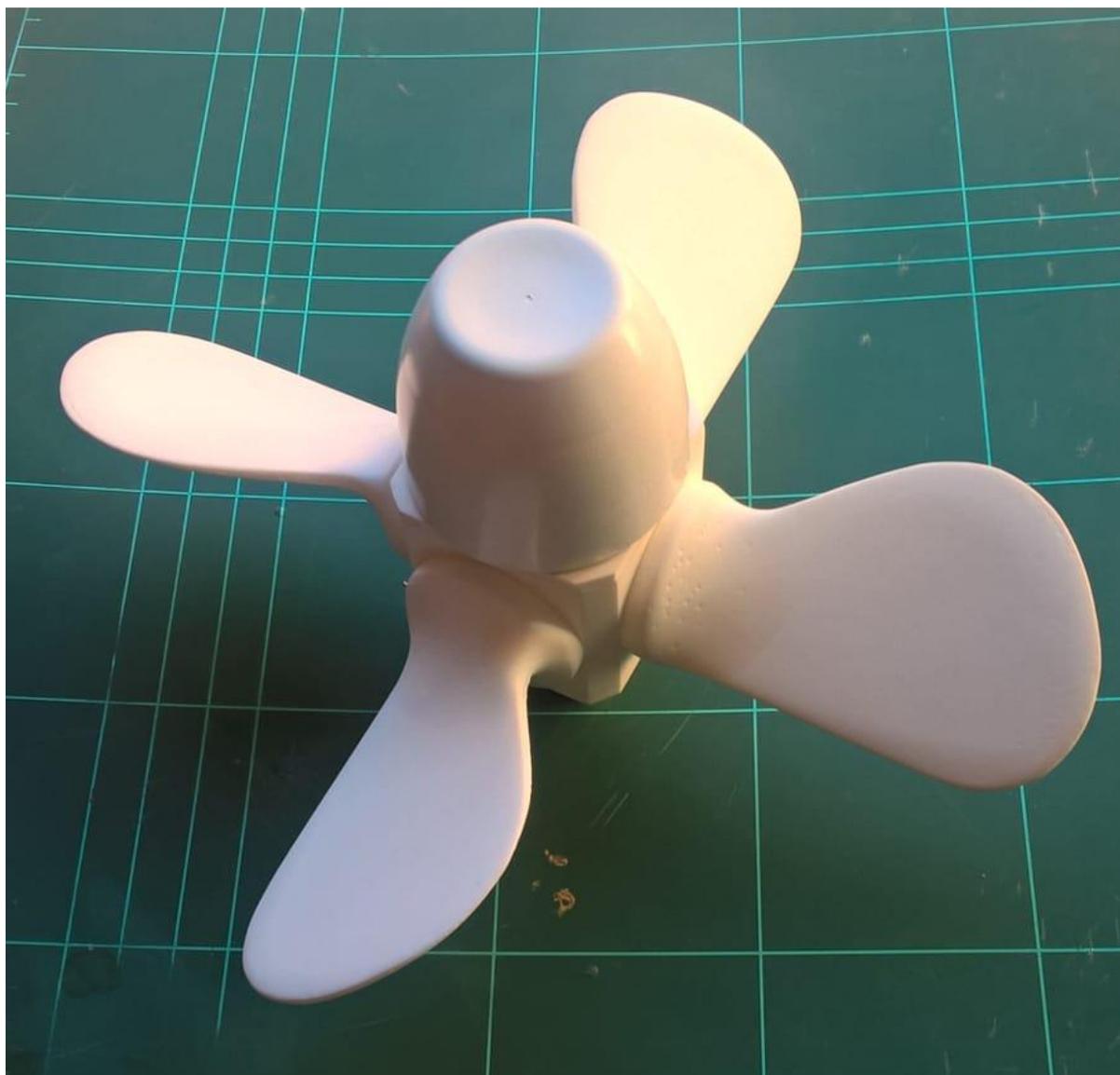


Figura 84. Modelo finalizado. Fuente: Trabajo de campo.

## VI. Conclusiones.

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

## **VI. Conclusiones.**

Al comienzo de este Trabajo de Fin de Grado surgieron cuatro objetivos. Durante todo el proyecto que supone este Trabajo de Fin de Grado, se ha intentado enfocar todo el esfuerzo y labor del trabajo de campo hacia la realización de dichos objetivos para lograr alcanzarlos, por eso ahora recapitulamos y podemos llegar a decir:

Hemos estudiado e investigado los diferentes componentes que influyen en la propulsión dentro del buque VB-Canarias, desarrollando cada uno de ellos de una manera clara y sencilla.

Hemos llegado a plantear y desarrollar el funcionamiento de los propulsores del VB-Canarias, desde la lubricación de estos hasta aquellos sistemas anexionados a su funcionamiento.

Hemos realizado un gran estudio referente al control y operación de estos propulsores azimutales, mostrando con apoyo de diagramas cómo interactúan las órdenes entre el puente y la máquina.

Hemos logrado comprender y entender en general el funcionamiento y control de los propulsores azimutales dentro del buque VB-Canarias.

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

## VII. Bibliografía.

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

**VII. Bibliografía.**

[1] Libro titulado: “Marine propellers and propulsión”; del autor: John Carlton.

[2] <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/5688/PABLO%20DIEZ%20ECHAVE.pdf?sequence=1>

[3] <https://www.rolls-royce.com/products-and-services/marine/product-finder/propulsors/azimuthing-thrusters.aspx>

[4] [http://comarse.com/?portfolio\\_1369782175=propulsores-azimutales](http://comarse.com/?portfolio_1369782175=propulsores-azimutales)

[5] <http://onlineresize.club/pixie-club.html>

[6] <https://ingenieriasmarinas.files.wordpress.com/2013/02/azipod-nuevo-concepto-en-propulsic3b3n-naval.pdf>

[7] <http://corunacruceros.blogspot.com/2015/06/himno-la-ingenieria.html>

[8] [http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Motores\\_Helices/Cicloidal/Cicloidal.htm](http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Motores_Helices/Cicloidal/Cicloidal.htm)

[9] <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1152/maniobras%20con%20remolcadores.pdf?sequence=1>

[10] <https://www.pinterest.es/pin/404972191473642432/>

[11] Cedido por “Alejandro Bernardez Villegas”, mecánico en los remolcadores de la corporación marítima Boluda.

[12] [https://wikivisually.com/wiki/Category:Tugboats\\_of\\_France](https://wikivisually.com/wiki/Category:Tugboats_of_France)

[13] <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1162/Plataformas%20petroliferas%20y%20procesos%20para%20la%20extraccion%20del%20petroleo%20.pdf?sequence=1>

[14] <http://www.canaryports.es/texto-diario/mostrar/588044/buque-perforador-west-saturn-atraca-dique-reina-sofia-puerto-palmas>

[15] <http://www.seadrill.com/~media/Files/S/Seadrill/our-fleet/technical-sheet/westsaturn-14oct2013ole.pdf>

[16] <http://sombradevapor.blogspot.com/2010/05/telegrafo-nautico.html>

[17] <https://www.navegar-es-preciso.com/news/las-comunicaciones-internas-a-bordo-de-los-buques/>

*FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES  
DEL BUQUE VB-CANARIAS.*

[18][https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tel%C3%A9grafo\\_en\\_el\\_puente\\_de\\_mando\\_del\\_Buque\\_Escuela\\_Juan\\_Sebasti%C3%A1n\\_de\\_Elcano\\_\(14716877022\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tel%C3%A9grafo_en_el_puente_de_mando_del_Buque_Escuela_Juan_Sebasti%C3%A1n_de_Elcano_(14716877022).jpg)

[19]<https://www.boluda.com.es/es/caracteristicas-buque/VB%20CANARIAS/>

[20]Manual de mantenimiento y operación de Schottel, tipo SRP 1515 CP.

[21][https://indunova.es/es\\_ES/termografia-cuales-son-las-causas-que-originan-puntos-calientes-en-un-sistema-electrico/](https://indunova.es/es_ES/termografia-cuales-son-las-causas-que-originan-puntos-calientes-en-un-sistema-electrico/)

[22]<https://evergreenscalemodels.com/>