



Universidad  
de La Laguna

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA, SECCIÓN DE NÁUTICA,  
MÁQUINAS Y RADIOELECTRÓNICA NAVAL

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**SISTEMAS DE GOBIERNO EN LOS  
BUQUES FAST-FERRIES Y FERRIES**

**GRADO EN NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO**

**JULIO 2020**

**Autora:** Cristina Castro Sánchez.

**Tutores:** D. G. Nicolás Marichal Plasencia.

D. Deivis Ávila Prats.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

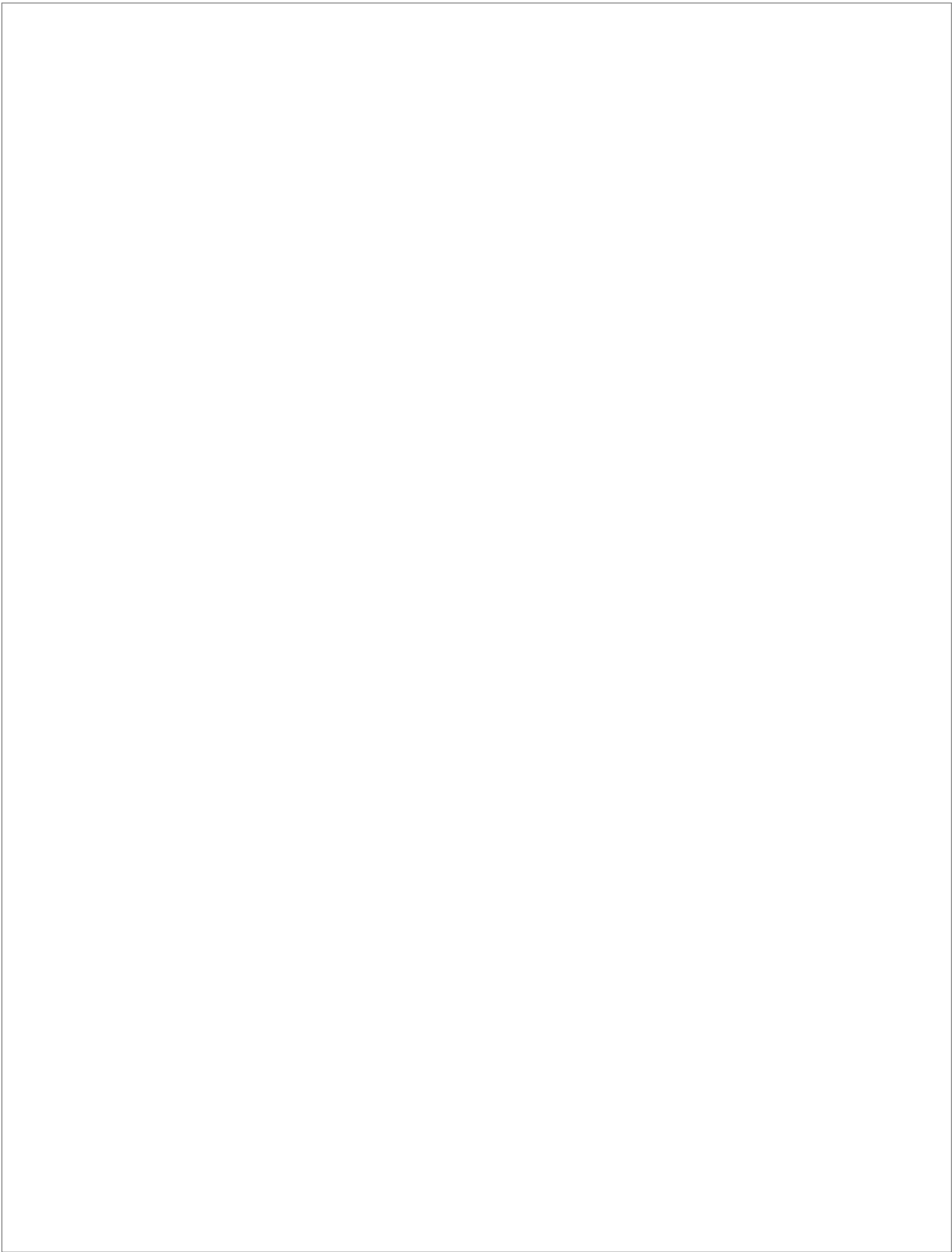
Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2624200      Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
*UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA*

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
*UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA*

08/07/2020 12:00:13

## **AGRADECIMIENTOS**

Después de mucho esfuerzo y dedicación, puedo poner punto final a esta etapa académica, pero no sin antes dedicar unas líneas de agradecimiento a todo aquel que ha formado parte en el desarrollo de este proyecto de manera directa o indirecta. No solo ha sido un período de formación cultural, también he crecido y madurado como persona. Desde el inicio de la etapa universitaria aprendí a ir superándome cada año de la carrera con nuevas metas y finalmente terminar saliendo con mucha más fuerza y motivación por cumplir todos mis sueños.

En primer lugar, quiero agradecer a la persona más importante de mi vida, mi madre, que sin ella, no estaría ahora aquí escribiendo estas palabras. Gracias a ti, he podido tener una guía de referencia para llegar a ser la persona que soy hoy. A pesar de los momentos difíciles que hemos pasado juntas, tú siempre hiciste toda clase de sacrificios para que no me faltaran las oportunidades de estudiar lo que me gustaba, sin que me faltara de nada. Además, en estos últimos años, has sido un pilar fundamental y has contribuido a darme fuerzas para seguir adelante, a pesar de todas las piedras con las que me he topado por el camino y sé que siempre podré contar contigo.

A ti Adrián, otra de las personas más influyentes de mi vida. Por los años que nos conocemos y haberte mantenido a mi lado, siempre creyendo en mí y en muchas ocasiones, dándome el toque de paciencia que algunas veces me falta, tengo que agradecerte por lo que me has aportado, por los momentos inolvidables vividos juntos y que pase lo que pase, has sido otro pilar importante en mi vida que siempre tendré en cuenta. Y por supuesto que también has contribuido en este proyecto que tanta lata te he dado con él.

Por último, y no menos importante, agradezco a mis tutores Nicolás y Deivis por haberme ofrecido este tema, del que en un principio creí que se me haría grande, pero que sin duda, han contribuido mucho en mi formación, tanto académica, como para el futuro y además de haberme guiado y asesorado en todo momento.

También agradecer a todas las amistades, compañeros y personas del ámbito náutico que me han ayudado en mayor o menor medida, para acabar con una etapa importante para mí como es este Trabajo de Fin de Grado que tantas horas y ganas he invertido.

**GRACIAS.**

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

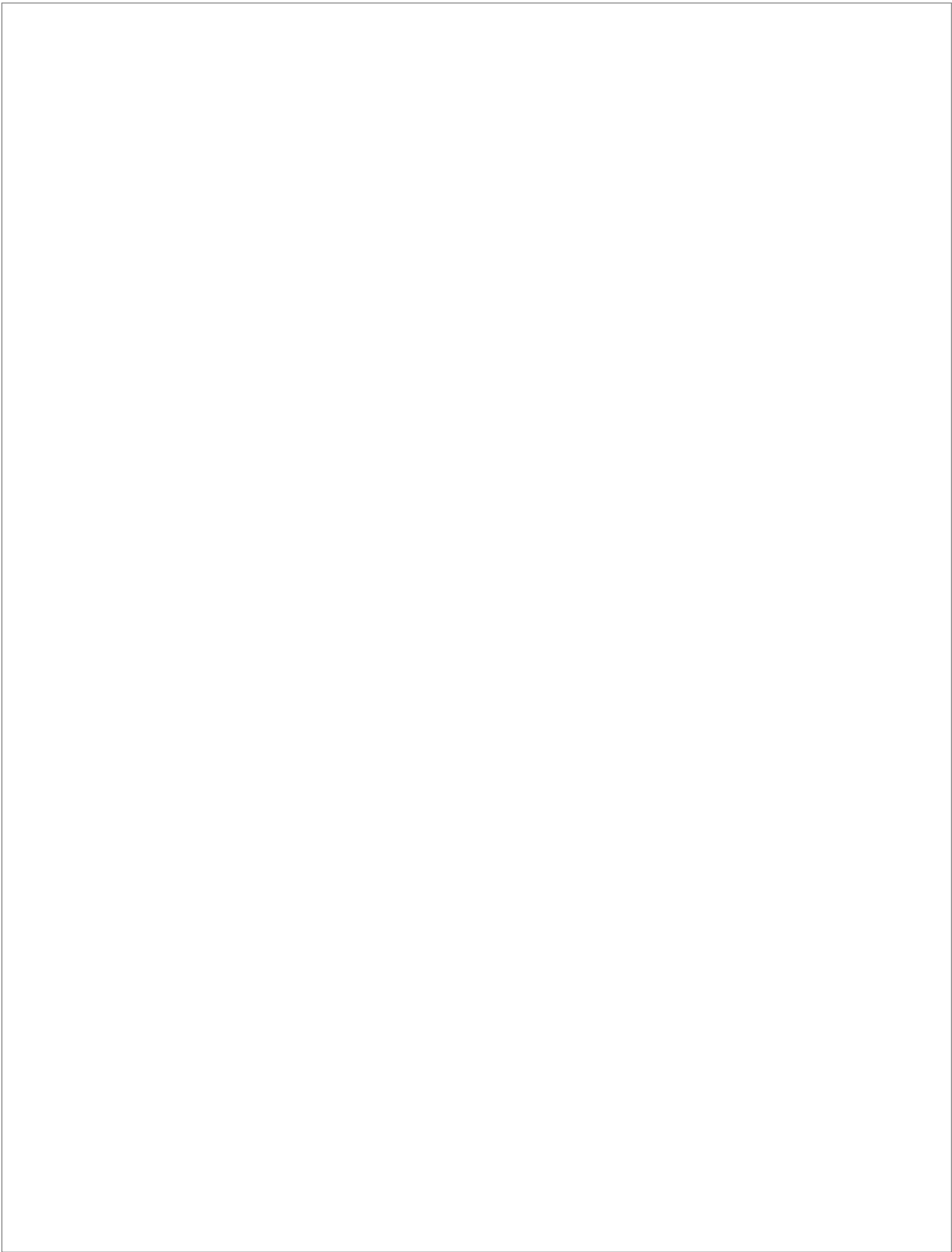
Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2624200      Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
*UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA*

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
*UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA*

08/07/2020 12:00:13

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	8
ABSTRACT .....	9
1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. SISTEMAS DE GOBIERNO DE UN BUQUE.....	11
2.1. Gobierno Manual.....	11
2.1.1. Funcionamiento .....	13
2.2. Gobierno Automático.....	13
2.2.1. Funcionamiento .....	16
2.3. Gobierno de emergencia.....	16
3. CLASIFICACIÓN DE LOS BUQUES .....	18
3.1. Ro- Ro (Roll on- Roll off).....	18
3.2. Ro- pax .....	19
3.3. Fast-Ferries.....	19
4. DESCRIPCIÓN BUQUES FAST-FERRIES .....	23
4.1. Sistema de propulsión Waterjet.....	23
4.2. Componentes del sistema.....	25
4.3. Elementos de control y gobierno.....	27
4.4. Estación de control principal.....	28
4.5. Estación de los alerones .....	31
4.6. Efectos del sistema de propulsión en las maniobras .....	33
5. DESCRIPCIÓN BUQUES CONVENCIONALES RO-PAX .....	40
5.1. Hélices de paso variable.....	40
5.2. Componentes principales .....	41
5.3. Descripción funcional .....	42
5.4. Elementos de control y gobierno.....	43
5.4.1. Estación de control principal .....	43
5.5. Maniobras.....	49
6. HÉLICES DE MANIOBRA .....	52
7. COMPARATIVA DE LOS SISTEMAS DE GOBIERNO .....	54
CONCLUSIONES.....	56
CONCLUSIONS .....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
REFERENCIAS FIGURAS .....	60

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200      Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Devis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de sistema de gobierno hidráulico básico.....	12
Figura 2. Representación del gobierno manual.....	13
Figura 3. Yokogawa PT500 Autopilot.....	15
Figura 4. Representación del gobierno automático.....	16
Figura 5. Servo-timón.....	17
Figura 6. Buque CO/RO OPDR Canarias.....	18
Figura 7. Buque Ro-pax Volcán de Tinamar.....	19
Figura 8. Jet foil Princesa Voladora.....	20
Figura 9. Hovercraft SolentFlyer.....	21
Figura 10. NGV Volcán de Tagoro.....	22
Figura 11. Sistema propulsivo waterjet.....	24
Figura 12. Componentes principales Waterjet.....	25
Figura 13. Posiciones de los buckets.....	27
Figura 14. Estación principal de control.....	28
Figura 15. Panel de control principal de Lips.....	29
Figura 16. Telégrafos de Lips.....	29
Figura 17. Panel piloto automático.....	30
Figura 18. Indicadores centrales.....	31
Figura 19. Estación alerones.....	32
Figura 20. Rueda de Steering.....	34
Figura 21. Maniobras avante y atrás.....	34
Figura 22. Maniobra desplazamiento a estribor.....	35
Figura 23. Maniobra desplazamiento a babor.....	36
Figura 24. Maniobra de reviro.....	37
Figura 25. Maniobra de ciaboga.....	38
Figura 26. Controles en modo Back-up.....	39
Figura 27. Hélice paso variable.....	40
Figura 28. Vista general de un sistema de propulsión.....	41
Figura 29. Consola central del puente del buque Volcán del Teide.....	43
Figura 30. Panel principal buque Volcán de Tamadaba.....	44
Figura 31. Controles Back-up.....	45
Figura 32. Controles responsabilidad de maniobra.....	46
Figura 33. Timones y telégrafos de órdenes.....	47
Figura 34. Alerón puente Ro-pax.....	48
Figura 35. Desatraque babor al muelle.....	50
Figura 36. Reviro sobre babor.....	51
Figura 37. Atraque costado de babor.....	51
Figura 38. Hélices de proa en túnel.....	52
Figura 39. Control hélices de proa.....	53

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

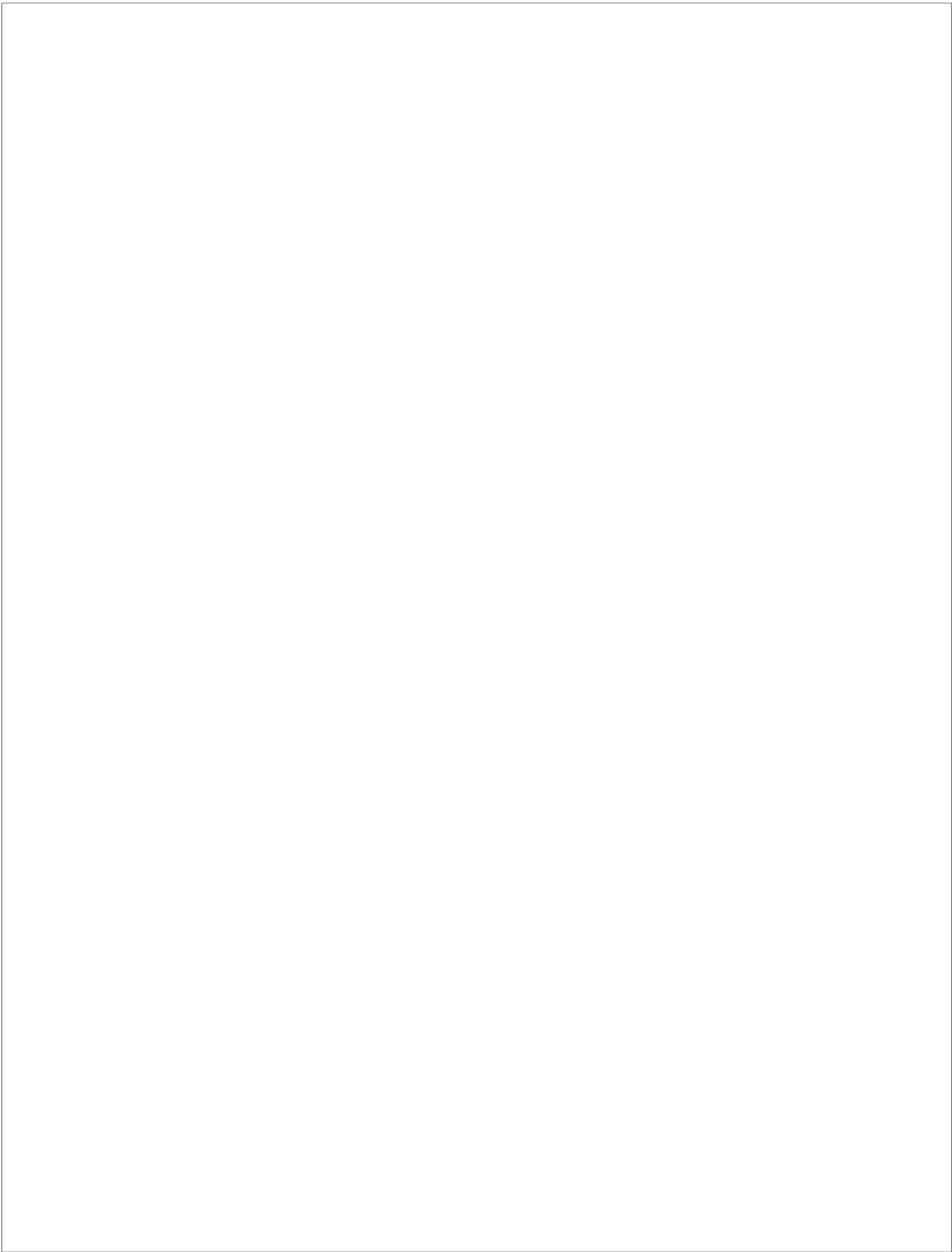
Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2624200      Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
*UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA*

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
*UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA*

08/07/2020 12:00:13

## **RESUMEN**

Este proyecto de fin de Grado se centra principalmente en los sistemas de gobiernos de los buques que se pueden encontrar navegando en los puertos canarios. Como punto de partida, se pretende introducir al lector en los sistemas rudimentarios básicos de navegación hasta la evolucionada tecnología actual, ofreciendo una visión general de los mismos. Una vez abordado este tema y sus principales componentes, se describirán los tipos de buques que más correlación tienen con este proyecto que son, los buques fast-ferries y los ferries, estableciendo una clasificación y descripción de los mismos. Sabiendo las características y operativa de ambos buques, se concluye con una comparativa entre los dos tipos de navíos y se resaltarán las ventajas y desventajas existentes entre sus sistemas de gobernabilidad. Para la realización del mismo se desarrollará mediante el estudio e investigación en las bibliografías especializada y en diversos documentos nacionales e internacionales, así como consultas de libros y a través de internet de sitios especializados en el ámbito náutico.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13



## **ABSTRACT**

This final degree project focuses mainly on the systems of government of the ships that can be found sailing in the Canarian ports. As a starting point, the intention is to introduce the reader to the basic rudimentary navigation systems up to the current evolved technology, offering an overview of them. Once this topic and its main components have been addressed, the types of ships that have the most correlation with this project will be described, which are fast-ferries and ferries, establishing their classification and description. Knowing the characteristics and operations of both ships, we conclude with a comparison between the two types of ships and the advantages and disadvantages existing between their governance systems will be highlighted. To carry it out, it will be developed through study and research in specialized bibliographies and in various national and international documents, as well as book consultations and through the internet of specialized sites in the nautical field.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

## 1. INTRODUCCIÓN

La finalidad del presente proyecto es la de estudiar los sistemas de gobierno de los buques Ro-pax, su operativa y las maniobras básicas tanto de un buque con propulsión por waterjets, como de la convencional hélice y timón. Para concluir, se establece una comparativa contrastando ambos sistemas.

En base a la formación académica de un alumno, el gobierno y la maniobrabilidad del buque son dos conceptos complejos y relevantes a la hora de operar un buque en la situación de alumno en prácticas o como profesional desempeñando una función de oficial de puente. Por esta razón, se establece como un objeto de estudio oportuno y fundamental que aporta al lector una herramienta de ayuda para cualquier persona que esté interesado en los distintos elementos del puente centrados en el control de los buques mencionados, de forma que puedan consultarlo con antelación y sirva como guía ante las dudas que se presentan antes de iniciar y durante las prácticas.

La metodología utilizada en la búsqueda de información para la realización de este documento, ha sido principalmente mediante diversas fuentes a través de internet, recursos bibliográficos, profesores de distintas ramas dentro del ámbito náutico, profesionales del sector y tomando como referencia proyectos de fin de grado de alumnos que han estado de prácticas, se recopila toda esta información para completar con rigurosidad y de forma ordenada, las partes que componen este trabajo teórico, el cual no ha sido tarea fácil, debido a la escasa información publicada al respecto.

Haciendo hincapié en el último punto, partiendo de la base que en la facultad de Náutica y Transporte Marítimo de la Universidad de La Laguna, tras obtener los conocimientos teóricos impartidos en diversas materias dentro del grado, solo cuenta con un simulador de navegación, con lo que ir de prácticas sin saber estos conocimientos prácticos, es un proceso de adaptación que requiere de interés por parte del alumno, tiempo y el conocimiento de muchos de los sistemas principales y auxiliares involucrados en la operación de gobernar un buque y tenerlos en cuenta en cada maniobra a realizar. Es por esto que espero aclarar y exponer mis inquietudes para una formación completa en mi camino a un puesto profesional.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

## 2. SISTEMAS DE GOBIERNO DE UN BUQUE

El gobierno de un buque se lleva a cabo principalmente mediante la actuación sobre el rumbo del mismo. Entendemos por rumbo como la dirección que lleva nuestro barco medido en el plano horizontal entre el norte y la dirección de avance del barco. Por lo tanto, el correcto cálculo del rumbo es fundamental para desempeñar todo tipo de maniobras ya sea para seguir una derrota, para arribar a un punto o para evitar cualquier adversidad.

El control de un buque se realiza operando sobre la pala del timón de forma permanente, ya que al dejar fijo el timón provoca siempre una deriva del rumbo, que se debe corregir continuamente.

Actualmente existen tres tipos de sistemas de gobierno: *Gobierno Manual*, *Gobierno Automático* y *Gobierno de emergencia*.

### 2.1. Gobierno Manual

En los inicios de la navegación la forma más primitiva de dirigir los buques era mediante las manos, que ha ido evolucionando al uso de los remos hasta la actualidad con el empleo del timón.

El mayor inconveniente que presentaba este tipo de gobierno manual es que al navegar a una cierta velocidad, el efecto del agua sobre la pala inflige una fuerza que dificulta la actuación sobre ella. Otra de las desventajas más notables surge en la mecha de la pala del timón, al construir barcos de mayor tamaño aumentaba considerablemente el conjunto de la pala del timón, esto conllevaba a que la mecha del timón sufriera un par de fuerzas lo bastante elevado para producir su posible ruptura. Para evitar aumentar el tamaño de la mecha, se optó por situar al timonel en una zona interior del buque, en la cual maniobraba la caña del timón en la obra muerta a popa, desde esta zona le impedía la visión directa de la maniobra teniendo que guiarse con una aguja náutica siguiendo las instrucciones del capitán [1].

Siglos más tarde se descubrió la rueda del timón que se instalaba con un sistema de cables que permitía actuar sobre la pala del timón a distancia desde el puente de gobierno ubicado en la cubierta superior. Esto supuso una mejora para el timonel que desde esta posición era capaz de tener una visión directa. Además se reducían considerablemente los esfuerzos a la hora de actuar sobre la rueda del timón y el efecto del agua sobre la pala era mucho menor, ayudando a mantener un rumbo más estable. Todas estas mejoras son debidas a un complejo conjunto de poleas por las que pasan cables que desmultiplican el giro del timón [1].

A principio de siglo pasado [1] se sustituyen los sistemas arcaicos de cables por sistemas hidráulicos-mecánicos más robusto y de mayor rigidez, como se muestra en la

figura 1. La última evolución de este sistema fue la inclusión de sistemas electrohidráulicos.

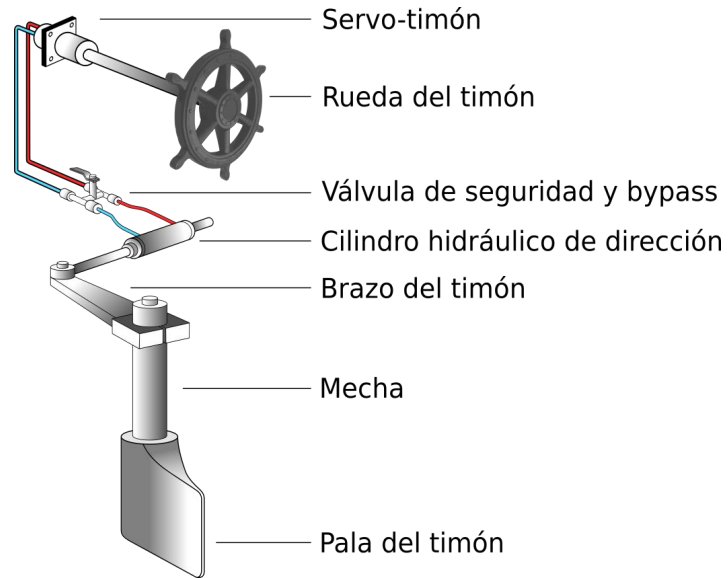


Figura 1. Esquema de sistema de gobierno hidráulico básico. Fuente: Elaboración propia.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

### 2.1.1. Funcionamiento

Haciendo una comparativa con un diagrama de bloques de lazo cerrado de un automatismo básico y el sistema de gobierno manual podemos obtener el siguiente esquema:

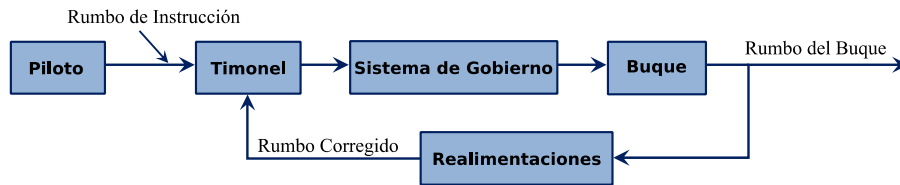


Figura 2. Representación del gobierno manual. Fuente: [1].

En primer lugar, tenemos al Piloto (*Oficial de la Marina Mercante*) el cual toma decisiones sobre el rumbo de navegación que le transmite al timonel. El timonel efectúa las órdenes del piloto sobre el gobierno del buque del que obtendremos un resultado que puede ser correcto a las indicaciones del piloto, o en caso contrario existirá una realimentación hacia el timonel que le ayuda a corregir el rumbo del buque.

### 2.2. Gobierno Automático

El origen de este tipo de sistemas se fundamenta en la introducción de la electrónica en los buques. Los sistemas eléctricos y electrónicos han ido desarrollándose, alcanzado una complejidad que en sus inicios, sólo desempeñaban una pequeña parte de los sistemas de abordó.

La función del timonel ha quedado relegada a un tercer plano ya que la ventaja de este tipo de sistemas, recae en la introducción de un autómata calculador que detecta los errores y correcciones, obteniendo una mayor precisión y eficacia al mantener un rumbo.

En un principio la realimentación del sistema se realizaba mediante un compás magnético. Este tipo de compas se orienta en la dirección del meridiano magnético. Los resultados que se obtienen son rumbos de aguja, por lo que deben ser corregidos a rumbos verdaderos constantemente. Con lo cual no proporcionan toda la información y precisión aparte que se ven perturbados por la estructura del buque, de los equipos, etc. [1].

A medida que se ha ido avanzando tecnológicamente estos sistemas han ido quedando obsoletos y se han quedado en los buques como sistemas de respeto.

A comienzos del siglo XX, intentado solventar todos los errores anteriores se introduce el compás giroscópico, estos señalaban el norte verdadero con independencia del magnetismo terrestre. Una de las desventajas más significativas es que necesitan de suministro eléctrico para su funcionamiento [2].

Actualmente, con la invención de la central de navegación inercial, que es un aparato autónomo, es decir, es independiente ya que actúa en función de lecturas internas del buque (*como la guiñada, balance, cabeceo,...*) mediante sensores de referencia de posición combinados con sensores de viento, corriente y girocompases, proporcionando una posición exacta y velocidad del buque en un entorno tridimensional mediante la determinación de las aceleraciones y rotaciones a las que este se ve sometido por lo tanto, aporta mucha más información que el compás giroscópico, siendo capaz de detectar un cambio en la posición geográfica debido al efecto de las inercias, un cambio en su velocidad y un cambio en su orientación (*rotación alrededor de un eje*). En la navegación marítima, es un sistema relativamente poco utilizado, pero que puede ofrecer grandes ventajas sobre todo en las embarcaciones que requieren un posicionamiento continuo y preciso, como es el caso de los buques o plataformas dotados con sistemas de posicionamiento dinámico [3].

El dispositivo representativo del sistema de gobierno del buque es el **piloto automático**, que se originó como un sistema de ayuda y control de la navegación, que permitía liberar gran parte de la carga del trabajo del timonel y del oficial encargado de la guardia del buque. Por lo tanto, este aparato es el encargado de gobernar el buque controlando de forma automática el rumbo del buque hacia un punto preestablecido, influyendo sobre la pala del timón para corregir sus desviaciones [4].

Los pilotos automáticos más sofisticados poseen funciones adicionales como Joysticks o JogLevers, que permiten dirigir al buque directamente a través del piloto en modos **Follow Up (FU)** y **Non Follow Up (NFU)** [5].

- **Follow Up (FU):** Es un comando de control de rumbo automático en el que el timonel introduce un ángulo de medida de la pala, y este actúa hasta igualar al ángulo de realimentación del mecanismo de dirección, es decir, la pala del timón sigue exactamente los movimientos del comando. Por lo tanto, se produce un proceso de realimentación en el que es capaz de modificar la señal de entrada en función de la señal de salida por lo que emplea un sistema de bucle de lazo cerrado.
- **Non Follow Up (NFU):** Es un comando de control de rumbo manual, que se usa ocasionalmente en emergencias, en el cual la pala del timón se moverá mientras el timonel mantenga ese rumbo dado, pero este actúa como un pulsador, es decir, solo realiza su función mientras se mantenga presionado en la dirección deseada, retornando siempre a su posición central. Al contrario que el anterior comando, se trata de un sistema de lazo abierto.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

En la *figura 3* que se muestra a continuación, se pueden ver los controles anteriormente descritos.



Figura 3. Yokogawa PT500 Autopilot. Fuente: Trabajo de campo.

Estos pilotos automáticos mercantes poseen sistemas de navegación de alta precisión, donde el piloto corrige cada desvío de forma inmediata y permite mover el barco en canales estrechos o entrar a puerto prácticamente sin tocar el timón [5].

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

### 2.2.1. Funcionamiento

Como en el gobierno manual, se puede relacionar el gobierno automático con un diagrama de bloques de lazo cerrado como el del siguiente diagrama:

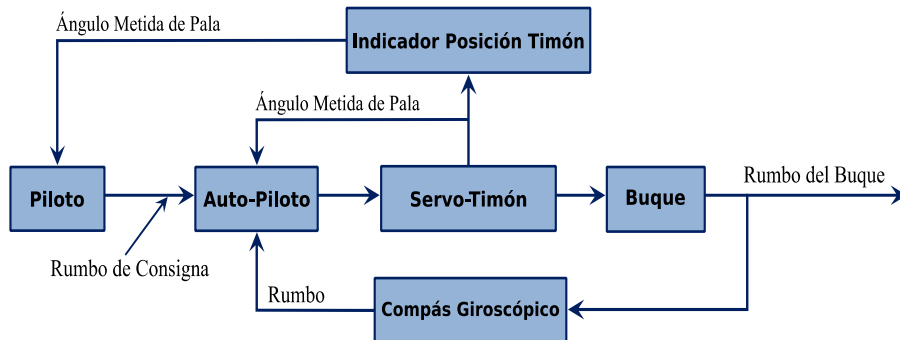


Figura 4. Representación del gobierno automático. Fuente: [1].

El piloto introduce el rumbo de consigna en el auto-piloto. El piloto automático controla directamente el servo-timón, dado que los circuitos eléctricos actúan en las válvulas de control de paso de aceite de este. El aceite circula mediante la bomba electrohidráulica por los tubos, desplazando los actuadores del servo-timón, dando una respuesta del ángulo metida del timón. Gracias a esta rotación conseguimos que el buque caiga o vire, y este nuevo rumbo se detecta por las agujas magnéticas o giroscópicas, que convierten los grados de giro en una tensión eléctrica. Esta corriente la recibe el autómata calculador (*auto-piloto*), y es capaz de detectar si existe error entre el rumbo de consigna y el verdadero comparándolos entre sí y generando una respuesta para hacerlos coincidir. Además el servo-timón nos da la información del indicador de posición del timón.

### 2.3. Gobierno de emergencia

Según viene recogido en el convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (*SOLAS*) [6], los buques están dotados de dos aparatos de gobierno, uno principal y otro auxiliar. Esta norma obliga a instalar un sistema de gobierno de emergencia, ya que su finalidad es la de poder actuar manualmente el servo-timón, cuando falle el sistema de telemando desde el puente de gobierno, consiguiendo así mantener el rumbo del buque. Para ello existe un sistema local de accionamiento del servo-timón situado generalmente en un local a popa coincidiendo con la limera por donde pasa la mecha del timón. Este local estará situado a la altura de la cubierta principal y debe tener comunicación con el puente [1].



En este tipo de sistemas la realimentación la efectuaría el propio timonel o tripulante que se encuentre en el local del servo. Para poder proceder al control manual del servo-timones obligado poseer un repetidor de giroscópica y otro de posición de ángulo de timón. Dichas señales de reseña las proporcionarían el Capitán o el oficial desde el puente de mando mediante sistemas de comunicaciones interiores del buque. En el caso de averías en el sistema de comunicaciones se tendría que recurrir a radioteléfonos portátiles o cadena humana de transmisión de órdenes [2].

A continuación, se puede ver en la *figura 5* el servo timón de estribor, para poder operar el gobierno de emergencia, debe haber mínimo tres personas, dos de ellas encargadas de actuar en las válvulas solenoide (*la de color rojo para babor y la verde para estribor*) y la tercera al cargo de transmitir las ordenes junto al repetidor de la giro y en constante comunicación con el puente mediante el teléfono autogenerado.



- 1 Sistema de comunicación interna (Telefono autogenerado)
- 2 Repetidor de la giroscópica
- 3 Bomba hidráulica principal
- 4 Actuador principal del timón (Válvulas tipo solenoide)
- 5 Indicador de ángulo del timón
- 6 Bomba y Actuador auxiliar de emergencia

Figura 5. Servo-timón. Fuente: Trabajo de campo.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

### 3. CLASIFICACIÓN DE LOS BUQUES

A lo largo de la historia, los navíos han ido evolucionando y han sido una herramienta indispensable en el transporte marítimo. Tal es la importancia de los buques que dependiendo de qué mercancías porten, se necesita realizar una clasificación de los mismos, donde se regularán las normas para asegurar que se realice un transporte óptimo.

A continuación, se habla de diferentes tipos de buques más habituales en la navegación de nuestros puertos, siendo los tipos de barcos que tienen una relación más cercana con este trabajo. Esta clasificación se basa en el tipo de servicios que prestan y tipos de mercancías que transportan.

#### 3.1. Ro- Ro (Roll on- Roll off)

Es un tipo de buque que presta servicio de carga y transporte pero, la particularidad de este tipo de barcos es que, la carga se estiba introduciéndola o sacándola por sus propios medios. Para realizar esta operación, los buques disponen de unas rampas integradas, o en el caso contrario, si el buque no posee estas rampas, deberá realizar el atraque en una parte del muelle donde existan unas rampas fijas en tierra que permitan la carga (*Roll On*) o su descarga (*Roll Off*) desde el puerto.

Dentro de la categoría de los buques RO-RO tradicionales, se pueden encontrar otros tipos de buques de carga rodada, uno de estos casos es el de los CON/RO (*Container-Roro*). Este tipo de buques, como su mismo nombre indica, es una combinación entre un Portacontenedores y un buque Ro-Ro, de ahí viene su acrónimo CON/RO. La mención a este tipo de buques, se debe a que este tipo de buques transitan por nuestros puertos canarios, como es el caso del buque OPDR Canarias y OPDR Andalucía, dos barcos gemelos pertenecientes a la naviera Bernard Schulte Canarias S.A que normalmente hacen la ruta Sevilla-Tenerife-Las Palmas de Gran Canaria.

A continuación se muestra una imagen del buque OPDR Canarias para tener una visión de su mayor capacidad de carga [7].



Figura 6. Buque CO/RO OPDR Canarias. Fuente: [2].

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

### 3.2. Ro- pax

Es un tipo de buque comercial que transporta carga rodada y pasaje siempre que exceda de 12 personas. Surgieron de la idea de aprovechar al máximo el espacio disponible en los buques para producir en consecuencia un mayor rendimiento económico. A este tipo de navíos se les conoce en la marina mercante como ferries. Actualmente en Canarias operan varias compañías de barcos como pueden Naviera Armas S.A que se fusiono en el año 2017 con Transmediterránea S. A. en 2017, cuenta con una flota de 40 buques, entre ferries convencionales y de alta velocidad [7].



Figura 7. Buque Ro-pax Volcán de Tinamar. Fuente: [3].

### 3.3. Fast-Ferries

Son naves ro-pax de gran velocidad (NGV), de construcción ligera, que a plena carga pueden alcanzar una velocidad de servicio de 20 nudos o superior. Este tipo de buque surge como alternativa a los ferries tradicionales, donde los usuarios necesitan realizar ese mismo desplazamiento en el menor tiempo posible, que a pesar del elevado consumo de combustible de sus motores, la duración de la travesía se reduce considerablemente si además le acompaña buena mar. Este tipo de naves tienen su propio código internacional de seguridad (*HSC Code*). Hay diferentes tipos de NGV que su diseño dependerá de las distancias a cubrir, la capacidad y velocidad requerida, así como las condiciones del agua .Los más representativos son: *nave Hidroala o Hydrofoil, los Hovercraft o Aerodeslizador y los Catamaranes* [8].

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

- **Hidroala o Hydrofoil** : Este tipo de barco revolucionario en su época, tuvo su mayor auge en la década de los años sesenta y setenta, nació de la idea de que una embarcación podía avanzar más rápido si se elimina el rozamiento del agua con el barco y navega por encima de este en vez de sumergido. Consistió en un diseño en el que el casco emerge del agua cuando se alcanza una cierta velocidad de “despegue”, gracias a la acción de un plano de sustentación o ala, muy similares en apariencia y finalidad a los perfiles aerodinámicos utilizados por los aviones, pero aplicándose a un medio marino. Adquiriendo esta propiedad de reducir la resistencia al avance y, por consiguiente, una mayor velocidad, en los años ochenta la compañía norteamericana Boeing Marine Systems, presentó su proyecto de una NGV llamada Jet Foil a la compañía Transmediterránea, la cual eligió Canarias como la zona que mejor posibilidad presentaba para mantener el posible mercado de una embarcación de este tipo. Tras varias décadas, estas embarcaciones dejaron de prestar servicios dado que su diseño está pensado para cortas travesías en aguas tranquilas para obtener el mayor rendimiento del mismo, por esta misma razón, no eran los suficientemente eficaces, ya que con malas condiciones de mar, se veía comprometida su estabilidad, teniendo que reducir la velocidad haciendo más lenta la travesía. Además de estos inconvenientes, se le añaden en su contra, varios incidentes en alta mar, algunos de ellos con pasajeros heridos, con lo que a principio del siglo XXI prestara sus últimos servicios en Canarias [8,9].



Figura 8. Jet foil Princesa Voladora. Fuente: [4].

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Devis Ávila Prats  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

- **Hovercrafts o Aerodeslizador:** A partir de los años sesenta, dado al éxito en el ámbito militar, se introducen en la marina mercante como nuevos navíos de transporte de pasaje. El mecanismo básico de este tipo de naves es el siguiente; hay un motor (*diesel o de gasolina*) que alimenta un gran ventilador central, apuntando hacia abajo, y uno o más ventiladores apuntando hacia atrás. El ventilador central mueve las hélices encargadas de levantar la nave al impulsar aire por debajo de la misma (*empuje vertical*), resultando en un mínimo rozamiento contra la superficie, siendo por lo tanto, capaz de alcanzar velocidades superiores a los cuarenta y cinco o cincuenta nudos de velocidad. Los otros ventiladores impulsan la embarcación hacia atrás, hacia adelante o hacia un lado (*empuje horizontal*) y pueden ser propulsados por hélices o motores de chorro de agua. Logran desplazarse sobre la mayoría de las superficies flotando y deslizándose sobre un colchón de aire. En buques de gran tamaño, a grandes velocidades, no se veían afectados por el movimiento de las olas, en cambio, en buques de menor tamaño las olas podían producir vibraciones que podían alterar la estabilidad de la nave. A finales de los sesenta, se presentaron en ambas islas capitalinas, un modelo de fabricación inglesa con capacidad de casi cuarenta pasajeros. Llegados desde Escandinavia se realizaron varias pruebas de las cuales se declinó la idea de fijar esas naves como unión entre las islas. Actualmente, como se puede son muy pocos los países que cuentan con hovercraft operativos, ya que los catamaranes son el tipo de embarcación ideal para suplir las necesidades de unir dos puntos, con un menor consumo de combustible, tienen características semejantes a las de un aerodeslizador sobre el agua y en desventaja para los catamaranes, realizan el recorrido más lento pero de forma menos ruidosa y con mayor comodidad para los pasajeros. Aparte del gran impacto medioambiental que generaban por donde circulaban, son contaminantes debido a los elevados niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> de los gases de escape de los motores [8,10]. A continuación, se muestra en la *figura 9*, un hovercraft operando actualmente en aguas anglosajonas.



Figura 9. Hovercraft SolentFlyer. Fuente: [5].

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

- **Catamaranes:** Es una nave con dos cascos independientes, ambos unidos por una plataforma. Esta plataforma es la base para las maniobras de carga y estiba, donde gracias a los car-decks, se aumenta considerablemente la capacidad de carga, aunque parezcan buques de pequeña envergadura. Gracias a los patines de cada banda, donde se ubican las salas de máquinas y sus propulsores, son naves que se impulsan con motores más pequeños que un buque monocasco. Al ser buques ligeros, la mayoría no poseen rampas de carga, dependiendo directamente del muelle de atraque que cuente con rampas fijas. Otra ventaja frente a un buque convencional, es su estabilidad, ya que un menor contacto con el agua, tiene menor influencia de las olas sobre el mismo [8].

En Canarias, aparecen este tipo de naves rápidas a finales del siglo XX. Dado a sus características, son tan competentes como un buque convencional, están activos desde entonces y aumentando la flota de NGV. Una de las empresas que operan en los puertos canarios con estos tipos de naves es Fred Olsen Express, que cuenta actualmente con siete buques fast-ferries que enlazan todos los puertos canarios.

La última incorporación es el navío "Volcán de Tagoro" (ver figura 10) que cuenta con la última tecnología ofreciendo un menor consumo de combustible y mejor estabilidad, adquirido por la compañía Naviera Armas S.A. para unir los puertos capitalinos de Santa Cruz de Tenerife con Las Palmas de Gran Canaria.



Figura 10. NGV Volcán de Tagoro. Fuente: [6].

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

## 4. DESCRIPCIÓN BUQUES FAST-FERRIES

En este apartado se analiza en profundidad el sistema de propulsión y gobierno presentes en las NVG.

El avance de este tipo de embarcaciones fast-ferries, generalmente es mediante una propulsión tipo waterjet, ya que este tipo de propulsor es capaz de desarrollar con la propulsión del chorro de agua, velocidades de 25 a 50 nudos. A continuación se realizará una breve explicación del sistema.

### 4.1. Sistema de propulsión Waterjet

El sistema de propulsión de estos buques, conocido comúnmente como “propulsión por chorro de agua”, funciona gracias a una turbina, que toma el agua del fondo del casco del buque, pasando por la tobera hasta el impulsor. El impulsor, en forma de turbina, lanza el chorro de agua a presión hacia popa donde el conducto de salida se estrecha, aumentando la presión debido al efecto Venturi. El chorro de agua ejerce una presión contra la masa de agua, creando una fuerza contraria, dándole el avance al buque. El resultado de estas fuerzas contrarias se entiende gracias a la Tercera Ley de Newton ó Ley de Acción y Reacción, que dice: “Si un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, este último ejerce sobre el primero una fuerza igual en módulo y de sentido contrario a la primera” [11].

El gobierno de este sistema se logra gracias a la **tobera de gobierno** (*se le denomina en inglés “steering nozzle”*), por medio de dos brazos hidráulicos es orientable horizontalmente y permite girar hacia una banda o la otra cambiando el ángulo de incidencia del chorro de agua, haciendo que la embarcación vire en la dirección deseada [11].

En cambio para ir marcha atrás, se dispone de una **cuchara** (*bucket*) tras la tobera que, dependiendo del modelo, se encuentra sobre el waterjet o por la parte inferior y un brazo hidráulico coloca dicha cuchara enfrente del chorro, dirigiendo este en sentido contrario al del avance normal del buque, de esta manera se invierte la dirección del flujo de salida, consiguiendo así el retroceso del buque [11].

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

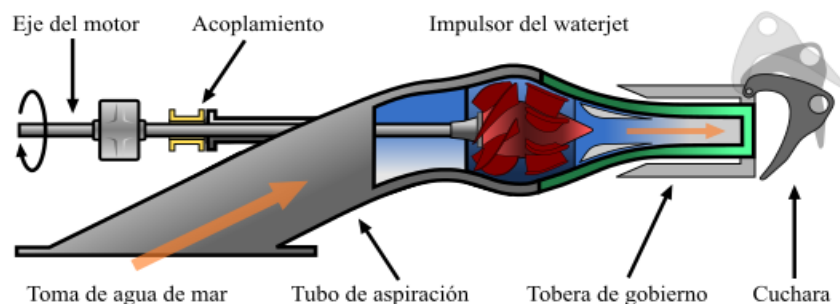


Figura 11. Sistema propulsivo waterjet. Fuente: Elaboración propia.

En la *figura 11* se observa en el dibujo simplificado, las partes de un waterjet, empezando por la parte inferior, donde se ubica la toma de mar justo debajo de la quilla del casco del buque, por donde el agua entra en la dirección de la flecha hacia el impulsor (*dibujado de color rojo*) pasando por el tubo de aspiración. El motor del buque se mueve siempre en el mismo sentido de giro al eje, que a su vez está acoplado a una reductora y con acoplamientos se une al impulsor transmitiéndole el movimiento. El chorro de agua pasa por el estator (*de color verde*) y tiene la salida en la parte final donde se encuentra la cuchara móvil unida a la tobera de gobierno, aportando estos dos últimos elementos, la gobernabilidad del buque.



#### 4.2. Componentes del sistema

Ahora se explican los elementos principales que constituyen el sistema Waterjet. Se hará una breve descripción de cada una de las partes y se muestra a continuación una imagen explicativa de las mismas.

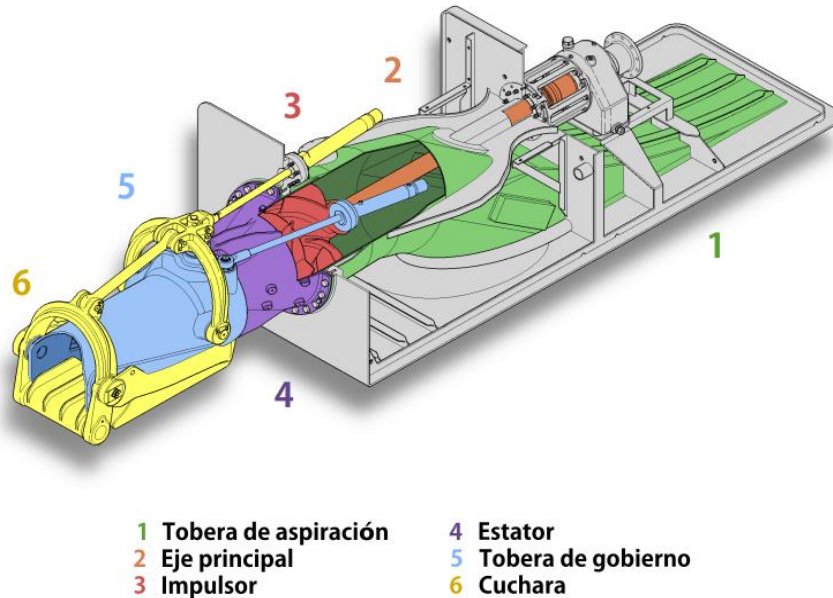


Figura 12. Componentes principales Waterjet. Fuente: [7].

#### 1. Tobera de aspiración (*Intake Part Housing*)

Es la encargada de dirigir el agua de la parte inferior del casco desde la toma de mar hacia el impulsor. Debido a la forma de este conducto se producen pérdidas de cargas. Para reducir dichas pérdidas de carga del tubo de aspiración, se utiliza un tubo de mayor diámetro y menor longitud, por lo que genera menores pérdidas de carga. Otro dato a tener en cuenta es que el comportamiento del flujo de agua es turbulento, por ello, es importante tener en cuenta la forma del conducto para conseguir reducir la rotación del fluido que llega a la bomba y hacerlo más hidrodinámico [12].

## 2. Eje principal (*Mainshaft*)

Este eje cilíndrico es el encargado de recibir y transmitir el giro directo de la reductora, que a su vez ha sido movida en base a las revoluciones del motor. El eje entonces es el nexo de unión del motor que genera una fuerza y el impulsor que transferirá ese par de fuerza al agua.

Un aspecto a tener en cuenta es que, este eje debe estar perfectamente alineado y contrapesado, ya que cualquier mínima vibración se incrementará con el aumento de revoluciones afectando directamente sobre el impulsor y el mal funcionamiento del mismo [12].

## 3. Impulsor (*Impeller*)

Es un núcleo giratorio metálico dotado de una serie de alabes helicoidales, que tienen como función incrementar la presión y velocidad del fluido, succionándolo desde la toma de mar. Un impulsor actúa como una bomba, con lo cual podemos encontrarnos con varios tipos, dependiendo de las características del buque, se utilizan normalmente de tipo axial, donde el fluido es impulsado de forma paralela al eje del impulsor y el otro tipo más común es el mixto, cuyo flujo a la salida tiene una cierta separación del centro [12].

A baja velocidad los alabes del impulsor se ven afectadas por la cavitación debido a que al girar el impulsor y expulsar el agua hacia delante dejan un vacío que es inmediatamente ocupado por nuevas moléculas líquidas. Los alabes crean tal depresión, en su cara anterior que el agua hierve a temperatura ambiente; las burbujas que salen entonces del impulsor no son de aire, sino estrictamente de vapor de agua. Estas burbujas se desplazan rápidamente hacia atrás, hasta encontrar una zona de mayor presión donde volverán a convertirse en agua implotando contra las propias aspas ocasionando una gran pérdida de potencia y disminución del rendimiento [13].

## 4. Estator (*Stator*)

Esta pieza se encuentra ubicada detrás del impulsor, cuenta con paletas directrices para orientar el chorro de agua una vez que ha pasado a través del impulsor [12].

## 5. Tobera de gobierno (*Steering nozzle*)

Es la parte direccional del waterjet, la encargada de dirigir el chorro de agua mediante unos brazos hidráulicos que permiten girar hacia estribor o babor [12].

## 6. Cuchara (*Reverse Bucket*)

Pieza situada en el final del steering nozzle, en forma de cuchara que se encarga de dotar de gobernabilidad y el sentido de propulsión al buque. Accionado mediante un brazo hidráulico, hace posible que el posicionamiento de la cuchara redirija el chorro

de agua y al incidir en la cuchara, este crea una fuerza de impulsión en sentido contrario al normal, permitiendo así que el buque vaya adelante si se encuentra en posición completamente cerrada, en reposo si en vez de dirigir el chorro atrás lo dirige hacia abajo y el avance atrás dependiendo del ángulo de posición de la cuchara [12].

Para entenderlo con mayor claridad, seguidamente se puede ver en la *figura 13* las tres posiciones anteriormente nombradas.

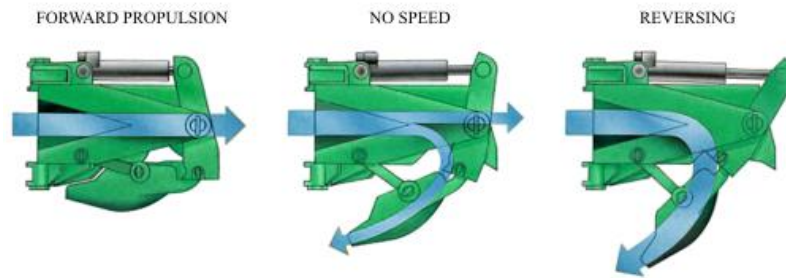


Figura 13. Posiciones de los buckets. Fuente [8].

Tanto el control del gobierno como del empuje adelante o atrás, es logrado por un sistema de control electrónico conectado al sistema del servomotor. Los indicadores de las posiciones de las cucharas en posición de adelante o atrás y de gobierno están situados en las estaciones de control de los mismos.

#### 4.3. Elementos de control y gobierno.

Los mandos de gobierno principales se sitúan en el puente. El funcionamiento de estos se fundamenta en sistemas electrónicos. En este caso se les denomina SCS (*Ship Control System*) y utilizan un lenguaje de programación en Lips [12]. Este tipo de lenguaje se basa en la aplicación de electrónica programable y se apoya en la utilización de funciones matemáticas para el control de los mismos. Los microprocesadores que componen los circuitos electrónicos, son los circuitos integrados centrales, los cuales recogen las órdenes dadas desde el puente como señales analógicas, son convertidas a señales digitales y transmite los procesos indicados y los comunica a los actuadores que operan los sistemas hidráulicos del buque, ya que todos están controlados por este control principal [13].

A continuación se exponen de manera detallada los elementos de control principales existentes en el puente de gobierno, se hablará en primer lugar de los elementos que hay en la estación de control principal y en segundo lugar en las estaciones de los alerones. Para intentar hacerlo más entendible, se ha tomado de ejemplo el buque de alta velocidad “Alborán” de la compañía Naviera Armas S.A. para poder explicarlo mejor con imágenes.

#### 4.4. Estación de control principal

En ella, se pueden encontrar los controles más relevantes para la maniobrabilidad del buque (ver figura 14) compuesto por los siguientes elementos:

1. Panel de control principal.
2. Palancas.
3. Panel del piloto automático.



Figura 14. Estación principal de control. Fuente: Trabajo de campo.

#### Panel de control principal

Los controles principales que componen este panel se muestran en la figura 15 y son los que se describen a continuación [15].

1. **4 conmutadores normal / backup**, los cuales permiten cambiar el modo de control entre normal y seguridad para cada waterjet individualmente.
2. **Jogswitches**, son los elementos de control en backup que se utilizan en caso de fallo del sistema electrónico. Hay dos palancas omnidireccionales, una para cada pareja de waterjets y cada una de ellas puede actuar sobre uno o los dos waterjets de cada casco, según cuantos waterjets estén seleccionados en backup. Actúan como pulsadores, es decir, solo realiza su función mientras esté presionado en la dirección deseada, retomando siempre a su posición central. Permiten cuatro movimientos: *tobera a babor, tobera a estribor, cuchara adelante y cuchara atrás*.
3. **Selector de cambio de estación**, el cual permite activar la transferencia del control a los alerones o tomar el control de la estación central.

4. **Dimmer**, es un atenuador de lámpara para este panel.
5. **Test mode**, que permite activar el modo test para chequear las funciones de Lips.

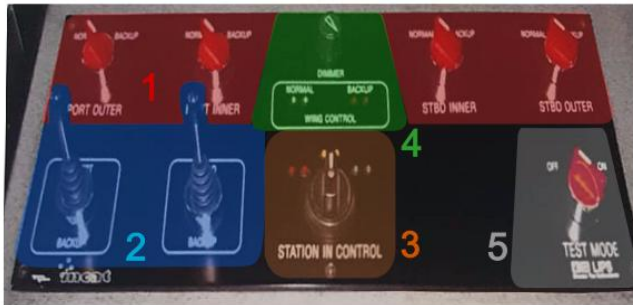


Figura 15. Panel de control principal de Lips. Fuente: Trabajo de campo.

**Palancas**

Se dispone en este caso, de dos telégrafos como se observan en la *figura 16*, que controlan tanto la velocidad de las máquinas (*rpm*) como la posición de la cuchara (*desplazamiento avante, atrás o neutral*). Cada palanca tiene dos potenciómetros independientes, uno para modo normal y el otro para back-up [15].

En modo normal tenemos cuatro franjas de acción:

- **De Stop a 0 avante:** Dan la orden de acción avante a las cucharas, manteniendo las rpm al mínimo.
- **De 0 a 100% avante:** Dan la orden de rpm a los motores principales, manteniendo la cuchara todo avante.
- **De Stop a 0 atrás:** Dan orden de acción atrás de las cucharas, manteniendo las rpm al mínimo.
- **De 0 a 40% atrás:** Dan orden de rpm a los motores principales, manteniendo la cuchara todo atrás.



Figura 16. Telégrafos de Lips. Fuente: Trabajo de campo.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2624200	Código de verificación: +BJCo0uA
Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 08/07/2020 09:03:43
Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	08/07/2020 12:00:13

### Piloto automático

Este aparato que se muestra en la *figura 17*, actualmente, es fundamental en cualquier buque debido a la gran ayuda que aporta a la navegación, ya que nos permite gobernar el buque con los parámetros que se le indiquen. El sistema que funciona electrónicamente, corrige constantemente las variaciones y desviaciones existentes, redirigiendo al buque al rumbo deseado, enviando señales a los elementos de gobierno que en este caso será al steering nozzle.



Figura 17. Panel piloto automático. Fuente: Trabajo de campo.

A continuación se nombran los controles más relevantes que podemos encontrar en cualquier panel de un piloto automático:

- **Actual Heading:** Indicador de rumbo actual.
- **Demand Heading:** Indicador de rumbo deseado.
- **Steering Select:** Selector de cambio de gobierno de piloto automático a manual.
- **Pulsadores Heading Control:** Los cuales permiten cambiar el rumbo deseado a babor o a estribor.
- **Pulsador Rot Active:** El cual permite activar la función de limitar la velocidad de giro.
- **Potenciómetro Rot control:** Selecciona el límite de velocidad de giro.
- **Pulsador Magnetic y Giro:** Como fuente de lectura de rumbo actual, se puede escoger entre el del girocompás o el compás magnético. Este botón lleva una cubierta de cristal porque las normas no permiten utilizar el compás magnético como señal de control, por lo que solo sirve para mostrar el rumbo magnético mientras se mantiene pulsado y una vez se suelta, se vuelve al rumbo de la giro.
- **Potenciómetro Weather:** Esta función evita que el piloto responda a desviaciones de rumbo momentáneas, menores de un cierto valor.

### **Panel de indicadores central**

Se encuentran encima de la estación central dos paneles contiguos, uno para cada banda. Cada panel como se observa en la *figura 18* indica las posiciones de las cucharas (*buckets*) y de las toberas de gobierno (*steering nozzle*) común a cada pareja de waterjets. Estos indicadores además, incorporan unas luces led, para avisar de una posible desviación de los waterjets [14].

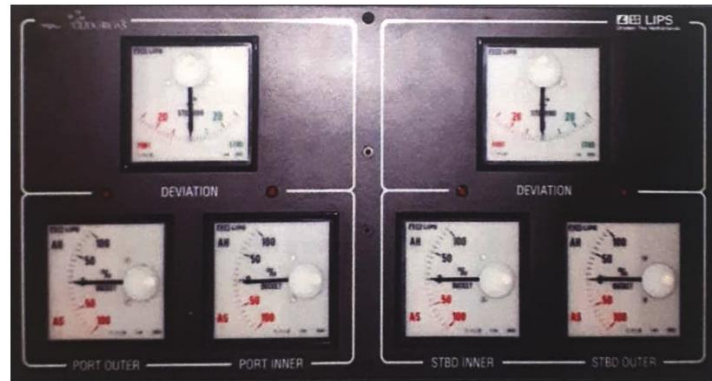


Figura 18. Indicadores centrales. Fuente: Trabajo de campo.

### **4.5. Estación de los alerones**

Una vez realizada la transferencia de control desde la estación central, se describen los controles más importantes existentes en las estaciones de los alerones y finalmente se mostrará en la *figura 19* dichos controles para comprender su disposición.

1. **Jogswitches:** Son los elementos de control en back up. Permite cuatro movimientos: *steering a babor*, *steering a estribor*, *cuchara avante* y *cuchara atrás*.
2. **Botón giratorio de momento de giro:** Permite añadir a los movimientos del joystick, un momento de giro de la nave en torno al centro del barco para ayudar a las operaciones de maniobra y conseguir los movimientos de traslación y rotación que requiera el capitán. En cualquier buque convencional, tendremos que tener en cuenta el centro de rotación (*CR*), pero además, en este tipo de buques fast-ferries tenemos que tener en cuenta otro concepto añadido, que es el concepto de centro de esfuerzo (*CE*). El centro de rotación permanece estático mientras que el centro de esfuerzo varía según la orientación de los jets. [14].
3. **Potenciómetro rpm:** fija las rpm básicas durante la maniobra.
4. **Potenciómetro X-trim:** Permite reducir las rpm durante los movimientos longitudinales (*avante-atrás*).

5. **Pulsadores de desconexión de embragues (*clutch out*) para emergencias.**
6. **Indicador de rumbo actual.** Nos muestra en todo momento el rumbo que llevamos, con la giroscópica.
7. **Pulsador de aceptación del Control.** Este botón permite aceptar la transferencia del control desde la estación central a la consola de maniobra, (*muy similar a lo de los buques convencionales*). Si este botón no es presionado, no se aceptaría el control, y por tanto, la consola de maniobra no respondería a nuestras órdenes.
8. **Joystick de Maniobra.** El joystick de maniobra nos permite realizar movimientos longitudinales, transversales y combinaciones de ambos.

Una vez indicada nuestra acción de caer hacia un costado u otro o ir adelante o atrás, el joystick moverá los steering y los buckets hasta conseguir la apertura necesaria para lograr el movimiento indicado.

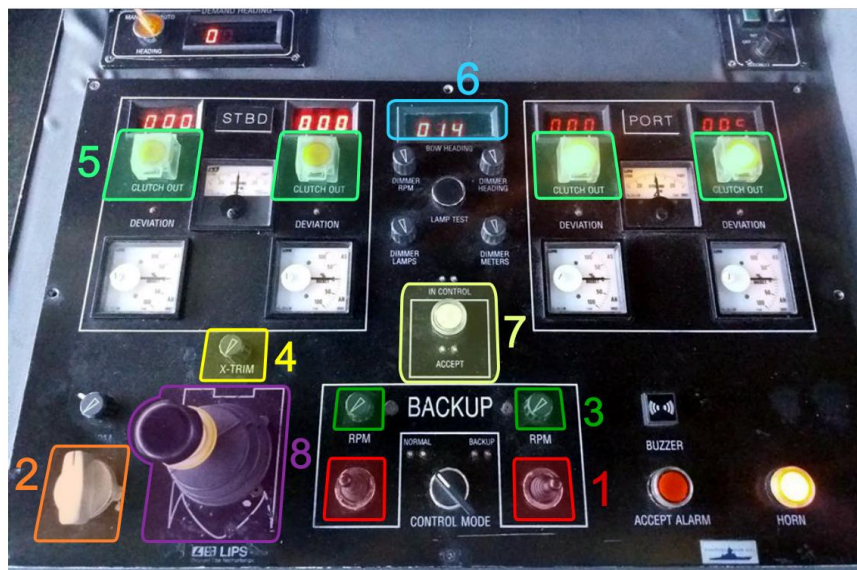


Figura 19. Estación alerones. Fuente: Trabajo de campo.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13



#### 4.6. Efectos del sistema de propulsión en las maniobras

Una vez descritos los elementos de control principales, se explican las maniobras básicas de los buques con este tipo de propulsión en condiciones ideales, es decir, sin tener en cuenta factores como el viento, las olas, etc. De esta manera, se recogen distintas maniobras básicas en modo normal, para una vez entendidas estas, completarlas con las maniobras en modo de emergencia (*back-up*). Todas estas maniobras se limitan a las realizadas desde los alerones para atraque y desatraque del buque.

Uno de los conceptos más importantes en la operatividad de los buques en general es el **Centro de Rotación (CR)** y otro término más exclusivo de este tipo de propulsores orientables es el **Centro de Esfuerzo (CE)**. El CR permanece estático, mientras que el CE se modifica con la posición de los waterjets [15].

Por eso se procede a analizar como varía el centro de esfuerzos dependiendo del ángulo que adquieran los jets.

Una propulsión eficaz se consigue cuando el centro de rotación y el centro de esfuerzo coinciden (posicionando alrededor de 20° los jets hacia fuera), por lo que las fuerzas aplicadas generan un empuje del buque sin momento de giro, es decir, avante, atrás o lateralmente a estribor y babor.

Si se varía el ángulo límite de los jets nombrado anteriormente, originaría dos situaciones distintas, que se aumente el ángulo hacia fuera o que disminuya orientándose hacia dentro.

En el primer caso, en el que se aumenta superando los 20 grados, el centro de esfuerzo varía retrasándose hacia popa, por lo que el buque tenderá a generar cierto momento de giro, además influyen, la potencia que se le aplique a las máquinas y la posición de los buckets. Pero si se posicionan con cierta apertura por debajo del ángulo límite, el centro de esfuerzo se trasladará hacia proa, creando un momento de giro.

Para el segundo caso, orientando los jets hacia dentro, el centro de esfuerzo se posicionará muy hacia popa, y con esto se consiguen que la distancia al punto de rotación sea muy grande y provoque un gran momento de giro, ideal para una maniobra de reviro.

La manera de ejecutar estos movimientos es mediante una pequeña rueda de timón de accionamiento electrónico como se observa en la *figura 20*, situada en el puente, en el panel de control de maniobra la cual controla la orientación de los jets y se utiliza para hacer girar el buque, metiendo la popa y sacando la proa o viceversa, como anteriormente se ha expuesto. Esta rueda lleva unos sensores de posición que, en función del giro que se le aplique, actúa en el sistema hidráulico de los jets, en concreto, acciona la bomba de aceite para dar presión a los vástagos hidráulicos que mueven la tobera de gobierno en un sentido u otro. La rueda tiene dos potenciómetros independientes, uno para la unidad electrónica de babor y otro para la de estribor [15].

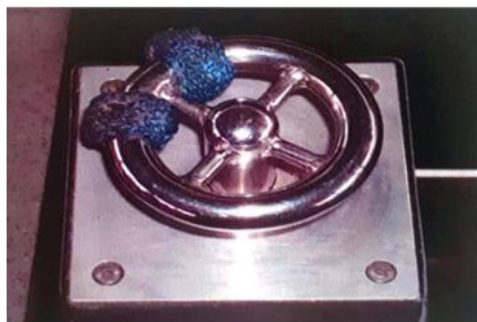


Figura 20. Rueda de Steering. Fuente: Trabajo de campo.

Una vez dada la introducción, las maniobras básicas son las siguientes:

- **MANIOBRA DE AVANTE Y ATRÁS**

Estas maniobras son las más sencillas. Únicamente debemos de regular los buckets de los jets, abriéndolos y cerrándolos según si queremos dar avante o atrás respectivamente.

En el caso de marcha avante, los jets se quedan a la vía, abriendo totalmente los buckets. Esto se consigue en modo normal desplazando el joystick hacia la posición de avante. Para dar atrás, haremos lo mismo pero dirigiendo el joystick hacia atrás y los buckets se cerrarán por completo. En la siguiente imagen se representan gráficamente ambas maniobras (ver figura 21) [16].

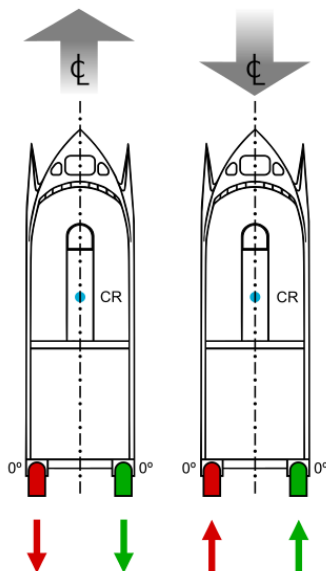


Figura 21. Maniobras avante y atrás. Fuente: Elaboración propia.

- **MANIOBRA DE DESPLAZAMIENTO LATERAL A ESTRIBOR**

Para que el barco se traslade lateralmente a estribor, hay que tener los steering abiertos justo con el ángulo límite (*sobre 20° para hacer coincidir el centro de rotación con el centro de esfuerzo y por tanto, no se produzca ningún momento de giro*) y los buckets de la banda de estribor se cerrarán a tope para dar atrás y los de babor se abrirán a tope para dar adelante.

Dicho de otro modo, las fuerzas de adelante y atrás se contrarrestan, y las de desplazamiento lateral se suman, por lo que la resultante, aplicada en el centro de esfuerzo, hará que el buque se desplace a estribor. A continuación, en la *figura 22* se representan ambas maniobras [16].

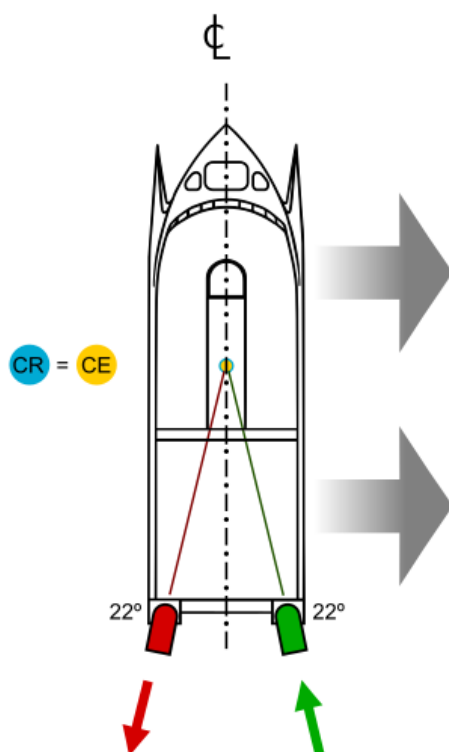


Figura 22. Maniobra desplazamiento a estribor. Fuente: Elaboración propia.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

- **MANIOBRA DE DESPLAZAMIENTO LATERAL A BABOR**

Esta maniobra es muy parecida a la anterior exceptuando que en esta ocasión los jets de babor son los que dan atrás y los de estribor dan adelante. Nuevamente las fuerzas de avance y atrás se anulan y las de desplazamiento lateral se suman dando como resultante un desplazamiento lateral a babor (ver figura 23) [16].

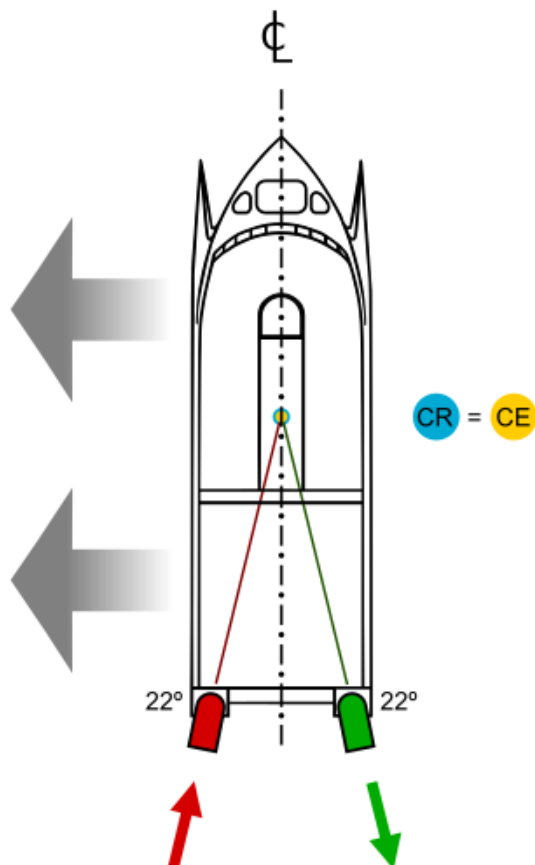


Figura 23. Maniobra desplazamiento a babor. Elaboración propia.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

- **MANIOBRA DE REVIRO SIN MOVER STEERING**

Esta maniobra no requiere de ángulo en los jets para conseguir un momento de giro. Esto se produce al colocar los jets de una banda al 100% de potencia avante mientras que los de la banda contraria se cambia al 100% pero atrás.

Con esto se consigue un reviro lento y controlado debido a que el centro de esfuerzo es nulo y la propia impulsión de los propulsores se encargan de transmitir un esfuerzo contrario en cada banda del barco generando este giro (ver figura 24).

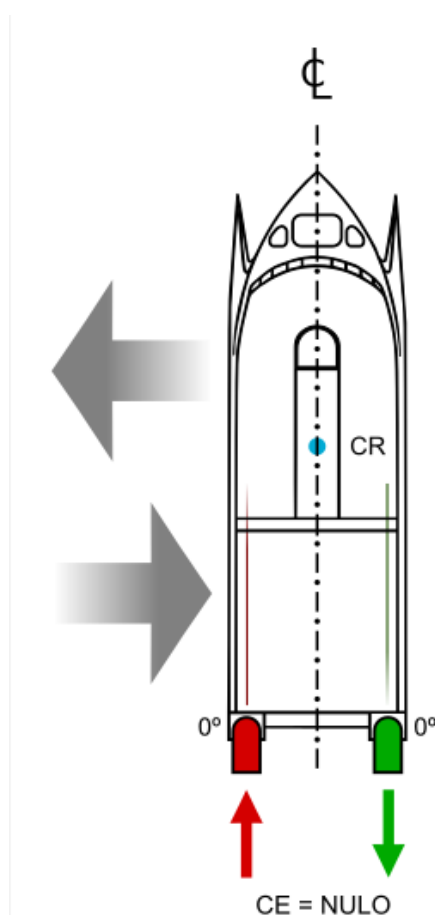


Figura 24. Maniobra de reviro. Elaboración propia.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

- **MANIOBRA DE REVIRO CON STEERING Y MOMENTO DE GIRO MÁXIMO**

En este caso, los jets se orientarán hacia dentro, lo que provoca que el centro de esfuerzo se vaya muy a popa, incluso fuera del buque. Esta distancia tan grande entre el centro de rotación y el centro de esfuerzo produce un gran momento de giro, que hace que el buque vire sobre su propio eje con total facilidad. Además, se dará avance en un costado al máximo de rpm mientras que el lado contrario atrás, en función del sentido de reviro. De esta forma, el sentido de giro lo marca el bucket de atrás [16].

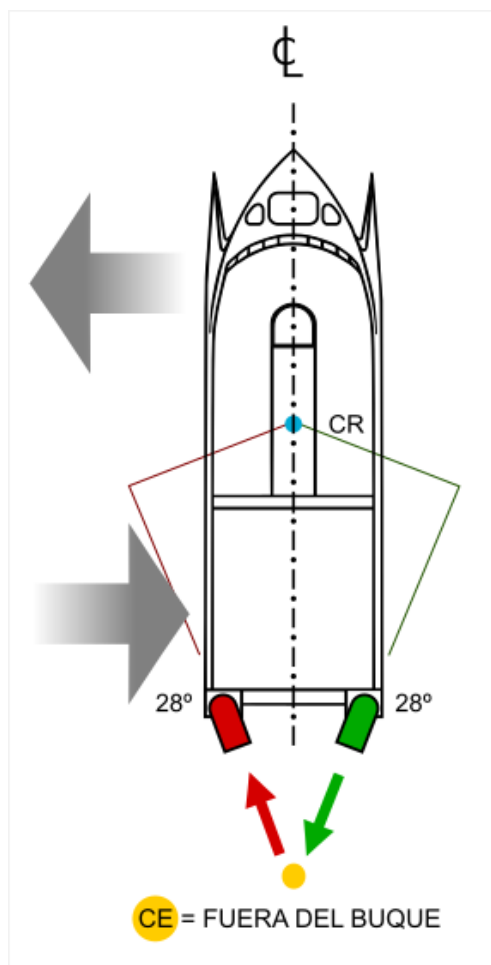


Figura 25. Maniobra de ciaboga. Elaboración propia.

Pasamos a hablar de las maniobras en **modo de emergencia** (*back up*);

### MANIOBRA EN MODO BACK-UP

Ante un fallo del sistema de control del buque podemos controlar este mediante el sistema Back-up situado en el puente, en la consola central. Como se puede apreciar en la *figura 26* en la parte inferior del panel de control nos encontramos con una pequeña área que incluye dos pequeñas palancas a modo de pequeños joysticks (*joggs*), y asignados a estos, dos pequeños potenciómetros para controlar las revoluciones de los motores. Estos controles tienen movimientos en forma de cruz, es decir, que cada uno de ellos tiene cuatro posiciones: adelante, atrás, a babor y a estribor. Operando estos controles se actúa independientemente en cada steering y en cada bucket de cada waterjet, así como en las revoluciones del motor [16].

En este sistema a diferencia del modo normal no hay realimentación, por lo que el sistema no corrige errores.



Figura 26. Controles en modo Back-up. Fuente: Trabajo de campo.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

## 5. DESCRIPCIÓN BUQUES CONVENCIONALES RO-PAX

Los buques Ro-pax utilizan mayoritariamente una propulsión de hélices de paso variable. Conjuntamente, las operaciones realizadas sobre la pala de timón y estas hélices permiten el gobierno de este tipo de buques. Seguidamente, en este apartado, se indicará una breve descripción de las características del funcionamiento de las hélices.

### 5.1. Hélices de paso variable

Al contrario que las hélices de paso fijo que no pueden cambiar el ángulo de ataque, estas sí que pueden cambiar el ángulo de ataque ya que las palas de la hélice pueden ser giradas sobre su propio eje. El eje de la pala es perpendicular al eje de la hélice. Las palas de la hélice pueden ser controladas desde el puente o la sala de máquinas. Las palas giran simultáneamente por medio de presión hidráulica, que es controlada por medio de un sistema hidráulico [17].

Este sistema de propulsión ofrece la posibilidad de fijar el ángulo de paso en cualquier posición entre avante a toda máquina y atrás a toda máquina, lo que hace que sea innecesario invertir el giro del eje de la hélice al pasar de la dirección avante a la dirección atrás. Gracias a ello la maniobra es más rápida y sensible [17].

La ventaja de la modificación del ángulo de las palas de la hélice consiste en que se mantiene la velocidad del motor y se aprovecha plenamente la potencia de propulsión. En el caso de una situación de emergencia, la distancia y el tiempo de parada es considerablemente menor que con una hélice de paso fijo [17].

No obstante, hay que tener en cuenta que cuando se invierte la posición de la pala para cambiar el avance del buque de avante a atrás, la manera en la que incide la pala de la hélice en el agua no es la más eficiente, con lo que estas hélices pueden obtener la potencia total del motor, pero su rendimiento suele ser la mitad que en el caso de navegación hacia avante [17].

Posteriormente, para mayor comprensión, se adjunta una imagen de una hélice de paso variable, donde se pueden ver las cuatro palas rotatorias, con la unión de los tornillos al cuerpo del núcleo.

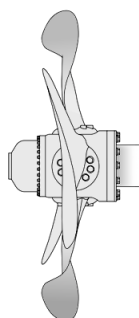


Figura 27. Hélice paso variable. Fuente: [9].



## 5.2. Componentes principales

Los principales componentes del sistema de propulsión se indican numeradamente en la figura 28 y se le da nombre posteriormente.

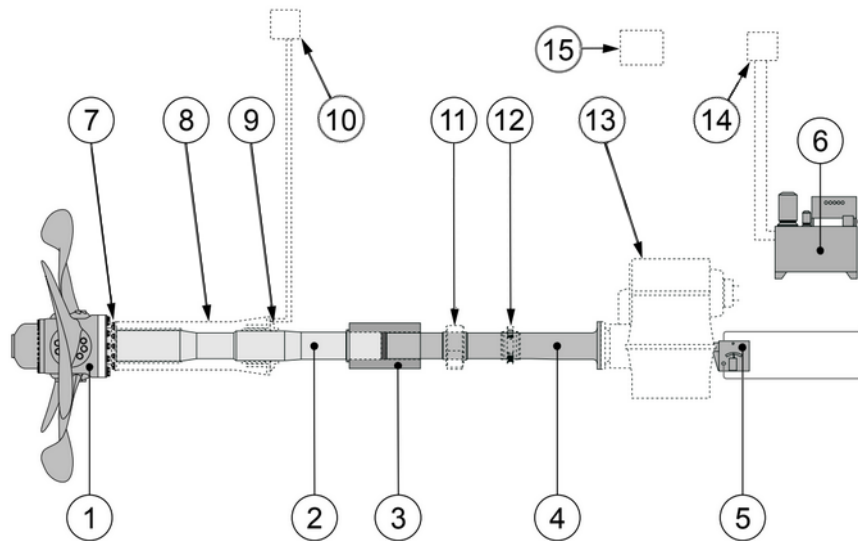


Figura 28. Vista general de un sistema de propulsión. Fuente: [9].

1. Núcleo de la hélice con palas.
2. Eje de la hélice.
3. Acoplamiento de manguito.
4. Eje intermedio.
5. Caja de distribución de aceite.
6. Central hidráulica.
7. Junta hermética trasera de la bocina.
8. Bocina.
9. Junta hermética delantera de la bocina.
10. Deposito colector de la bocina.
11. Rodamiento de apoyo.
12. Dispositivo de puesta a tierra.
13. Reductor.
14. Tanque de gravedad.
15. Sistema de control remoto o sistema de lazo cerrado.

### 5.3. Descripción funcional

El sistema de hélices de paso variable utiliza aceite hidráulico a presión para variar la posición de las palas de la hélice.

El núcleo de la hélice es lubricado mediante presión de aceite hidráulico, guiado por hueco del eje de cola. La central hidráulica es la encargada de suministrar el lubricante por las líneas y puede estar equipada con un tanque adicional a una altura elevada para aprovechar la acción de la gravedad, esta presión es suficiente para impedir la entrada de agua en la bocina donde tenemos el núcleo y el depósito colector de líquido hidráulico y así cumplir la función de lubricar en los engranajes de las palas móviles. Como sistema de control y para evitar sobrepresiones, este circuito está compuesto por varias válvulas de seguridad [18].

La presión de este tanque de gravedad se puede ver afectada debido a la línea de flotación, por lo que deberá de calcularse la altura del mismo para garantizar una presión positiva, o en su defecto, se aplicará una presión neumática, es decir, aire a presión en el tanque de gravedad que actúa sobre el aceite y este adquirirá mayor presión. Tras el tanque y las válvulas de control, el aceite se concentra en el distribuidor, el cual envía el caudal de aceite por el interior del eje llegando al otro extremo de este tubo hueco. En esta parte final del eje, se encuentra unido con pernos, el pistón del núcleo de la hélice [18].

Gracias al pistón, el caudal de fluido puede ser dirigido de tal forma que se produzca el giro de las palas desviando el aceite al lado deseado, debido a que el distribuidor envía el aceite a un lado del pistón que se desplaza. El pistón unido a un vástago, es impulsado hacia adelante transmitiendo el movimiento a las palas de la hélice dando un paso adelante, cuando el pistón es impulsado al lado contrario, genera el efecto de paso atrás [18].

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

#### 5.4. Elementos de control y gobierno

La maniobra de las hélices principales se realiza mediante un sistema de control basado en un microprocesador. El sistema controla el paso de las hélices y las revoluciones por minuto (*RPM*) de los motores principales. El sistema de control recibe órdenes del equipo de maniobra desde el puente, las procesa y activa los comandos de salida necesarios para los sistemas hidráulicos de control de paso de la hélice y los reguladores de *RPM* del motor. En el puente, todas las unidades de control, unidades de entrada/salida y líneas de comunicación están duplicadas, con el fin de formar un sistema maestro y un sistema esclavo idéntico. En caso de error en el sistema maestro, el sistema esclavo pasa a ser el principal de mando [19].

El oficial controla las hélices desde la sala de control de máquinas o desde una estación del puente. Puede haber hasta tres estaciones de control en el puente. En caso de avería en el sistema de control principal, se puede utilizar un sistema de reserva sin seguimiento para el ajuste del paso de las hélices. El sistema de reserva (*Back-up*) cuenta con su propia fuente de alimentación, y por lo tanto puede funcionar incluso si se interrumpe la alimentación del sistema principal. A continuación se describen de manera detallada los elementos de control principales existentes en el puente de gobierno, se hablará en primer lugar de los elementos que hay en la estación de control principal y en segundo lugar en las estaciones de los alerones [19].

##### 5.4.1. Estación de control principal

Cada estación del puente cuenta con un panel de control principal con una palanca de control de motores (*telégrafos*), indicadores de paso y *RPM*, lámparas indicadoras y pulsadores (véase la figura 29).



Figura 29. Consola central del puente del buque Volcán del Teide. Fuente: [10].

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

De la imagen anterior (figura 29), se va a realizar un desglose de las distintas partes de los paneles y controles fundamentales describiéndolos para hablar de la operación de la maniobra, centrándonos en cada componente del panel principal del puente de gobierno.

- **Panel de control principal**



- 1 Control de motores "Kamewa"
- 2 Indicadores de paso y RPM
- 3 Controles en Back-up
- 4 Interruptores de aceptación del gobierno y lámparas indicadoras
- 5 Control de embrague con desembrague de emergencia

Figura 30. Panel principal buque Volcán de Tamadaba. Fuente: [10].

1. **Control de motores "Kamewa"**. Cada control está compuesto por dos palancas para variar el empuje de las hélices. Dicho control tiene una escala marcada de posición, siendo el centro el 0, colocarla hacia adelante da como resultado que la hélice produzca un movimiento a avante, o en su defecto si se lleva la palanca atrás, la hélice transmitirá un empuje atrás. Las palancas están graduadas de 0 a 10 tanto en dirección avante como atrás [20].
2. **Indicadores de paso y RPM**. El panel cuenta con un cuadro superior, el cual indica las RPM del motor y en la parte inferior, se muestra el ángulo de paso real de la hélice. El buque posee dos hélices por lo cual, los cuadros están duplicados, pudiendo ver en los cuatro indicadores los respectivos parámetros al propulsor de cada banda. En caso de fallo del sistema de control, las hélices poseen indicadores independientes con un transmisor de paso en la hélice, de esta manera se muestra siempre el ángulo correcto real [20].

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

**3. Controles en Back-up.** En caso de avería en el sistema de control principal, se puede utilizar un sistema de reserva (*back-up*) sin seguimiento para el ajuste del paso de las hélices. El sistema back-up cuenta con su propia fuente de alimentación, y por lo tanto puede funcionar incluso si se interrumpe la alimentación del sistema principal. El control del sistema Back Up se compone de los botones que se pueden observar en la *figura 31*.

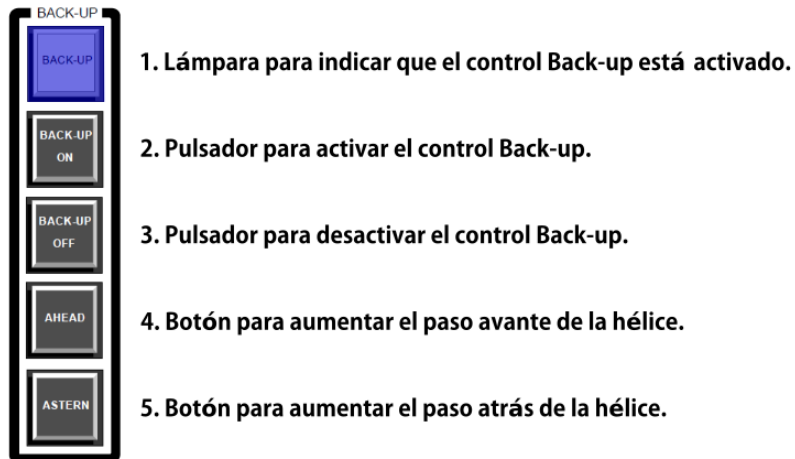


Figura 31. Controles Back-up. Fuente: [11].

Como se puede apreciar en la figura 31, en la parte superior tenemos un indicador luminoso, si la lámpara está encendida en color azul, indica que el modo back-up está activado y por consiguiente se podrá pulsar el botón Back-up ON para su funcionamiento. En caso de querer desactivar dicho control, se pulsará el botón Back-up OFF y el sistema de control principal retomará el control primario. Para poder operar en este modo tenemos dos botones AHEAD (*avante*) y ASTERN (*atrás*) y pulsando en dichos controles se logra cambiar el paso de la hélice avante o atrás [20].

**4. Interruptores de aceptación de gobierno y lámparas indicadoras.**

Una vez se ha transferido la responsabilidad de maniobra desde la sala de control de máquinas (ECR) al puente, la lámpara “BRIDGE” se iluminará en color verde, ya que este color indica modo activo. La lámpara “STATION IN COMMAND” se iluminará también, esto indica que únicamente esta estación tiene el control sobre los comandos de empuje y la mayoría de las funciones que se encuentran en el panel de control. Para aceptar el control pulsaremos el botón “BRIDGE ACCEPT”.

Para transferir la responsabilidad de maniobra de la estación central a la estación de los alerones se deberá pulsar el botón “STATION REQUEST” en la estación del alerón. La responsabilidad de maniobra es transferida a la estación en cuestión, en la que la lámpara “STATION IN COMMAND” se ilumina para indicar que la estación está al mando.

En la *figura32* se muestra con mayor claridad una réplica del panel real [20].

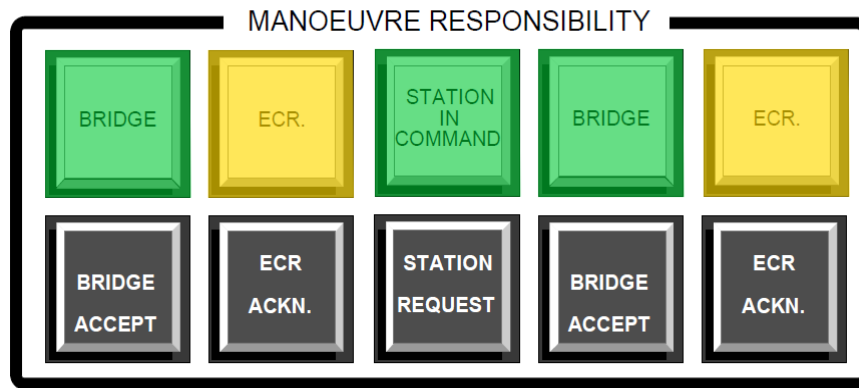


Figura 32. Controles responsabilidad de maniobra. Fuente: [11].

#### 5. Control de embrague con desembrague de emergencia.

En la *figura 30*, se encuentra señalado el actuador del embrague, el cual acopla o desacopla el eje de la hélice del motor, para conseguir aplicar la fuerza del motor a la hélice y conseguir el avance.

Para conectar el embrague del primer motor del eje de la hélice se deberá colocar la palanca de control de motores en la posición cero y pulsar el botón “CLUTCH IN” para el motor. A la hora de embragar el motor desde los controles del puente hay que tener en cuenta que no es posible conectar dos embragues simultáneamente [20].

El acople del embrague es progresivo y hace que la lámpara “CLUTCH ENGAGED” comience a parpadear. Si la conexión del embrague se ha realizado con éxito, la lámpara “CLUTCH ENGAGED” se ilumina permanentemente para indicar que el embrague del motor está conectado, y la lámpara “CLUTCH DISENGAGED” se apaga [20].

Para conectar el embrague del segundo motor del eje de la hélice se pulsará nuevamente el botón “CLUTCH IN” para el motor. Pero en este caso no es necesario colocar la palanca de control a cero. El sistema del segundo motor recibe una solicitud de sincronización de RPM con el primer motor. Tras la sincronización, el motor es engranado.

En caso de que se presente una situación de emergencia en la que sea necesaria una parada inmediata de las hélices principales, se pulsará el botón “EMERGENCY CLUTCH OUT” [20].

- **Timones– Telégrafos**



Figura 33. Timones y telégrafos de órdenes. Fuente: [10].

1. **Timón gradual.** Este tipo de timón, como se ve en la figura x, tiene una graduación igual al ángulo de medida del timón, por ejemplo, si se pone un ángulo de 15°, hará mover la pala a la posición de los 15° y se mantendrá constante en este valor hasta que se vuelva a actuar sobre el timón. Este timón no se suele usar como elemento principal de gobierno, sino que está como sistema auxiliar o de respeto.
2. **Timón mando Tiller.** Este modelo de timón, a diferencia del anterior, no está graduado ni mantiene un ángulo constante. El oficial se encarga de mantener el timón de forma manual y al soltarlo, este volverá a ponerse a la vía. En la maniobra sólo se utiliza este timón, que además, está duplicado en las estaciones de los alerones.
3. **Telégrafos.** Estos telégrafos de órdenes tienen como objetivo conseguir una comunicación fiable entre el puente y la sala de máquinas. Estos dispositivos están instalados por tanto, en el puente de mando y en la sala de máquinas, por medio del cual se transmiten las órdenes de velocidades de marcha deseadas.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

El piloto, capitán u oficial de guardia, acciona el mecanismo seleccionando una posición o grado de velocidad de marcha, esto hace sonar una alarma en la sala de máquinas y en el puente y solo cuando el oficial maquinista responde igualando en su telégrafo la posición de la aguja selectora la alarma cesa, informando tanto al emisor como al receptor del mensaje, que la orden fue recibida e interpretada correctamente.

Este mecanismo fue un avance muy eficaz cuando no había comunicación interna por voz entre diferentes partes del buque. Además, los motores se manejaban directamente desde las salas de máquina y no desde el puente, mientras que hoy en día, la planta motriz de los buques modernos se comanda y controla desde ambas localizaciones, o bien desde el puente o desde la máquina donde el telégrafo sigue presente aunque de manera más sofisticada.

Una vez descritos los controles más relevantes del gobierno del buque, en la *figura 34* se muestra una imagen del alerón del puente, que es donde se llevan a cabo las maniobras que se explicarán posteriormente y como se puede apreciar en la imagen, los aparatos son una réplica de los que se encuentran en la consola central.



Figura 34. Alerón puente Ro-pax. Fuente: [10].

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13



## 5.5. Maniobras

En este apartado se analizan las maniobras significativas de los buques ferries sin tener en cuenta ningún factor externo, solo considerando los factores propios del buque como son el tipo de hélice y su situación respecto al timón.

Los buques convencionales ro-pax poseen hélices gemelas de cuatro palas cada una que giran en sentido contrario debido a que la presión lateral de una, contrarresta la ejercida por la otra y se consigue una mayor estabilidad del rumbo. El sentido de giro es indiferente y puede ser de giro al interior o de giro al exterior. El giro interior hace referencia a que el giro de la hélice de babor es dextrógiro (*giro visto desde popa mirando hacia proa en marcha avante en sentido de las agujas del reloj*) y la hélice de estribor al contrario, lo que se denomina levógiro (*giro anti horario en marcha avante*) y por el contrario el giro exterior la hélice de babor es levógira y la de estribor dextrógira. En este caso de estudio diremos que el giro es **interior** [21].

Normalmente las hélices se instalan lo más alejadas posible una de la otra, siempre que lo permitan las formas hidrodinámicas de la popa, para obtener un mayor par de evolución, mejorando así la maniobrabilidad del buque. Esto tiene una contrapartida si se instala un solo timón: la pala queda muy alejada del flujo de las hélices y el buque pierde gobernabilidad, sobre todo a baja velocidad, llegando incluso a perder el gobierno. Por eso se instalan dos timones, cada uno directamente a popa de cada hélice con lo que se aprovecha el 100% del flujo de cada una. Los timones dobles deben ir sincronizados de forma mecánica (*lo que por otra parte impide que sean operados de forma independiente*), o bien de forma electrónica (*permitiendo independizar uno del otro en maniobras y utilizarlos, bien para reducir velocidad abriéndolos al exterior o bien para aumentar el par de evolución cerrándolos al interior*) [21].

A continuación se analizan las tres maniobras básicas a realizar para desarrollar mejor los conceptos anteriormente explicados y estas son: *desatraque, atraque y reviro*.

- **MANIOBRA DE DESATRAQUE O DESABARLOE**

Para describir esta maniobra, antes se deben mencionar varios parámetros a tener en cuenta para nuestro estudio, considerando que el buque está atracado babor al muelle y además contando con dos hélices de maniobra, que son unas hélices más pequeñas situadas transversalmente en las zonas de proa o popa del buque que sirven para acercar o separar la proa del buque del muelle dependiendo de su sentido de giro.

Teniendo claro todos los elementos, esta maniobra se realiza de la siguiente manera. Para desabarlar el buque del muelle, hay que poner todo el timón a la banda del muelle (*en este caso a babor*). Dar avante con la hélice contraria al muelle (*la hélice de estribor*). Una vez vencida la inercia, y cuando el buque empieza a moverse hacia delante, se utilizan las hélices de maniobra en sentido inverso, es decir, a babor para

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

despegar la proa del muelle y dar atrás con la hélice de la banda del muelle (*hélice de babor*) ayudando así a separar la popa [21].

Para mayor interpretación, se muestra a continuación, en la *figura 35* de forma más gráfica.

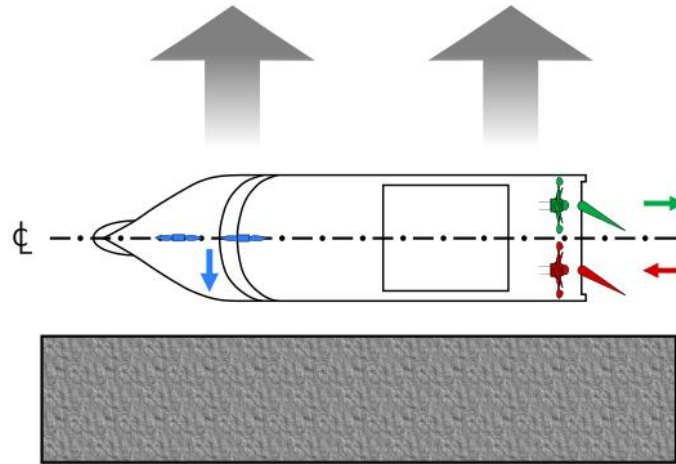


Figura 35. Desatraque babor al muelle. Fuente: Elaboración propia.

- **REVIRO O CIABOGA**

En este caso, se analiza la ciaboga por el costado de babor. Para realizar esta maniobra, se da avance a la hélice de estribor y la hélice de babor atrás (*generando un par de fuerzas opuestas*) como se puede ver en la *figura 36*. Si ambas van al mismo número de revoluciones, el buque girará sobre sí mismo sin avanzar ni retroceder, permitiendo completar el reviro. No obstante, teniendo en cuenta que para un mismo número de revoluciones adelante y atrás, por el efecto hidrodinámico, el colocar las palas de la hélice en última posición tiene una menor eficacia, ya que estas hélices tienen mayor rendimiento yendo adelante, por lo tanto, si se pretende que el buque gire sobre su misma eslora, sin avance, el régimen de la hélice que va a atrás deberá ser algo superior para compensar dicha pérdida [21].

Para ayudar a este movimiento de rotación, el buque está dotado de las hélices de maniobra de proa. Con esta hélice se consigue un aumento o disminución del giro variando su intensidad (*RPM*) y además dicha evolución podrá ser mejorada poniendo el timón a la misma banda del giro.

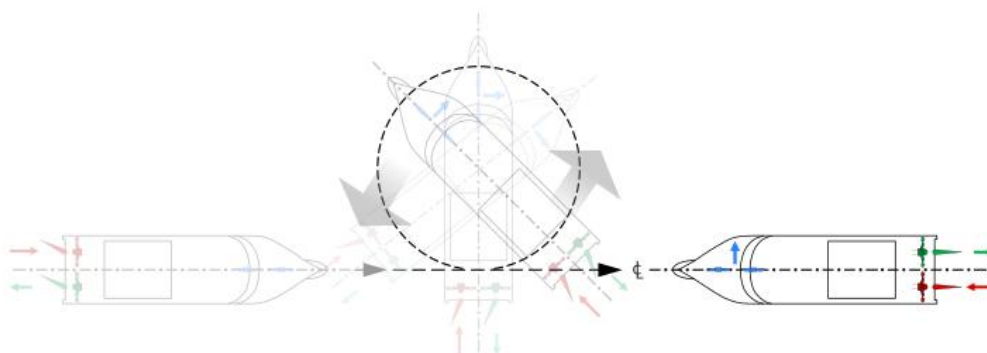


Figura 36. Reviro sobre babor. Fuente: Elaboración propia.

• **MANIOBRA DE ATRAQUE O ABARLOE**

Tras realizar el reviro, la operación de atraque de costado de babor, mientras el buque empieza a ir hacia atrás, se efectúa trasladando lateralmente el buque hacia el muelle. Se transfiere un empuje adelante de la banda del buque más próxima al muelle (*hélice de babor*), y dejando la de la banda contraria (*hélice de estribor*) manteniendo la fuerza en la misma dirección (*atrás*) como se puede ver en la *figura 37*, creándose así un “par de fuerzas” (*sistema formado por dos fuerzas paralelas entre sí, de la misma intensidad o módulo, pero de sentidos opuestos*). Con ayuda de las hélices de maniobra, se coloca el buque paralelo al muelle y controlando la velocidad, que en la posición de atraque ha de ser cero o prácticamente nula, se va ajustando ésta en función de la distancia y de alguna marca de referencia que tengamos en el muelle [21].

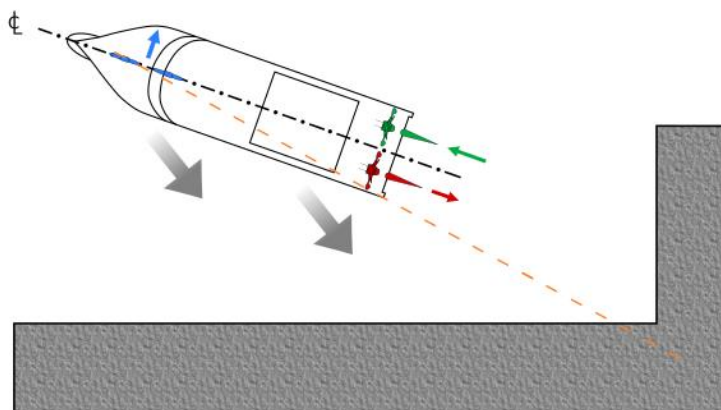


Figura 37. Atraque costado de babor. Fuente: Elaboración propia.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

## 6. HÉLICES DE MANIOBRA

En el apartado anterior, para asistir las maniobras tanto en los buques dotados de propulsores waterjet, como en los buques tradicionales de hélices, las maniobras básicas de los Ro-pax se apoyan de las hélices de maniobra, donde se ubican en una zona normalmente a proa, para ayudar a corregir la dirección de la proa y facilitar la maniobrabilidad de los buques. En esta parte se especifican en detalle el modelo más común y se realiza una breve descripción general del sistema.

Las hélices de maniobra en túnel (*tunnel thrusters*) son unos dispositivos de propulsión incorporados o montados, normalmente a proa, en el interior de un túnel transversal que está soldado al casco en la obra viva del buque [22].

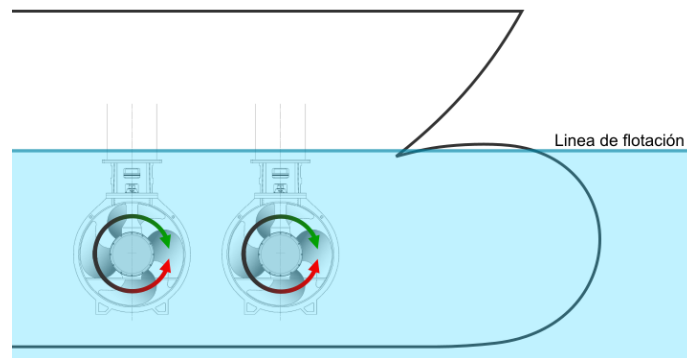


Figura 38. Hélices de proa en túnel. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la *figura 38*, al tratarse en nuestro estudio de buques de pasaje, estos priorizan una mayor efectividad y rapidez en las maniobras, por eso, se utilizan en estos casos dos propulsores lo que va a conseguir un mayor empuje transversal y control de la proa. Estas hélices trabajan de manera sincronizada, es decir, en la consola central del puente (*figura 39*) hay un único mando que al accionarlo mueve al unísono ambas hélices como si se tratara de una única hélice. Un aspecto importante a tener en cuenta, al ser operadas las hélices de maniobra, es necesario que no trabajen en vacío. Por esta razón se realizaran comprobaciones necesarias para asegurar que las hélices están lo suficientemente sumergidas.

Estas hélices son eficientes cuando el buque se encuentra a baja velocidad, cuando el timón es menos eficaz. Sin embargo, a medida que la velocidad aumenta su eficacia se reduce. Genéricamente no se recomienda superar en avance velocidades entre 3 y 4 nudos. Además, suelen estar protegidas mediante rejillas que, en determinados casos, dependiendo de su diseño pueden llegar a ocasionar pérdidas de propulsión [22].



Figura 39. Control hélices de proa. Fuente: Trabajo de campo.

En cuanto al número de palas que conforman estas hélices suele ser de cuatro palas. En algunas ocasiones las hélices de maniobra están en concordancia con el número de palas del propulsor principal. Las formas de las palas son bastante simétricas y por su corta duración de utilización en las maniobras, se instalan de paso fijo, ya que una hélice de paso variable en estos casos no sería rentable.

Normalmente, las hélices de proa son accionadas por un motor eléctrico o hidráulico que dependiendo del tipo de buque, los tanques de líquido hidráulico pueden estar situados a popa conectados por tubos y bombas, o con un tanque de gravedad en la proa ahorrando conexiones y abaratando la instalación [22].

## 7. COMPARATIVA DE LOS SISTEMAS DE GOBIERNO

Se analizan a continuación las diferencias más significativas de los dos sistemas de gobierno representativos abarcados en este proyecto: *fast-ferries* y *ferries*.

Como punto de partida, se empezará abordando la maniobrabilidad, y es que los buques dotados con propulsión waterjet presentan un mayor control en el gobierno y gran eficacia tanto en altas como bajas velocidades. Debido a que el chorro generado por el impulsor, es independiente del avance del buque, por ejemplo, con el buque estático, el sistema de cucharas (*buckets*) dependiendo de su posición, generará el avance de la nave, aunque el empuje del chorro sea del 100%. En resumidas cuentas, se puede mantener un régimen de RPM del motor independientemente del movimiento del barco, con el que controlaremos el avance y a su vez el ángulo de apertura de las toberas (*steering nozzle*), orientando estas a la banda deseada. En el caso de un sistema de hélice-timón, a menor velocidad, menor efecto en el giro que produce en el buque, debido a la velocidad del flujo laminar que rodea al timón y el paso del mismo en la cara de la pala. Se puede decir, por tanto que, en la propulsión por chorro de agua se presentan rumbos más lineales en comparación con la propulsión de los ferries, ya que se desplazan con una pequeña deriva, esto es debido al efecto del sentido de rotación de la hélice. Pero en cambio, analizando la capacidad propulsiva de ambos sistemas, los waterjet en las situaciones de baja velocidad pierden eficiencia y en estos casos sería más eficaz los sistemas de hélices convencionales.

Durante la navegación, otro factor a tener en cuenta es el del avance. Para este punto, el aventajado es nuevamente el sistema waterjet, debido a que ofrecen una menor resistencia al avance ya que debajo del casco no hay presente ningún apéndice, como pudiera ser el timón en los buques convencionales brindando así un perfil más hidrodinámico.

Además, a pesar de que los dos sistemas parten de un mismo principio de empuje, si nos basamos en el rendimiento de la eficacia, el funcionamiento de un waterjet basa su labor en canalizar un chorro de agua producido por un impulsor de forma axial, concentrando así toda su energía en una misma dirección. En cambio una hélice transmite ese giro en aguas abiertas, por lo que la gran mayoría de la energía que se transmite en la hélice se pierde. Para ciertos buques con una hélice convencional donde se quiere aumentar este rendimiento, se rodea la hélice con una carcasa aumentando considerablemente la propulsión con las conocidas como "hélices con toberas" que además, disminuye el consumo de combustible.

Por último, cabe destacar el promedio de vida útil de estos buques y es que los ferries presentan un tiempo de vida estimado de 25-30 años, mientras que, en contraposición, los fast-ferries presentan un menor periodo útil, en torno a los 15 años. Además, al tratarse de sistemas más complejos que los propulsores convencionales, llevaran consigo un mayor coste en la instalación y de mantenimiento. Estos factores son

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

cruciales ante una gran inversión en la explotación del buque, ya que el armador deberá tenerlos en cuenta de cara a la amortización del barco.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2624200      Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
*UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA*

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
*UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA*

08/07/2020 12:00:13

## CONCLUSIONES

Tras un profundo análisis de los objetivos generales previamente enunciados en la presentación del proyecto y defendidos posteriormente en el cuerpo del documento, se procede a resumir y destacar los siguientes aspectos.

A la hora de realizar una navegación segura y precavida, sin duda, tanto la tripulación como los oficiales y encargados del gobierno del buque, deben tener un dominio apto del funcionamiento y manejo del mismo y que además, en situaciones de emergencia, sepan intervenir para conseguir mantener la situación bajo control.

Otro punto importante, es el conocimiento de las características propias de cada buque y de sus sistemas de propulsión, para poder realizar las maniobras con conciencia, entendimiento de lo que se está haciendo en todo momento y teniendo siempre presente los pasos a seguir en su operatividad, sin olvidar las operativas a llevar a cabo en el mantenimiento sistemático de los elementos para garantizar una mayor durabilidad.

Para concluir, conociendo en profundidad el sistema de gobierno del que se dispone en un buque determinado, debemos estar preparados para operarlos eficientemente.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2624200      Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
*UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA*

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
*UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA*

08/07/2020 12:00:13



## CONCLUSIONS

After a deep analysis of the general objectives previously stated in the presentation of the project and defended later in the body of the document, the following aspects are summarized and highlighted.

At the time of safe and cautious navigation, without a doubt, the crew, the officers and those in charge of the government of the ship, must have an adequate command of its operation and management and that, in emergency situations, they also know how to intervene to get the situation under control.

Another important point is the knowledge of the characteristics of each ship and its propulsion systems, in order to carry out the maneuvers with awareness, understanding what is being done at all times and always keeping in mind the steps to follow in its operation, without forgetting the operations to be carried out in the systematic maintenance of the elements to guarantee greater durability.

To conclude, knowing in depth the governing system that is available on a given ship, we must be prepared to operate them efficiently.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Mascareñas y Pérez-Í. “Descripción de los sistemas de gobierno de un buque” in *Sistemas de gobierno del buque*. 1ª ed. Cádiz: Universidad, Servicio De Publicaciones, 1998. ISBN: 9788477866015.
- [2] C. Mascareñas y Pérez-Í. “Principio del compas giroscópico” in *Sistemas de gobierno del buque. Compases giroscópicos*, vol. 1. 1ª ed. Cádiz: Universidad, Servicio De Publicaciones, 1992.
- [3] “Sistemas electrónicos de Navegación” [Online]. Disponible en: <https://cutt.ly/cwlCECm> [Accedido: 16-febr-2019].
- [4] V. Abad y E. Oliva, “Pilotos automáticos de Simrad”, *Rev.Ingeniería Naval*, no. 786, pp.33, oct. 2001.
- [5] M. Rodríguez, “Sistemas de gobierno de un buque. Diseño de un autopiloto para una embarcación de pequeña eslora”, trabajo de fin de grado, Dep. de Ciencias y Técnicas de la Navegación, Universidad de La Laguna, La Laguna, 2018.
- [6] Convenio Solas, cap. II Regla 29 “Aparato de gobierno” [Online]. Disponible en: <http://www.bioscafire.com/upfiles/normativa/solas.pdf> [Accedido 20-mar-2019].
- [7] I. Morales, “Análisis de la operativa en buques de carga rodada”, trabajo de fin de grado, Dep. de Ciencia e Ingeniería Náutica, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2015.
- [8] J. A. López, “Naves de gran velocidad”, trabajo de fin de grado, Dep. de Ciencias y Técnicas de la Navegación, Universidad de La Laguna, La Laguna, 2015.
- [9] J. C. Díaz, La historia poco conocida del “Jet-foil” en Canarias [Online]. Disponible en: <https://cutt.ly/qwlCFbh> [Accedido 25-mar-2019].
- [10] S. Peiró y K. Reina, “Estudio, diseño y construcción de un Hovercraft por control remoto de 0,63 metros de eslora”, trabajo de fin de grado, Dep. de Ciencia e Ingeniería Náutica, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2016.
- [11] V. Iñesta, “Estudio del sistema propulsivo waterjet”, trabajo de fin de grado, Dep. de Ciencia e Ingeniería Náutica, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2014.
- [12] M. García, “Lenguaje de programación LISP [Online]. Disponible en: [http://www.profmatiasgarcia.com.ar/uploads/tutoriales/apunte\\_lisp.pdf](http://www.profmatiasgarcia.com.ar/uploads/tutoriales/apunte_lisp.pdf) [Accedido: 01-jun-2019]

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200      Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

- [13] C. Hernández, “Sistemas de gobierno en buques rápidos”, trabajo de fin de grado, Dep. de Ciencias y Técnicas de la Navegación, Universidad de La Laguna, La Laguna, 2018.
- [14] A. Cabo, “Guía de adaptación a los buques de alta velocidad”, trabajo de fin de grado, Dep. de Ciencias y Técnicas de la Navegación, Universidad de Cantabria, Santander, 2014.
- [15] D. Correa, “Buques de alta velocidad Alborán. Seguridad, maniobrabilidad y resistencia de los materiales”, trabajo de fin de grado, Dep. de Ciencias y Técnicas de la Navegación, Universidad de La Laguna, La Laguna, 2015.
- [16] M. Araya y N. Olazábal, “Training alumno oficial de puente en Fred Olsen F/F Bentago Express y F/F Bencomo Express”, trabajo de fin de grado, Dep. de Ciencias y Técnicas de la Navegación, Universidad de La Laguna, La Laguna, 2018.
- [17] R. Heras, “El sistema propulsivo del buque: Las hélices marinas y el fenómeno de la cavitación”, trabajo de fin de grado, Dep. de Ciencia e Ingeniería Náutica, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2013.
- [18] *Descripción del sistema hidráulico y mecánico*. Rolls-Royce, 2005.
- [19] R. Cano, “Ro-pax Zurbarán”, trabajo de fin de grado, Dep. de Ciencia e Ingeniería Marítima, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2010.
- [20] *Instrucciones de funcionamiento del sistema de control, doble hélice*. Rolls-Royce, 2005.
- [21] R. Marí Sagarra, *Maniobra de los buques*. 3ª ed. Bogotá, Colombia. Ediciones UPC, 1995. ISBN: 9788483013267.
- [22] T. Martínez, “Sistema de hélices de proa: operación, requerimientos y mantenimiento”, Dep. de Ciencia e Ingeniería Marítima, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2009.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2624200 Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13

## REFERENCIAS FIGURAS

- [1] C. Mascareñas y Pérez-Í. “Descripción de los sistemas de gobierno de un buque” in *Sistemas de gobierno del buque*. 1ª ed. Cádiz: Universidad, Servicio De Publicaciones, 1998. ISBN: 9788477866015.
- [2] Hernández, S. Disponible en: <https://santacruzmiuerto.com/galeria/103/104>
- [3] Fotografía buque Volcán de Tinamar. Disponible en:  
<http://www.spanishports.es/images/showid2/1841099?w=1200&zc=4>
- [4] Pérez, F. Disponible en: <https://www.trasmeships.es/los-buques/princesa-voladora/>
- [5] Long, C. Fotografía de aerodeslizador de la empresa Hovertravel. Disponible en:  
[https://live.staticflickr.com/1979/31368209508\\_3cd6ba7523\\_b.jpg](https://live.staticflickr.com/1979/31368209508_3cd6ba7523_b.jpg)
- [6] Fotografía nave de gran velocidad. Volcán de Tagoro. Disponible en:  
<https://www.lookoutpro.com/wpcontent/uploads/2019/08/ARMAS.jpg>
- [7] Wärtsilä pattern. Disponible en:  
<https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/gears-propulsors/waterjets/product-guide-o-p-midsize-waterjet.pdf?sfvrsn=2>
- [8] C.Hernández, “Sistemas de gobierno en buques rápidos”, trabajo de fin de grado, Dep. de Ciencia e Ingeniería Náutica, Universidad de La Laguna, La Laguna, 2018.
- [9] *Descripción del sistema hidráulico y mecánico*. Rolls-Royce, 2005.
- [10] Consolas. Disponible en:  
<http://www.hjbarreras.es/?page=lis-ferries.2&idp=41>
- [11] *Instrucciones de funcionamiento del sistema de control, doble hélice*. Rolls-Royce, 2005.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

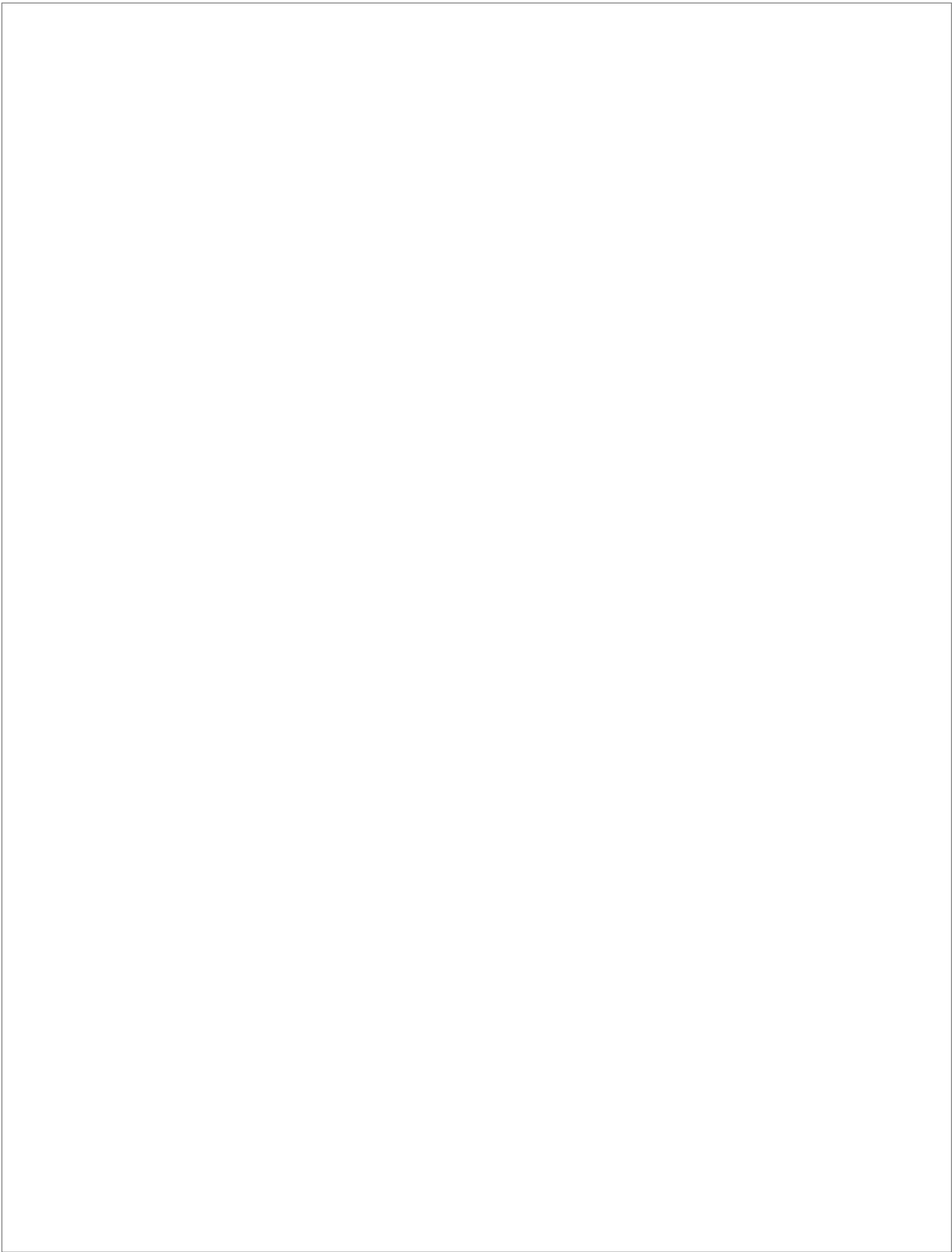
Identificador del documento: 2624200      Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/07/2020 12:00:13



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2624200      Código de verificación: +BJCo0uA

Firmado por: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia  
*UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA*

Fecha: 08/07/2020 09:03:43

Deivis Ávila Prats  
*UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA*

08/07/2020 12:00:13